

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ
КЫРГЫЗСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
им. И.РАЗЗАКОВА

ISSN 9967-45-57

ИЗВЕСТИЯ

**КЫРГЫЗСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ им. И.РАЗЗАКОВА**

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ И ПРИКЛАДНОЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

2015

№1 (34)

*Журнал включен в перечень изданий утвержденных ВАК Кыргызской Республики для
опубликования основных результатов кандидатских и докторских диссертационных
исследований по естественно-техническим отраслям науки.*

Бишкек

Издательский центр «Текник» 2015

Редакционная коллегия:

- Т.Б. Дуйшеналиев**, д-р физ.-мат.наук, проф., ректор
Кыргызского государственного технического университета, *главный редактор*;
Ж.И. Батырканов, д-р техн. наук, проф., проректор по НРиВС КГТУ им.И.Раззакова,
заместитель главного редактора;
Б.О. Джолдошов д-р техн. наук, проф., *ответственный секретарь*;
С.А. Абдрахманов д-р физ.-мат.наук, проф.;
К.А. Абдымаликов д-р экон. наук, проф.;
А.А. Акунов д-р истор.наук, проф.;
М.Б. Баткибекова д-р хим. наук, проф.;
М.Ф. Баймухамедов д-р техн. наук, проф., проректор по НР
Кост.Соц.Техн.университет (Казахстан);
У.Н. Биримкулов д-р техн. наук, проф., член-кор. НАН КР;
И.В. Бочкарев д-р техн. наук, проф.;
Веслинг Волкер доктор-инженер, проф. (Германия);
А.Х. Гильмутдинов д-р техн. наук, проф., ректор КНИТУ-КАИ им. А.Н. Туполева (Россия);
М.Дж. Джаманбаев д-р физ.-мат.наук, проф.;
М.С. Джуматаев д-р техн. наук, проф., академик НАН КР;
Т.Ш. Джунушалиева д-р хим. наук, проф.;
Т.А. Джунуев д-р техн. наук, проф.;
А.Ж. Жайнаков д-р физ.-мат.наук, проф., академик НАН КР;
К.М. Иванов д-р физ.-мат.наук, проф., ректор БГТУ «Военмех»
им. Д.Ф. Устинова (Россия);
А.С. Иманкулова д-р техн. наук, проф.;
И.Ш. Кадыров д-р техн. наук, проф.;
К.Ч. Кожогулов д-р техн. наук, чл.-корр. НАН КР;
О.С. Колосов д-р техн. наук, проф. НИУ «МЭИ» (Россия);
Т.Ы. Маткеримов д-р техн. наук, проф.;
Р.И. Нигматулин академик РАН, директор института Океанологии РАН РФ (Россия);
А.Дж. Обозов д-р техн. наук, проф.;
К.О. Осмонбетов д-р геолого-мин. наук, проф.;
Н.Д. Рогалев д-р техн. наук, проф. ректор НИУ «МЭИ» (Россия);
С.М. Стажков д-р техн. наук, проф. БГТУ «Военмех» (Россия);
А.Т. Татыбеков д-р техн. наук, проф.;
Ж.Ж. Тургумбаев д-р техн. наук, проф.;
А.Н. Тюреходжаев д-р физ.-мат.наук, проф. КАЗ НТУ (Казахстан);

Журнал выходит ежеквартально.

Все материалы, поступающие в редколлегию журнала, проходят независимое рецензирование.

© Кыргызский государственный технический
университет им. И.Раззакова,
Издательский центр «Техник», 2015

MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF THE KYRGYZ REPUBLIC
KYRGYZ STATE TECHNICAL UNIVERSITY. I.RAZZAKOV

JOURNAL

KYRGYZ STATE TECHNICAL UNIVERSITY I.RAZZAKOV
THEORETICAL AND APPLIED SCIENTIFIC TECHNICAL
JOURNAL

2015

№1 (34)

The main thematical directions of the journal are: “Engineering Sciences”, “Physical and Mathematical Sciences”, “Economic Sciences”.

Bishkek

Publishing center “Tehknik” 2015

Editorial board:

- T.B. Duyshenaliev**, D.Sc. (Physics and Mathematics), professor, Rector, Kyrgyz State Technical University named after I.Razzakov (Bishkek), Editor -in -chief;
- ZH.I. Batyrkanov**, D. Sc. (Engineering), professor, Vice-Rector for Research and Foreign Relations, Kyrgyz Technical University named after I.Razzakov (Bishkek), assistant editor;
- B.O. Dzholdoshev** D. Sc. (Engineering), professor, Executive Secretary (Bishkek);
- S.A. Abdrakhmanov**, D. Sc. (Physics and Mathematics), Professor (Bishkek);
- K.A. Abdymalik** D. Sc. (Economics), Professor;
- A.A. Akunov** D. Sc. (Historic), Professor (Bishkek);
- M.B. Batkibekova** D. Sc (Chemistry), Professor (Bishkek);
- M.F. Baymukhamedov** D. Sc. (Engineering), professor, Vice President for foreign relations, Kostanai social technical university (Kazakhstan);
- U.N. Birimkulov** D. Sc. professor, corresponding member of the National Academy KR (Bishkek);
- I.V. Bochkarev** D. Sc. (Engineering), Professor (Bishkek);
- Wesling Volker** D.Sc. (Engineering), Professor (Germany);
- A.H. Gilmutdinov** D. Sc. (Engineering), Professor, Rector KNRTU-KAI named after A.N. Tupolev (Russia);
- M.J. Dzhamanbaev** D.Sc. (Physics and Mathematics), Professor (Bishkek);
- M.S. Dzhumataev** Dr. Sc. (Engineering), Professor, member of the Academy KR (Bishkek);
- T.S. Dzhunushalieva** D. Sc (Chemistry), Professor (Bishkek);
- T.A. Dzhunuev** D. Sc. (Engineering), Professor (Bishkek);
- A.Z. Zhaynakov** D.Sc. (Physics and Mathematics), member of the Academy KR, Professor (Bishkek);
- K.M. Ivanov** D.Sc. (Physics and Mathematics), Professor, Rector of BGTU "Voenmech" named after D.F. Ustinov (Russia);
- A.S. Imankulova** D.Sc. (Engineering), Professor (Bishkek);
- I.Sh. Kadyrov** D.Sc. (Engineering), Professor (Bishkek);
- K.C. Kozhogulov** D.Sc. (Engineering), corresponding member of the National Academy KR, Professor (Bishkek);
- O.S. Kolosov** D.Sc. (Engineering), Professor, NIU "MEI" (Russia);
- T.Y. Matkerimov** D.Sc. (Engineering), Professor (Bishkek);
- R.I. Nigmatulin** akademik Russian Academy of Sciences, director of the Oceanology Institute of the Russian Federation (Russia);
- A.J. Obozov** D. Sc. (Engineering), Professor (Bishkek);
- K.O. Osmonbetov** D. Sc. (Geology-min), Professor;
- N.D. Rogalev** D.Sc. (Engineering), Professor, NIU "MEI" (Russia);
- S.M. Staszko** D. Sc. (Engineering), Professor, BSTU "Voenmech" (Russia);
- A.T. Tatybekov** D. Sc. (Engineering), Professor;
- J.J. Turgumbaev** D. Sc. (Engineering), Professor;
- A.N. Tyurehodzhaev** , D.Sc. (Physics and Mathematics), professor, KAZ NTU (Kazakhstan);

The journal is published quarterly
All materials that come to the Editorial Board of the journal
are subject to independent peer-review

СОДЕРЖАНИЕ

ИНФОРМАЦИОННЫЕ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫЕ СЕТИ И СИСТЕМЫ

- 1 **Ж.И. Батырканов, Г.М. Кудакеева**
Подход распознавания зрительных образов на основе эталонов и обучения..... 11
- 2 **Е.В. Куцев, М.Ж. Жумабаев**
Анализ свойств распространения ультракоротких волн для Кыргызской Республики..... 12
- 3 **М.Ж. Акжолов, И.Г. Лебо, А.Г. Мадера**
Моделирование конвективных процессов в воздухе вблизи поверхности электронных устройств, выделяющих тепло..... 17

АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ, МЕХАТРОНИКА И РОБОТОТЕХНИКА

1. **Р. Н. Курманалаева**
Синтез управляющей подсистемы программным движением линейного объекта..... 23
2. **Р. Н. Курманалаева, Р. Ч. Осмонова, Т. Т. Омор**
Синтез управляющих подсистем для одного класса объектов управления 26
3. **Г. Р. Абдраупова**
Автоматизированная система управления знаниями для органов местного управления..... 32
4. **Куришат Оздуман**
Автоматизированная система контроля знаний и воспитания школьников Кыргызской Республики в системе «СЕБАТ»..... 36
5. **Расим Дурмаз**
Автоматизированная обучающая система управления процессом обучения ученика..... 40
6. **А. Уметалиев, Ч. У. Ибраимов, К. Д. Боскебеев**
Разработка инструментальных средств проектирования экспертных систем на основе семантических сетей в области медицины..... 43
7. **В. Мельничук**
Исследование устойчивости замкнутой нелинейной системы ПЧ – АД методом фазовых траекторий..... 50
8. **А. А. Акылбеков, Б. Б. Кошоева**
Разработка автоматизированной системы управления технологическим процессом смешивания красок..... 53

ТРАНСПОРТ И МАШИНОСТРОЕНИЕ

1. **Н. А. Разрин**
Разработка стойкостной модели спиральных сверл при случайном характере процессов изнашивания..... 60
2. **Ж. М. Омуров**
Определение параметров движения автопоезда на различных участках международной автомобильной дороги “Бишкек-Ош” 63
3. **А. Ж. Кудуев**
Исследование метода моделирования дорожной поверхности, основанного на данных лазерного сканирования и новом типе приближения мультивейвлетами эрмита..... 68
4. **Р. В. Chukin**
Static and seismic stability analysis of kumtor’s tailings dam..... 77
5. **Ж. М. Омуров**
Оценка работы вспомогательной тормозной системы седельного автопоезда с полуприцепом..... 84
6. **А. О. Омарбекова, Г. Т. Орузбаева, Д. У. Смагулов**
Изучение транспортных свойств многослойных углеродных нанотрубок (МУНТ)..... 87
7. **Р. Ш. Халов**
Обзор и анализ дробильных машин..... 91
8. **А. А. Орозбаев, Ж. Ш. Белекова**
Определение износостойкости наплавленных деталей, для грузовых вагонов ГП «Кыргыз темир жолдору»..... 95
9. **Ж. Ш. Белекова, А. А. Орозбаев, А. А.**
Оптимизация сварочных режимов алюминиевых сплавов (AL-MG-SI) марки 6082T6 в МИГ (металл инерт газ) сварке..... 103

10.	Р.Н. Аскарбеков Использование резинометаллических опор для защиты от вредного воздействия колебаний.....	106
11.	Г.Е. Абдураева Выбор подвижного состава на регулярных маршрутах в городском сообщении	117
12.	Г.Е. Абдураева Совершенствование анализа пассажиропотоков в городских автобусных маршрутах	119
13.	Ж. Т. Гапарова, Г. Темирбектегин Результаты проектирования устройства для образования шероховатостей на горной дороге на Solidworks.....	122
14.	И. Т. Башиков Кинематический расчет бульдозерного оборудования с выдвигаемым отвалом	126
15.	А.Ж. Жайнаков, Р.Т. Султангазиева Современные подходы к решению задач плазменной обработки материалов.....	129
16.	С. А. Машеков, К. К. Нурахметова Проблемы штамповки титановых сплавов и их решение	134
17.	К. К. Курманалиев, А.К. Султангазиева, А.К. Турдукулова Динамические нагрузки на подшипники формного вала печатной машины.....	138
18.	К. К. Курманалиев, А.К. Султангазиева, А.К. Турдукулова Вертикальные колебания формного вала.....	141
19.	М. К. Cerahhoglu, E.A. Hazar Experimental survey on cooling water pumps used in engines.....	144
20.	С.А. Машеков, А.Е. Нуртазаев, К.К. Нурахметова Управление деформацией как инструмент обеспечения заданных структуры и свойств компрессорных лопаток из титановых сплавов	149
21.	А. А. Айнабекова, Н. А. Рагрин, В. А. Самсонов Анализ зависимости стойкости быстрорежущих спиральных сверл от качества заточки	159
АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ.....		165
1.	С.М. Насирдинова Результаты экспериментальных исследований процессов теплопередачи в солнечном баке аккумулятора.....	165
2.	А.Дж.Обозов, Г.П. Калимбетов Развитие возобновляемых источников энергии в Кызылординской области Республики Казахстан.....	170
3.	А.Дж.Обозов, Г.П. Калимбетов Проблемы и перспективы электроэнергетики Республики Казахстан.....	173
ПРИКЛАДНАЯ МАТЕМАТИКА И МЕХАНИКА.....		176
1.	А.С. Омуралиев, А. Кожошова Асимптотика решения сингулярно возмущенного параболического уравнения с квадратичной нелинейностью.....	176
2.	А.Ж. Жайнаков, А.К. Калеева, А.Ы. Курбаналиев, А.Б. Турганбаева Моделирование турбулентных течений в открытых разветвлённых каналах.....	180
3.	А.А. Асанов, Д.А. Камбарова Регуляризация и единственность решений линейных интегральных уравнений Вольтерра первого рода на оси.....	184
4.	Т.Б. Дуйшеналиев, Р.Н. Аскарбеков, И. Козубай Математическое описание конфигурации упругой пластины при изменении ее напряженно-деформированного состояния.....	188
5.	Р.Ш. Ибрагимов Расчет остаточных напряжений в изогнутых стержнях из сплава с эффектом памяти формы.....	193
6.	М.Дж. Джаманбаев, З.С. Турсункулова, У.Дж. Душенова Влияние уровня воды на величину фильтрационного расхода и на процесс таяния под основанием водоема.....	198
7.	Бурак Огул, Шимшек Д. Система решения разностного уравнения.....	202

8.	Б.И. Бийбосунов, М.У. Уметалиев, Ж.Т. Бексултанов Приближенно-аналитический расчет двумерной инфильтрации жидкости в горных склонах.....	206
9.	М.У. Мурзакматов, Э.Э. Маданбекова Оптимальное управление уровнем грунтовых вод с помощью напорных вод.....	210
10.	К.А. Пресняков, Г.К. Керимкулова, Г.О. Аскалиева К результатам исследований основных положений модели нетрадиционной идентификации режимных параметров открытых водотоков.....	215
11.	З.К. Иманалиев, Б.Ы. Аширбаев, Ж.А. Алтымышева Разделения движений сингулярно-возмущенной дискретной системы управления.....	219
12.	Р.А. Асанов Об одном классе линейных интегральных уравнений Фредгольма третьего рода с вырожденным ядром.....	222
13.	И.А. Усенов Комбинированный метод регуляризации для решения нелинейного операторного уравнения первого рода.....	226
14.	С.Б. Тагаева Эффективный алгоритм приближенного решения линейных интегральных уравнений типа Вольтерра третьего рода.....	230
15.	М.Дж. Джаманбаев, М.К. Чыныбаев Процесс загрязнения в зоне талого грунта.....	234
16.	С.А. Абдрахманов, Ж.Ж. Доталиева, М.Б. Джолдошбаева, А.А. Джанузакова Об определении реактивных усилий составных пружин.....	239
17.	С.А. Абдрахманов, А. Абдыжапар, Ж.Ж.Доталиева, А.А. Джанузакова О неупругой деформации фасонной пружины.....	244
18.	С.А. Абдрахманов, Т.Т.Кожошов, Т.А. Сатыбалдиев Экспериментальное определение модуля упругости сплава ТН-20 с использованием конической пружины.....	248
19.	Т.О. Иманалиев Вопросы повышения надежности железобетонных автодорожных мостов.....	252
20.	М.Д. Кутуев, Т.О. Иманалиев Вероятностный расчет и оценка надежности железобетонных плит автодорожных мостов....	254
21.	Н.А. Суюнтбекова Моделирование напряженно-деформированного состояния массивов пород нагорного карьера.....	256
22.	Н.А. Суюнтбекова Влияние сейсмovolн на гидросооружения.....	260
23.	К. Искендер Использование ряда Тейлора для нахождения экстремального значения перемещения конструкций.....	262
24.	Т.А. Муканов, А.К. Акматов, Г.И. Логинов, Д.Т. Темиркулова Разработка и исследование затвора гидроузла с программным управлением Ыссык-Атинского бассейна декадного регулирования(БДР).....	266
ХИМИЯ, ХИМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ И НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ.....		276
1.	А.Б. Омурзакова Исследование сорбента, полученного из новообразующего фильтрационного осадка сахарных заводов для очистки сточных вод от красителей.....	176
2.	Ф.И. Маслянова Влияние архитектуры на дизайн костюма.....	280
ПРОБЛЕМЫ И ИННОВАЦИИ В ИНЖЕНЕРНОМ ОБРАЗОВАНИИ.....		284
1.	Б.Т. Торобеков Совершенствование разработки стратегии развития ВУЗов Кыргызской Республики.....	284
2.	Б.Э. Таштобаева, Ф.И. Маслянова К вопросу подготовки кадров для кадров легкой промышленности.....	287

CONTENTS

INFORMATION AND COMMUNICATION NETWORK SYSTEMS

- 1 **Zh.I. Batyrkanov, G.M. Kudakeeva**
Recognition approach of visual images based on standards and training..... 11
- 2 **E.V. Kusev, M.J. Jumabaev**
Analysis of the propagation properties ultrashort waves for the Kyrgyz Republic 12
- 3 **M.J. Akzholov, I.G. Lebo, A.G. Madera**
Modelling of convective processes in the air near the surface of the electronic appliance that
generates heat..... 17

AUTOMATION AND CONTROL, MECHATRONICS AND ROBOTICS..... 23

- 4 **R.N. Kurmanalaieva**
Synthesis of control subsystem of linear objects by program movements..... 23
- 5 **R.N. Kurmanalaieva, R.Ch. Osmonova, T.T. Omorov**
Synthesis of control subsystems for a one class of control objects 26
- 6 **G. R. Abdraupova**
Automated management systems of knowledge for local government..... 32
- 7 **Kurshat Ozduman.**
Automated monitoring system of knowledge and education of pupils on system "sebat" in the
kyrgyz republic..... 36
- 8 **Rasim Durmaz**
State Regulation of Business Activity..... 40
- 9 **A. Umetaliev, Ch U. Ibragimov, K.D. Boskebeev**
The development of tools for design expert systems based on semantic networks in medicine..... 43
- 10 **V. Melnichuk**
Study stability of the closed nonlinear system inverter - induction motor by method of phase
trajectory 50
- 11 **A. A. Akylbekov, B.B. Koshoeva**
Development of an automated process control system of mixing colors..... 53

TRANSPORT AND MECHANICAL ENGINEERING..... 60

- 12 **N.A. Ragrin**
Development of sustainable models of spiral drills at casual nature of wear processes..... 60
- 13 **J.M. Omurov**
Defining the parameters of articulated track in different parts of the international highway
"Bishkek-Osh" 63
- 14 **A.J. Kuduev**
A study on method of modeling of road pavements based on laser scanned data and a new type of
approximating hermite wavelets 68
- 15 **R. B. Chukin**
Static and seismic stability analysis of kumtor's tailings dam 77
- 16 **J.M. Omurov**
Evaluation of the auxiliary brake system of the tractor train with semitrailer 84
- 17 **A.O. Omarbekova, G.T. Oruzbaeva, D.U. Smagulov**
Study of transportation properties of multiwalled carbon nanotubes (mwnt) 87
- 18 **R.Sh.Khalov**
Review and analysis crushers 91
- 19 **A.A. Orozbaev, J.H. Belekova**
Determination of wear resistance built-up welding parts for freight cars se "kyrgyz temir joldoru" 95
- 20 **J.H. Belekova, A.A. Orozbaev,**
Optimization of the welding of aluminum alloys modes (AL-MG-SI) brand 6082T6 in MIG
(metal inert gas) welding..... 103
- 21 **R.N. Askarbekov**
Using of rubber metal elements for protection from harmful effects of fluctuations..... 106
- 22 **G.E. Abduraeva**
The choice of rolling stock on regular routes in the city report..... 117

23	G.E. Abduraeva Improved analysis of passenger traffic in the urban bus routes.....	119
24	J.T. Gaparova G. Temirbektegin The project results of the device for forming ice roughness surface on the roads on solid works.....	122
25	I.T. Bashikov The kinematic computation of bulldozer equipment with movable operating element	126
26	A.J. Jainakov, R.T. Sultangazieva The modern approaches for solving tasks of plasma material processing	129
27	S.A. Mashekov, K.K. Nurahmetova Problems forming of titanium alloys and their solutions	134
28	K.K. Kurmanaliev, A.K. Sultangazieva, A.K. Turdukulova Dynamic bearing load forme shaft of printing machine	138
29	K.K. Kurmanaliev, A.K. Sultangazieva, A.K. Turdukulova Vertical oscillations of the forme shaft.....	141
30	M.K. Cerahhuglu, E.A. Hazar Experimental survey on cooling water pumps used in engines.....	144
31	S.A. Mashekov, A.E. Nurtazaev, K.K. Nurakhmetova Management deformation as a tool for the given structure and properties of compressor blades from titanium alloys.....	149
32	A.A. Ainabekova, N.A. Ragrin, V.A. Camconov Analysis of the dependence of the high speed spiral drills resistance on the quality of sharpening...	159
	ACTUAL PROBLEMS OF ENERGY.....	165
1.	S.M. Nasirdinova Results of experimental research processes of heat transfer in the solar tank battery.....	165
2.	A.Dj. Obozov, G.P. Kalimbetov Development of renewable energy in kyzyl-orda region of Kazakhstan	170
3.	A.Dj. Obozov, G.P. Kalimbetov Problems and prospects of electric industry the Republic of Kazakhstan	173
4.	APPLIED MATHEMATICS AND MECHANICS.....	176
5.	A.S. Omuraliev, A. Kojoshova Asymptotics of solutions the singularly perturbed parabolic equations with quadratic nonlinearity.....	176
6.	A.J. Jainakov, A.K. Kaleeva, A.Y. Kurbanaliev, A.B. Turganbaeva Modelling of turbulent flows in open channel junctions	180
7.	A.A. Asanov, D.A. Kambarova Regularization and uniqueness solution of the linear volterra integral equations on the first kind on the axis	184
8.	T.B. Duishenaliev, R.N. Askarbekov, I.Kozubai Mathematical description of the elastic plates configuration at change stress-strain state.....	188
9.	R.H. Ibragimov Calculation of residual stresses in the bent rods of alloy with shape memory effect.....	193
10.	M.Dj. Djamanbaev, Z.S. Tursunkulova, U.Dj. Dushenova Influence of water level in size and flow filtration melting process under the base pond.....	198
11.	Burak Ogul, Shimshek Dagistan. System solutions of difference equations	202
12.	B.I. Biybosunov, M.U. Umetaliev, J.T. Beksultanov Approximate analytical calculation of two-dimensional Infiltration of liquid at ill sides.....	206
13.	M.U. Murzakmatov, E.E. Madanbekova Optimal control over the level of the ground waters by means of pressure.....	210
14.	K.A. Presnyakov, G.K. Kerimkulova, G.O. Askalieva To research concepts in the model, alternative identification regime parameters flume.....	215
15.	Z.K. Imanaliev, B.Y. Ashirbaev, J.A. Altymysheva Traffic separation singularly perturbed discrete system	219
16.	R.A. Asanov A class of linear fredholm integral equations of the third kind with a degenerate kernel.....	222
17.	I.A. Usenov	

	Combined regularization method for solution of nonlinear operator equations of first kind	226
18.	S.B. Tagaeva Effective algorithm of approximate solving of linear volterra integral equations of the third kind....	230
19.	M.Dj. Djamanbaev, M.K. Chynybaev contaminations process in unfrozen soil	234
20.	S.A. Abdrakhmanov, J.J. Dotalieva, M.B. Djoldoshbaeva A.A. Djanuzakova About determination reaction force of composite coil springs	239
21.	S.A. Abdrakhmanov, A.Abdyjapar, J.J. Dotalieva, A.A. Djanuzakova About inelastic deformation of shaped springs	244
22.	S.A. Abdrakhmanov, T.T. kojoshov, T.A. Satybaldiev On the experimental determination of the elastic modulus of the alloy vt-20 as an example of conical springs	248
23.	T.O. Imanaliev Issues of increasing reliability of concrete road bridge.....	252
24.	M.D. Kutuev, T.O. Imanaliev Probability calculations and assessing the reliability of reinforced concrete slabs of highway bridges.....	254
25.	N.A. Suyuntbekova Simulation of stress-strain state of rock mass nagorno career.....	256
26.	N.A. Suyuntbekova Influence on hydraulic seismovoln	260
27.	K. Iskender Using the Taylor series for finding extreme values of displacement designs	262
28.	T.A. Mukanov, A.K. Akmatov, G.I. Loginov, D.T. Temirkulova Development and research of the gate hydroelectric programmatic Issyk-Ata pool Decadal Regulation (BDR)	266
	CHEMISTRY, CHEMICAL TECHNOLOGIES AND NEW MATERIALS.....	276
1.	A.B. Omurzakova Study of sorbents, derived from newly forming filtered cake sugar factory, to sewage treatment from dyes	280
2.	F.I. Maslyanova Influence of architecture in designing suit	284
	PROBLEMS AND INNOVATIONS IN ENGINEERING EDUCATION.....	284
1	B.T. Torobekov Improving the development strategy of the universities in the kyrgyz republic	284
2	B.E. Tashtobaeva, F.I. Maslyanova To the question of training personnel for light industry	287

ИНФОРМАЦИОННЫЕ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫЕ СЕТИ И СИСТЕМЫ

УДК: 044.931:378.147(083.76)

ПОДХОД РАСПОЗНАВАНИЯ ЗРИТЕЛЬНЫХ ОБРАЗОВ НА ОСНОВЕ ЭТАЛОНОВ И ОБУЧЕНИЯ

Батырканов Жениш Исакунович, доктор технических наук, профессор, проректор по научной работе и внешним связям, Кыргызский государственный технический университет им. И.Раззакова, 720044, Кыргызская Республика, г. Бишкек, пр. Мира, 66, E-mail: bjenish@mail.ru

Кудакеева Гулида Маданбековна, аспирант кафедры «Автоматическое управление», Кыргызский государственный технический университет им. И.Раззакова, 720044, Кыргызская Республика, г. Бишкек, пр. Мира, 66, E-mail: gulida87_87@mail.ru

В данной работе предлагаются структура и алгоритмы классификации устройства распознавания зрительных образов. В структуре используется рецепторная матрица, нейронный слой и компьютер. В компьютере на этапе обучения создается база эталонных образов в виде числовых матриц.

Предлагается два варианта алгоритма распознавания. В первом варианте алгоритм распознавания использует «принцип близости» и находит минимальную норму разности числовых матриц предъявленного образа с числовыми матрицами эталонных образов. Найденная минимальная норма является ключом к классификации.

Во втором варианте вычисляются скалярные произведения вектора изображения на векторы эталонов. Максимальное скалярное произведение и определяет искомый класс.

Ключевые слова: Образ, объект распознавания, классификация, нейрон, процедура обучения, эталонный образ.

RECOGNITION APPROACH OF VISUAL IMAGES BASED ON STANDARDS AND TRAINING

Batyrcanov Jenish Isakunovich, D.Sc.(Engineering), Professor, Vice Rector for Research and foreign Relations, Kyrgyz State Technical University after name of I.Razzakov, 66 Mir Ave., Bishkek, 720044, Kyrgyz Republic, E-mail: bjenish@mail.ru

Kudakeeva Gulida Madanbekovna, post-graduate student of "Automatic control", Kyrgyz State Technical University after name of I.Razzakov, 66 Mir Ave., Bishkek, 720044, Kyrgyz Republic, E-mail: gulida87_87@mail.ru

There are two variants of a pattern recognition algorithm. In the first variant recognition algorithm uses the "proximity principle" and finds the minimum norm of the difference of the presented numerical matrix image with a numerical matrix of reference images.

Recognition algorithm uses the "proximity principle" and finds the minimum norm of the difference between presented numerical matrix for image with a numerical matrix of reference model. Found the minimum norm is the key to classification.

In the second embodiment computes the dot product of a vector image on target vectors. The maximum inner product and determines the desired class.

Key words: image, object recognition, classification, neuron, learning procedure, reference images.

Современные системы автоматизации связи, компьютерные сети все шире и глубже применяют различные типы систем распознавания. Это в первую очередь промышленные роботы, оснащенные различными сенсорными чувствительными устройствами, это компьютерные сканирующие устройства письменных текстов и звуковой информации, это системы распознавания отпечатков пальцев, распознавание по радужной оболочке глаза, распознавание залежей нефти и газа, и многое другое.

На сегодняшний день очень большое количество прикладных задач относятся к задачам распознавания зрительных образов. При этом под образом понимается конкретное проявление изучаемого объекта.

Распознавание изображений (зрительных образов) – это частный случай распознавания образов, в котором распознаваемыми сигналами являются изображения, получаемые в результате проектирования объектов реального мира на плоскость. Распознавание зрительных образов является одним из наиболее важных для практики случаев общей проблемы распознавания образов. Задачи распознавания зрительных образов заключаются в создании методов и устройств, позволяющих автоматически классифицировать различные изображения. Изображения могут быть значительны на бумаге, фотопленке или просто быть картинками окружающего мира.

Существуют различные подходы и алгоритмы к распознаванию зрительных образов: подход на основе вычисления оценок; подход на основе аналогии, подход на основе сравнений с эталонами и другие.

На основе вышеуказанных алгоритмов разработаны различные программные пакеты: Fine Reader; From Reader; ABBY Fine Reader 4.0.

Вышеуказанные программные пакеты решают и эффективны только для ограниченного класса задач распознавания, таких как распознавание печатных текстов, заглавных символов.

В связи с вышесказанным разработка новых подходов и алгоритмов распознавания зрительных образов является актуальной проблемой.

Суть предлагаемого ниже подхода к распознаванию заключается в использовании нейронного подхода построения распознающего устройства использующего эталоны и процедуру обучения. Структура распознающего устройства приведена на рис.1.

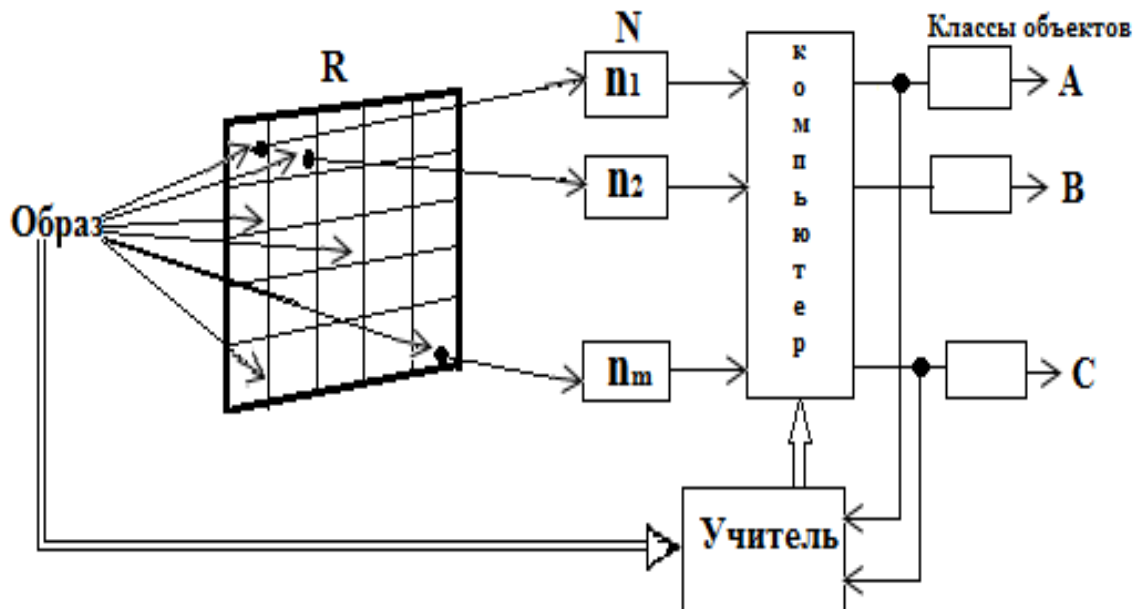


Рис. 1. Структура распознающего устройства

На рисунке обозначены: R-рецепторная матрица; N-нейронный слой; A,B, C - класс объектов.

В нейронном слое N количество нейронов равно количеству ячеек рецепторной матрицы R, при этом каждая ячейка матрицы соединена только с одним нейроном. Здесь под нейроном понимается искусственный нейрон, т.е. это сумматор с порогом или пороговый элемент.

Процедура обучения.

Она заключается в следующем. Последовательно на рецепторную матрицу подается определенное количество образов первого объекта «А». При предъявлении конкретного образа A^1 активируются определенные ячейки рецепторной матрицы. Активацию ячеек матрицы можно представить в виде конкретной числовой матрицы, при этом размер числовой матрицы определяется размером рецепторной матрицы. Имеем числовую матрицу типа

$$A^1 = \begin{pmatrix} a_{11}^1 & a_{12}^1 & a_{1N}^1 \\ a_{21}^1 & a_{22}^1 & a_{2N}^1 \\ a_{M1}^1 & a_{M2}^1 & a_{MN}^1 \end{pmatrix}, \quad (1)$$

где $a_{ij}^1 = \begin{cases} 0, \\ 1. \end{cases}$

Далее, предъявляется образ A^2 объекта «А», и так до последнего возможного образа A^L объекта «А». Вся эта совокупность образов $A^1, A^2, \dots, A^L$ объекта «А» записывается при помощи учителя в память компьютера, как база данных эталонных образов объекта «А». Вся вышеописанная процедура повторяется для всех объектов B,...,C. В итоге в компьютере создается база данных эталонных образов объектов A, B,...,C

$$\begin{aligned} A &= \{A^1, A^2, \dots, A^L\}, \\ B &= \{B^1, B^2, \dots, B^P\}, \\ C &= \{C^1, C^2, \dots, C^M\}. \end{aligned}$$

После этапа обучения наступает режим распознавания.

Алгоритмы распознавания.

Предлагается два варианта алгоритма распознавания.

1-вариант

Процедура классификации, т.е. отнесение предъявленного образа к тому или иному объекту происходит по следующей схеме.

При предъявлении рецепторной матрицы, например, образа «X» на основе нейронного слоя в компьютере образуется числовой образ в виде матрицы

$$X = \begin{pmatrix} x_{11} & x_{12}, \dots, x_{1N} \\ x_{21} & x_{22}, \dots, x_{2N} \\ \dots & \dots \\ x_{M1} & x_{M2}, \dots, x_{MN} \end{pmatrix}. \quad (3)$$

Чтобы отнести образ «X» к тому или иному классу объектов A, B, ... C, осуществляется процедура последовательного вычисления нормы от разностей матрицы «X» со всеми матрицами $A^1, A^2, \dots, A^L, B^1, \dots, B^L, C^1, \dots, C^M$, которые хранятся в базе эталонных образов объектов A, B, ... C. Удобно норму вычислять в виде Евклидовой нормы

$$\|X - A^K\| = \left(\sum_i \sum_j (x_{ij} - a_{ij}^K)^2 \right)^{1/2}. \quad (4)$$

Среди этого множества существует одна минимальная норма, пусть, например, минимальная норма разностей будет для образа B^S

$$\|X - B^S\| = \left(\sum_i \sum_j (x_{ij} - b_{ij}^S)^2 \right)^{1/2}. \quad (5)$$

Тогда компьютер активирует выход «B» выходного слоя, это говорит о том, что предъявленный образ «X» относится к объекту «B».

Описанный алгоритм классификации (распознавания) работает не только в случаях, когда матрица «X» совпадает с одним из $A^1, \dots, C^M$, но и в тех случаях, когда «X» не совпадает ни с одним из них. Но и здесь, согласно «принципу близости», классификация проходит успешно. Суть «принципа близости» в теории распознавания заключается в том, что образы для одного и того же объекта в пространстве признаков расположены близко друг к другу.

2-вариант

После реализации в компьютере числового образа в виде матрицы «X» формула (3) все матрицы $A^1, A^2, \dots, A^L, B^1, \dots, B^L, C^1, \dots, C^M, X$ переводятся в векторную форму в виде

$$\bar{X} = (x_{11}, x_{12}, \dots, x_{1N}, x_{21}, \dots, x_{2N}, \dots, x_{M1}, \dots, x_{MN})^T, \quad (5)$$

Далее осуществляется вычисление скалярных произведений вектора $\bar{X}$ со всеми векторами $\bar{A}^1, \dots, \bar{C}^M$.

Скалярное произведение вектора изображения $\bar{X}$ на вектор эталонов $\bar{A}^1, \dots, \bar{C}^M$ характеризует их сходство, при этом изображение «X» относят к тому классу эталонов, для которого скалярное произведение дало максимальное значение.

Выводы

1. Предложена структура распознающего устройства с процедурой эталонов обучения.
2. Для более точной достоверной работы распознающего устройства необходимо увеличивать количество ячеек рецепторной матрицы, а также увеличивать базу эталонных образов распознаваемых объектов.

Список литературы

1. Хант Э. Искусственный интеллект. – М.: Мир, 1978.
2. Саймон Хайкин. Нейронные сети: полный курс=Neural Networks: A Comprehensive Foundation. -2-e изд. – М.: «Вильямс», 2006.
3. Журавлев Ю.И. Избранные научные труды. – Изд. Магистр, 2002, - 420с.
4. Батырканов Ж.И. Системы искусственного интеллекта. – Б.: ИЦ «Текник», 2013.

References

1. Hunt E. Iskustvennyi intellekt [Artificial Intelligence]. -M.: Mir, 1978
2. Simon Haykin. Neironnye seti : polnyi kurs [Neural networks: a complete course] = Neural Networks: A Comprehensive Foundation. -2 izd. -M.: "Williams", 2006
3. Zhuravlev Y.I. Izbrannye nauchnye trudy. [Selected research papers.] -Izd. Magistr, 2002, -420s.
4. Batyrkanov J.I. Systemy iskustvennogo intellekta. [Artificial intelligence systems]. -B.: Izd "Teknik", 2013

АНАЛИЗ СВОЙСТВ РАСПРОСТРАНЕНИЯ УЛЬТРАКОРОТКИХ ВОЛН ДЛЯ КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ

Куцев Евгений Витальевич, аспирант КГТУ им. И. Раззакова, e-mail: evgeny230285@mail.ru
Жумабаев Мыктарбек Жумабаевич, к.т.н., профессор, e-mail: myktarbekjumabaev@yahoo.com

Цель статьи – проанализировать свойства распространения ультракоротких волн на территории Кыргызской Республики. В данной статье рассматриваются свойства распространения УКВ с учетом прямолинейного распространения, атмосферной рефракции, за счет рассеяния радиоволн на неоднородностях тропосферы, а также с учетом рельефа местности.

Ключевые слова: УКВ, распространение, неоднородность, тропосфера, рефракция

ANALYSIS DISTRIBUTION OF VHF PROPERTIES FOR THE KYRGYZ REPUBLIC

Kutsev Evgenii V., postgraduate student of KSTU named after I.Razzakov, e-mail: evgeny230285@mail.ru
Jumabaev Myktarbek Ju. PhD (Engineering), Professor, e-mail: myktarbekjumabaev@yahoo.com

The purpose of this article is to analyze distribution of VHF properties for the Kyrgyz Republic area. In this article had considered properties of VHF distribution taking into account linear distribution, atmospheric refraction, dispersion of radio-waves on troposphere's discontinuities, and also taking into account relief of district.

Keywords: VHF, distribution, inhomogeneity, troposphere, refraction

Переход на цифровое телевизионное вещание обусловлен множеством причин. К основным из них относятся: дефицит радиочастотного спектра, требования к качеству и количеству предоставляемых услуг и телевизионных программ.

Развитие цифрового телевизионного вещания позволит увеличить число доступных программ, повысить качество изображения и звукового сопровождения, вести качественный прием на мобильные и переносные приемники.

При переходе на цифровое телевизионное вещание возникает необходимость разработки и расчета новой, цифровой сети телевизионного вещания с учетом новых требований и возможностей. Для уменьшения затрат на покупку и обслуживание оборудования, повышения надежности всей сети необходимо учитывать возможные варианты распространения ультракоротких волн (УКВ) для телевизионного вещания с учетом горной местности Кыргызской Республики.

В данной статье рассматривается возможность приема цифрового телевизионного сигнала УКВ диапазона в пределах прямой видимости и за ее пределами.



Рис. 1. Распространение ультракоротких волн.

Современному телевизионному вещанию в диапазоне УКВ свойственно одно из ограничений, связанное с тем, что радиус действия передающих станций составляет всего несколько десятков километров. В лучшем случае он несколько превышает сотню километров. Это объясняется тем, что ультракороткие волны распространяются главным образом в пределах прямой видимости.

Если не учитывать влияние тропосферы на распространение УКВ и считать, что они распространяются прямолинейно (линия 1, рис. 1), то для равнинной местности величина R_0 определяется выражением:

$$R_0 = 3,57 \cdot (\sqrt{H} + \sqrt{h}), \quad (1)$$

где H - высота расположения передающей антенны, м.;

h - высота расположения приемной антенны, м.;

R_0 - расстояние прямой видимости, км.

В действительности же в атмосфере ультракороткие волны могут распространяться не прямолинейно, а по некоторой кривой, обращенной вогнутостью к Земле (линия 2, рис. 1). Причиной этого является атмосферная рефракция. Поскольку относительная диэлектрическая проницаемость воздуха при нормальном состоянии тропосферы непрерывно убывает с высотой, траектория радиоволны получается искривленной, причем степень искривления существенно зависит от характера изменения электрических свойств тропосферы. Поэтому дальность распространения радиоволн несколько превышает получаемое при расчете максимальное расстояние прямой видимости. Эту дальность называют максимальным расстоянием радиовидимости $R_{рв}$ и определяют по формуле:

$$R_{рв} = 4,12 \cdot (\sqrt{H} + \sqrt{h}), \quad (2)$$

где H - высота расположения передающей антенны, м.;

h - высота расположения приемной антенны, м.;

$R_{рв}$ - расстояние радиовидимости, км.

Под этой зоной следует понимать некоторое пространство, в пределах которого обеспечивается радиовидимость, а напряженность электромагнитного поля в месте установки приемной антенны оказывается достаточной для регулярного и качественного приема телевизионных сигналов с помощью телевизионного приемника.

В этом случае для определения напряженности в месте приема можно воспользоваться дифракционными формулами, в которых учитывается прямолинейное распространение радиоволн с учетом атмосферной рефракции.

Регулярный прием телевизионных передач с помощью обычных телевизионных приемников возможен лишь на расстояниях, не превышающих границы зоны гарантированного приема. Это утверждение основывалось на том, что напряженность поля ультракоротких волн за пределами зоны радиовидимости имеет очень малую величину вследствие слабой способности УКВ огибать выпуклость Земли.

Максимальное расстояние радиовидимости, как правило, является границей зоны гарантированного приема и представляет собой радиус действия телевизионного центра. Эта граница характеризуется минимальным значением напряженности поля в месте приема (на высоте приемной антенны), при котором отношение сигнала на входе телевизионного приемника к внутренним шумам, пересчитанным к его входу, равно величине, обеспечивающей требуемое соотношение сигнал/шум.

Радиус действия каждого телецентра зависит от высоты установки передающей и приемной антенн, мощности передатчика, рельефа местности и других факторов. С целью увеличения радиуса действия телевизионных центров, передающие антенны устанавливаются обычно на опорах высотой в несколько сот метров.

Однако измерения показали, что за пределами зоны радиовидимости регулярно существует поле УКВ, причем его напряженность иногда может достигать значительной величины. Это поле создается за счет рассеяния радиоволн на неоднородностях тропосферы, уровень поля подвержен хаотическим изменениям. Это называется дальним тропосферным распространением.

Тропосферные неоднородности представляют собой небольшие области пространства, в пределах которых давление,



Рис. 2. Распространение ультракоротких волн за счет рассеяния в тропосфере.

влажность и температура воздуха отличаются от средних для окружающей среды значений. Такие неоднородности возникают в зоне вихрей, образующихся при перемещении воздушных масс. Движение воздуха в тропосфере никогда не прекращается и всегда сопровождается образованием вихрей, поэтому неоднородности имеют место при любых метеорологических условиях.

Наиболее интенсивное образование неоднородностей происходит в толще воздуха на высоте 1—2 км над поверхностью Земли. Размеры тропосферных неоднородностей различны. В большинстве случаев

линейные размеры вихрей (турбулентностей) достигают нескольких десятков метров. Каждая неоднородность отличается от окружающей среды непрерывно изменяющейся диэлектрической проницаемостью и различной рассеивающей способностью. Неоднородности следует рассматривать как переизлучатели первичной радиоволны. Суммарное действие многих таких переизлучателей, расположенных в некотором объеме, способствует появлению рассеянных радиоволн.

Главное направление рассеяния совпадает с направлением распространения первичной волны. Рассеяние в боковых направлениях получается относительно небольшим. Так как рассеяние радиоволн происходит на большой высоте и во все стороны, часть рассеянной энергии проникает далеко за пределы зоны радиовидимости (рис. 2), что дает возможность регулярно принимать там сигнал, хотя и весьма слабый.

Экспериментальными исследованиями установлено, что дальность распространения УКВ за счет рассеяния на неоднородностях тропосферы достигает 200—300 км. Поэтому прием сигналов на таких удалениях от телецентра принято называть дальним телевизионным приемом.

Дальнему телевизионному приему за счет тропосферного рассеяния радиоволн присущи некоторые особенности, из которых, прежде всего, следует отметить наличие «замираний». Это связано с тем, что при приеме радиоволн, рассеянных большими объемами тропосферы, на вход телевизионного приемника поступает много электромагнитных колебаний с различными фазами и амплитудами. В зависимости от соотношения фаз эти колебания могут складываться и давать усиленный сигнал или вычитаться, образуя слабый сигнал. Так как фазы отдельных колебаний непрерывно изменяются, изменяется и уровень принимаемого сигнала.

Другой особенностью тропосферного рассеяния УКВ является сезонность изменения потерь энергии при распространении, вследствие чего при прочих равных условиях (мощность передатчика, чувствительность телевизионного приемника, тип антенны и др.) уровень принимаемого сигнала зимой оказывается ниже, чем летом. Это изменение уровней объясняется различным физическим состоянием тропосферы.

В тропосфере происходит ослабление радиоволн из-за поглощения их как газами атмосферы, так и атмосферными образованиями — туманами, облаками, дождями и т. д. Наибольшее затухание радиоволны испытывают в дождях и туманах. Затухание зависит от длины волны излучаемого сигнала и интенсивности осадков. Укорочение длины волны и увеличение интенсивности дождя приводит к увеличению затухания.

Для описания различных характеристик принимаемого сигнала по полученным данным требуется статистический подход. Важнейшими характеристиками принимаемого сигнала является его среднее значение, знание которого необходимо для определения параметров приемо-передающей аппаратуры, а также зависимость поля у приемной антенны от длины волны. Знание закономерности среднего значения сигнала позволяет определять оптимальные длины волн для надежной работы систем, дает возможность судить о механизме дальнего тропосферного распространения и о структуре тропосферных неоднородностей.

Обычно при дальнем тропосферном распространении средние уровни сигналов выражают в децибелах по отношению к уровням сигналов, которые были бы приняты в свободном пространстве на том же расстоянии. Это отношение принято называть функцией ослабления поля. Оно не зависит от характеристик приемо-передающей аппаратуры и определяется только условиями распространения электромагнитной энергии в реальной среде.

В области расстояний 60—200 км функция ослабления поля $B = f(\lambda)$ прямо пропорциональна $10 \lg \lambda$. [1].

Следует отметить и другой механизм дальнего приема телевизионных передач: на длинных закрытых трассах при полной экранировке приемной антенны иногда может наблюдаться так называемый эффект усиления за счет препятствия. Это явление заключается в том, что препятствие на трассе увеличивает напряженность поля по сравнению с тем, которое было бы при отсутствии препятствия. При отсутствии горы на трассе (рис. 3) волна распространялась бы к приемной антенне, испытывая по мере удаления от передающей антенны сильное ослабление. При наличии этой горы волна распространяется до ее вершины двумя путями — прямым (AB) и за счет отражения от поверхности Земли (AOB).



Рис. 3. Эффект усиления за счет препятствия.

При благоприятных фазовых соотношениях прямой и отраженной волн на вершине горы они могут складываться, увеличивая напряженность результирующего поля. Вершина горы является, таким образом, переизлучателем электромагнитной энергии. В дальнейшем, от вершины до приемной антенны волны опять могут распространяться по двум путям, и в точке приема вновь возможно сложение прямой и отраженной волн.

Выводы

Ультракоткие волны распространяются главным образом в пределах прямой видимости, а также в результате атмосферной рефракции в пределах радиовидимости, к которым для расчета напряженности поля могут быть применены дифракционные формулы.

Также УКВ могут распространяться на расстояния 200-300 км за счет рассеяния на неоднородностях тропосферы. Но при этом возникают «замирания» сигнала в результате многолучевого распространения.

Еще одним механизмом дальнего распространения УКВ является усиление препятствием при полной экранировке приемной антенны. Усиление волны препятствием может быть использовано в Кыргызской Республике.

Список литературы

1. Введенский Б. А., Колосов М. А., Калинин А. И. и др. «Дальнее тропосферное распространение ультракотких радиоволн», М.: Советское радио, 1965 г., 417 с.
2. Бушуй Л. А. «Антенно-фидерные устройства и распространение радиоволн: методические указания по изучению теоретического курса раздела «Распространение радиоволн». Оренбург: ГОУ ОГУ, 2003 г., 41 с.
3. Долуханов М. П. «Распространение радиоволн» М.: «Связь», 1972, 336 с.
4. Родос Л. Я. «Электродинамика и распространение радиоволн». СПб.: Из-во СЗТУ, 2007 г., 90 с.

References

1. Vvedenskiy B. A., Kolosov M.A., Kalinin A. I «Dalnee troposfernoe rasprostranenie ultrakotkih voln» Moscow, Sovetskoe radio, 1965, 417 p.
2. Bushui L. A. «Antenno-fidernye ustroistva i rasprostranenie raiovoln» Orenburg: GOU-OGU, 2003, 41 p.
3. Doluhanov M. P. Rasprostranenie radiovoln. Moscow.: «Svyaz», 1972, 336 p.
4. Rodos L. Ya. «Electrodynamika i rasprostranenie raiovoln (rasprostranenie raiovoln)» SPB, SZTU, 2007, 90 p.

УДК 539.10

МОДЕЛИРОВАНИЕ КОНВЕКТИВНЫХ ПРОЦЕССОВ В ВОЗДУХЕ ВБЛИЗИ ПОВЕРХНОСТИ ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ, ВЫДЕЛЯЮЩИХ ТЕПЛО

Акжолов М.Ж., Межведомственный суперкомпьютерный центр Российской академии наук (МЦС РАН), с.н.с., Москва, www.jscc.ru, ak-1@mail.ru

Лебо И.Г., Московский государственный технический университет радиотехники, электроники и автоматики (МИРЭА), профессор, Москва, mirea.ru, lebo@mail.ru

Мадера А.Г. Научно-исследовательский институт системных исследований Российской академии наук (НИИСИ РАН), зав. отделом, Москва, niisi.ru, alexmadera@mail.ru

Дано описание физико-математической модели и двумерной программы «ENS_T» (Equation of Navies-Stocks with thermo conductivity) для численного решения уравнений Навье-Стокса с учетом теплопроводности. Представлены результаты численных расчетов нагрева и конвекции воздуха вблизи электронных устройств.

Ключевые слова: волновое число, размер неоднородности, пограничный слой, скорость отвода энергии, уравнения газовой динамики, компьютерного моделирования конвективных процессов

MODELING OF CONVECTIVE PROCESSES IN THE AIR NEAR THE SURFACE OF THE ELECTRONIC APPLIANCE THAT GENERATES HEAT

Akzhol M.J Joint Supercomputer Center of the Russian Academy of Sciences (RAS MDC), Senior Researcher, Moscow, www.jscc.ru, ak-1@mail.ru

Lebo I.G Moscow State Technical University of Radio Engineering, Electronics and Automation (Technical University), Professor, Moscow, mirea.ru, lebo@mail.ru

A.G Madera Research Institute for System Studies of the Russian Academy of Sciences (RAS NIISI), Head. Department, Moscow, niisi.ru, alexmadera@mail.ru

The description of the physical and mathematical model and the two-dimensional program «ENS_T» (Equation of Navies-Stocks with thermo conductivity) for the numerical solution of the Navier-Stokes equations with the thermal conductivity. The results of numerical calculations of heating and air convection near electronic devices.

Keywords: the wave number, size, heterogeneity, boundary layer, the rate of removal of energy, the equation of gas dynamics, computer simulation of convective processes

Введение

Вблизи поверхности электронного устройства с воздухом происходит передача тепла в газ, формируется переходной пограничный слой. Скорость отвода энергии будет существенно зависеть от конвективных процессов в газе и, возможно, теплопроводности. Влияние этого процесса возрастает с уменьшением масштаба неоднородности как $\sim k^2$, где $k = 2\pi/L$ - волновое число, а L - размер неоднородности. Поэтому в разрабатываемой авторами статьи программе был развит алгоритм расчета уравнения теплопроводности совместно с уравнениями газовой динамики и создана новая программа «ENS_T» (Equation of Navies-Stocks with thermo conductivity).

В настоящей статье представлены предварительные результаты компьютерного моделирования конвективных процессов в воздухе вблизи поверхности электронных устройств, выделяющих тепло.

1. Постановка задачи.

Газодинамические процессы в воздухе вблизи нагревающей поверхности описываются системой уравнений Навье-Стокса (1):

$$\begin{aligned} \frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial \rho u}{\partial x} + \frac{\partial \rho v}{\partial y} &= 0, \\ \frac{\partial \rho u}{\partial t} + \frac{\partial \rho u^2}{\partial x} + \frac{\partial \rho uv}{\partial y} + \frac{\partial p}{\partial x} &= \frac{\partial}{\partial x} \left\{ \mu A \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right) + 2\mu \frac{\partial v}{\partial y} \right\} + \frac{\partial}{\partial y} \left\{ \mu \left(\frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} \right) \right\} \\ \frac{\partial \rho v}{\partial t} + \frac{\partial \rho uv}{\partial x} + \frac{\partial \rho v^2}{\partial y} + \frac{\partial p}{\partial y} + \rho g_0 &= \\ \frac{\partial}{\partial y} \left\{ \mu A \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right) + 2\mu \frac{\partial v}{\partial y} \right\} + \left\{ \mu \left(\frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} \right) \right\}, & \quad (1) \\ \frac{\partial \rho E}{\partial t} + \frac{\partial (\rho u E)}{\partial x} + \frac{\partial (\rho v E)}{\partial y} + \frac{\partial (p u)}{\partial x} + \frac{\partial (\rho v)}{\partial y} + \rho g_0 v &= \\ \frac{\partial}{\partial x} \left\{ \mu A \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right) u + \mu \left(\frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} \right) v + \mu \frac{\partial}{\partial x} (u^2 + B \cdot J) \right\} + \\ \frac{\partial}{\partial y} \left\{ \mu A \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right) + \mu \left(\frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} \right) u + \mu \frac{\partial}{\partial y} (v^2 + B \cdot J) \right\} + \frac{\partial}{\partial x} \left\{ \kappa T \left(\frac{\partial T}{\partial x} \right) \right\} + \frac{\partial}{\partial y} \left\{ \kappa T \left(\frac{\partial T}{\partial y} \right) \right\} \end{aligned}$$

где $\vec{W} = (u, v)$ - вектор скорости, J - удельная внутренняя энергия, E - полная удельная энергия, ρ - плотность газа, A, B - коэффициенты вязкости. Для идеального газа $A = \frac{2}{3}$, $B = \frac{\chi^2}{C_p}$, χ , C_p - коэффициент температуропроводности и теплоёмкость газа g_0 - ускорение свободного падения, направленное строго вдоль оси OY , T - температура, κ - коэффициент теплопроводности, $\chi = \frac{\kappa}{C_p \cdot \rho}$. Система уравнений (1) замыкается

уравнением состояния (2) $P = (\gamma - 1)\rho J = (\gamma - 1)\rho[E - (u^2 + v^2)/2]$, где (2).

γ - показатель адиабаты, p - давление. Для решения уравнений (1-2) использовался метод крупных частиц, описанный в [1].

Постановка задачи взята из [2], но расчеты были сделаны с учетом теплопроводности. Коэффициент теплопроводности воздуха $\kappa = 0.026$ Вт/(град·м), $C_p = 1004.8$ Дж/(кг·град). Поскольку в постановке задачи в [2] имелась зеркальная симметрия относительно прямой, проходящей через центр области параллельно оси OY , то в представленных ниже расчетах была взята левая половина счетной области. Размер этой области $L_x \times L_y = 0.09 \times 0.18$ м. На нижней границе расчетной области у правого края помещался теплоэлемент,

имеющий ширину 0.02 м. Он выделял мощность $W = 5$ Вт. Начальная плотность воздуха 1.225 кг/м^3 , а температура 300 град.К. В предыдущем варианте на верхней границе было задано условие второго рода, то есть $W_{\text{up}} = 0$. В рассматриваемом варианте задано условие первого рода $T_{\text{up}} = 300$ град. К. Таким образом, в новом варианте часть тепловой энергии покидает систему. (В предыдущем варианте размер теплоэлемента был задан 0.038 м, в новом – 0.04 м).

2. Результаты расчетов

В расчетах использовалась сетка 45х90 ячеек. Были выполнены расчеты с учетом влияния теплопроводности и гравитации (вариант а). Результаты расчетов сравнивались с данными, полученными без учета теплопроводности (вариант б).

На представленных ниже рисунках по оси абсцисс отложены номера ячеек счетной области. На рис.1 даны распределения температуры на моменты времени $t = 1$ сек для вариантов (а) и (б).

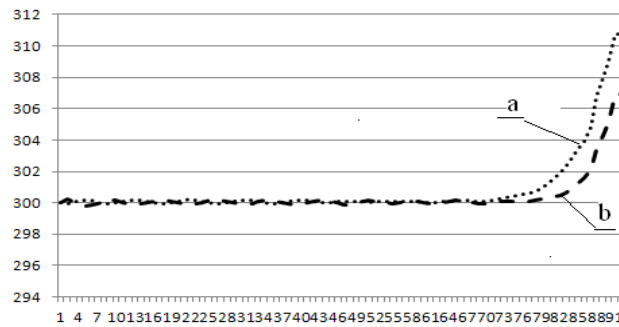


Рис.1. Распределение температуры вдоль оси OY при $x=0.09$ м на момент времени $t = 1$ сек для вариантов (а) и (б).

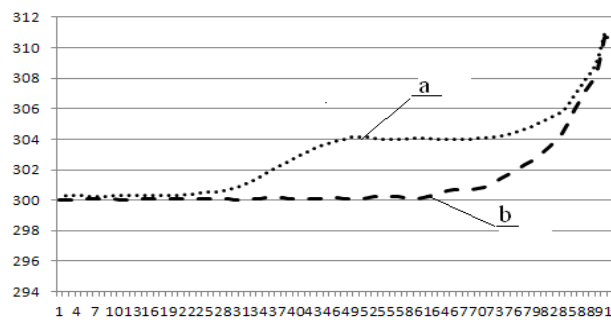


Рис.2. Распределение температуры вдоль оси OY при $x=0.09$ м на момент времени $t = 3.96$ сек для вариантов (а) и (б).

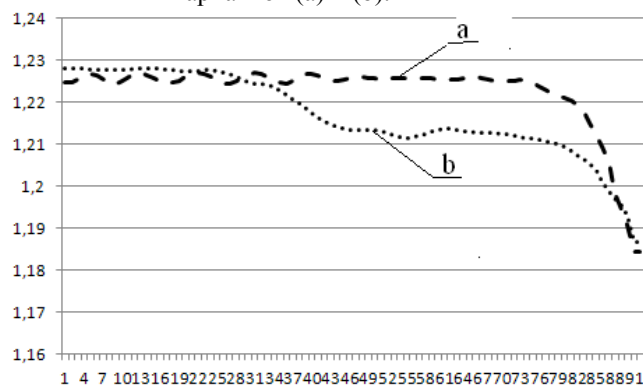


Рис.3. Распределение плотности при $x=0.09$ м на момент времени 1 и 3.96 с в варианте б).

На рис.3,4 показаны распределения плотности вдоль оси OY при $x=0.09$ м на моменты времени $t = 1$ сек --- (1) и 3.96 сек ••• (2) для вариантов (б) и (а).

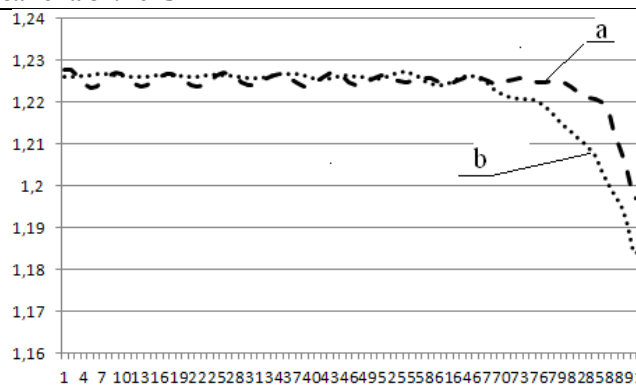


Рис. 4. Распределение плотностей вдоль оси OY при $x=0.09$ м на момент времени $t = 1$ сек - - - (1) и 3.96 сек ••• (2) для вариантов (а).

На рис.5, 6 показаны поля температуры в области на моменты времени $t = 1$ (а) и 3.96 сек (б) в вариантах с учетом и без учета теплопроводности.

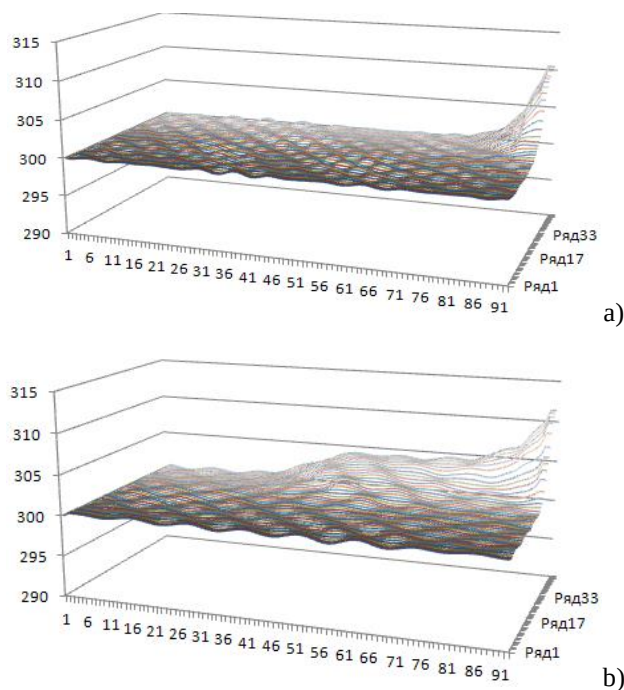
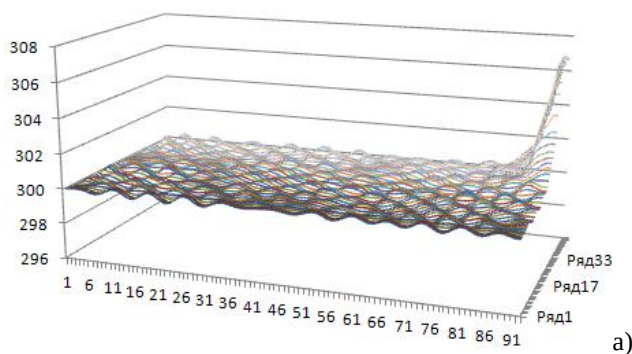


Рис.5. Поля температуры в варианте с учетом теплопроводности на моменты времени $t = 1$ (а) и 3.96 сек (б)



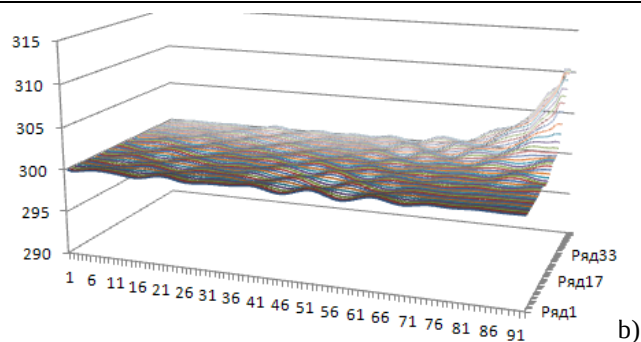
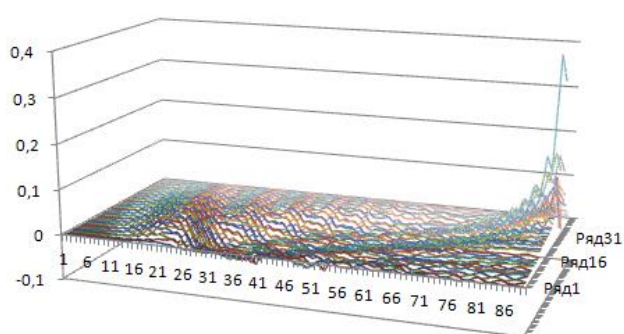
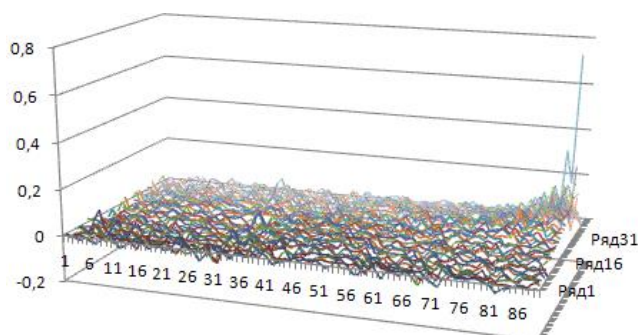


Рис.6. Поля температуры в варианте без учета теплопроводности при $t = 1$ сек (а) и при $t = 3.96$ сек (б).

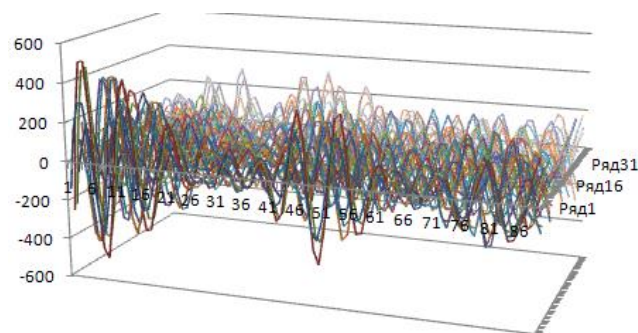
На следующих рисунках (рис.7а,б,с) показано развитие «вихрей» в газе ($rot\vec{V}$) на различные моменты времени (. а) $t=0,0004$ с, б) $t=0,03$ с, с) $t=1,00$ с).



а) $t=0,0004$ с



б) $t=0,03$ с



с) $t=1,00$ с

Рис.7. Развитие поля вихрей на моменты времени 0.0004, 0.03 и 1 с.

В начальные моменты времени вихри формируются вблизи тепло- элемента. Звуковые волны, отразившись от верхней и боковых стенок, двигаются в противоположном направлении и «интерferируют» с новыми зародившимися волнами. В результате формируются вихревые структуры. К моменту времени $t = 1$ вихри распространилось по всей области счета.

Выводы

1. Разработана физико-математическая модель и создана двумерная программа «ENS_T» для решения уравнений газовой динамики с учетом вязкости и теплопроводности.
2. Проведены расчеты, моделирующие конвекцию и диссипацию энергии вблизи нагревающей поверхности электронного устройства.
3. Сделано сравнение с результатами расчетов, выполненных по программе «ENS_G», и показано, что на масштабах неоднородностей порядка 1 см и мощности теплоэлемента порядка 10 Вт процесс теплопроводности не дает существенного вклада, хотя из-за оттока тепла в варианте а) температура несколько ниже, чем в варианте б).

С развитием вихревых течений роль теплопроводности может возрасти.

4. Получены предварительные результаты по зарождению вихревых течений вблизи электронного нагревательного устройства в воздухе.

Список литературы

1. О.М. Белоцерковский, Ю.М. Давыдов. Метод крупных частиц в газовой динамике. // Москва, Наука, 1982.
2. М.Ж. Акжолов, П.И. Кандалов, И.Г. Лебо, А.Г. Мадера. Компьютерное моделирование конвективных процессов в воздушной среде вблизи электронных устройств. Труды НИИСИ РАН, т.1, №2, 44-46, 2011.

References

1. O.M. Belotserkovskii, Y.M. Davydov. Method of large particles in gas dynamics. // Moscow, Nauka, 1982.
2. M..J Akzhol, P.I. Shackles, I.G. Lebo, A.G. Madera. Computer modeling of convection processes in the air near the electronic devices. Proceedings NIISI Sciences, Volume 1, №2, 44-46, 2011.

АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ, МЕХАТРОНИКА И РОБОТОТЕХНИКА

УДК 681.5

**СИНТЕЗ УПРАВЛЯЮЩЕЙ ПОДСИСТЕМЫ
ПРОГРАММНЫМ ДВИЖЕНИЕМ ЛИНЕЙНОГО ОБЪЕКТА**

Курманалаева Роза Насбековна, к.т.н., доцент, КГУСТА им. Н.Исанова, Кыргызстан, 720020, г.Бишкек, ул.Малдыбаева, 36^б, e-mail: nas.roza@mail.ru

Цель статьи - синтез управляющей подсистемы программным движением линейного динамического объекта, описываемого передаточной функцией. Разрабатывается методика синтеза закона управления программным движением рассматриваемого объекта на основе нового критериального условия.

Ключевые слова: объект управления, передаточная функция, программное движение объекта, критериальные условия, синтез управляющей подсистемы

**SYNTHESIS OF CONTROL SUBSYSTEM
LINEAR OBJECTS BY PROGRAM MOVEMENTS.**

Kurmanalaieva Roza Nasbekovna, PhD (Engineering), Associate Professor, KSUCTA named after N. Isanov, 36b, Malydybaev str., c.Bishkek, 720020, Kyrgyzstan, e-mail: nas.roza@mail.ru

The purpose of the article is synthesis of the control subsystem program movement of linear dynamic object, described by a transfer function. The procedure of the synthesis of the control law software movement of the object based on the new criterion conditions is developed.

Keywords: facility management, the transfer function, program movement subject, criteria conditions, the synthesis of the control subsystem

Системы автоматического управления (САУ) программным движением широко применяются при автоматизации различных технических и технологических объектов (станки, манипуляторы, летательные аппараты, промышленные электроприводы и др.). Для проектирования таких САУ в рамках теории управления разработан ряд методов, таких как методы оптимального [1, 2] и адаптивного управления [3, 4], построения систем с переменной структурой [5], алгоритмы обратной задачи динамики [6, 7] и модального управления [8]. В работе предлагается один из возможных подходов к динамическому проектированию систем программного управления линейными объектами.

Рассмотрим одномерную линейную управляемую систему, описываемую передаточной функцией $W(s)$. На её вход поступает управляющее воздействие $u_1(t)$, а выходная переменная $y_1(t)$ имеет изображение

$$Y_1(s) = W(s)U_1(s), \quad (1)$$

где $Y_1(s) = L[y_1(t)]$; $U_1(s) = L[u_1(t)]$; L – оператор Лапласа.

Предполагается, что система управления должна отслеживать заданную программную (желаемую) траекторию движения, которая определяется функцией $\tilde{y}_1(t)$. Считается, что информация о её производной отсутствует. Качество системы программного управления характеризуется ошибкой управления:

$$\Delta_1(t) = \tilde{y}_1(t) - y_1(t), t \in [t_0, t_k], \quad (2)$$

где t_0, t_k – начальный и конечный моменты процесса управления.

Задача состоит в определении алгоритма функционирования регулятора, обеспечивающего максимальную близость фактического $y_1(t)$ и желаемого $\tilde{y}_1(t)$ состояний объекта управления (1), т.е. выполнение цели управления:

$$\Delta_1(t) \rightarrow 0. \quad (3)$$

Решение сформулированной задачи выполняется в 4 этапа:

- 1) преобразование передаточной функции $W(s)$ в эквивалентные дифференциальные уравнения;
- 2) формулировка критериальных условий для синтеза закона управления $u_1(t)$;
- 3) построение оценочной (штрафной функции);
- 4) синтез искомого алгоритма управления.

Преобразование передаточной функции. Как известно, в общем случае передаточная функция линейной стационарной системы представляет собой дробно-рациональное выражение

$$W(s) = \frac{b(s)}{a(s)} = \frac{\sum_{j=0}^m b_j s^j}{\sum_{i=1}^n a_i s^i}. \quad (4)$$

Пусть выполняются следующие условия:

- степень полинома $b(s)$ меньше степени полинома $a(s)$, т.е. $m < n$;
- полином $a(s)$ имеет простые и разные корни l_i , ($i = \overline{1, n}$), т.е. представляется в виде $a(s) = a_n(s - l_1)(s - l_2) \dots (s - l_n)$.

В этом случае передаточную функцию $W(s)$ можно представить в виде параллельного соединения элементарных звеньев $W_i(s)$, имеющих выходные переменные $z_i(t)$, $i = \overline{1, n}$ (рис.1).

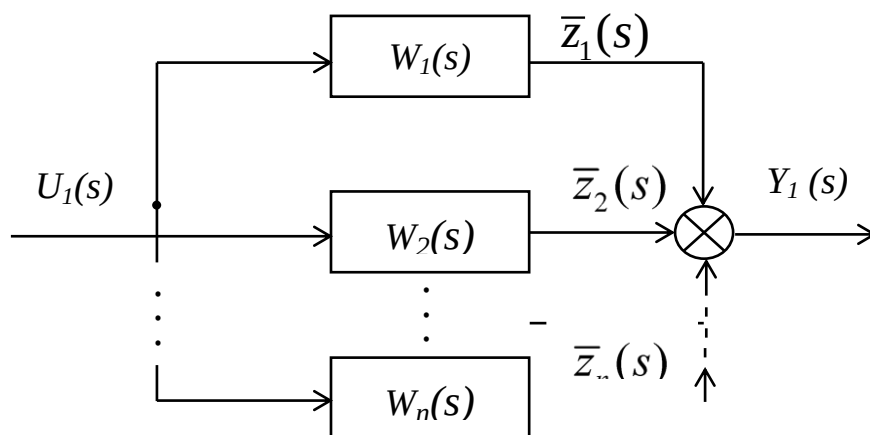


Рис.1. Структура модели динамической системы

При этом

$$W(s) = \sum_{i=1}^n W_i(s),$$

а передаточные функции

$$W_i(s) = \frac{c_i}{s - l_i}, \quad i = \overline{1, n}, \quad (5)$$

где C_i, l_i – известные вещественные параметры.

Изображение выходов элементарных звеньев с учетом (5) имеют вид

$$Z_i(s) = \frac{c_i}{s - l_i} U_1(s), \quad i = \overline{1, n}. \quad (6)$$

Во временной области на основе (6) получаем следующие уравнения:

$$\dot{z}_i(t) = \lambda_i z_i(t) + c_i u_1(t). \quad (7)$$

Такое представление системы приводит к тому, что её выходная переменная

$$y_1(t) = \sum_{i=1}^n z_i(t), \quad (8)$$

а её производная по времени

$$\dot{y}_1(t) = \sum_{i=1}^n \dot{z}_i(t) = \sum_{i=1}^n [\lambda_i z_i(t) + c_i u_1(t)] \quad (9)$$

Критериальные условия для синтеза управления. Введем следующую функцию [9]:

$$J_1(t) = \int_{t_0}^t I_1(T) dT \quad (10)$$

Проинтегрируем правую часть выражения (10):

$$J_1(t) = \int_{t_0}^t I_1(T) \dot{I}_1(T) dT = \frac{1}{2} \int_{t_0}^t \left[\frac{dI_1^2}{dT} \right] dT = \frac{1}{2} I_1^2(t) - \frac{1}{2} I_1^2(t_0) = 0,5[I_1^2(t) - I_1^2(t_0)] \quad (11)$$

Далее примем, что $t_0 = t - \Delta t$, где Δt – малое положительное число. Тогда, если для каждого t_0 и $t > t_0$ выполняется условие

$$J_1(t) < 0, \quad (12)$$

то модуль оценочной функции $|I_1(t)|$ убывает с течением времени, так как из соотношения (11) вытекает, что

$$I_1^2(t) < I_1^2(t - \Delta t) \quad (13)$$

На основе соотношений (12) и (13) можно сформулировать следующий критерий для синтеза закона управления $u_1(t)$.

Теорема. Пусть $I_1(t_0) \neq 0$ и для каждого t_0 и $t > t_0$ выполняется условие

$$\int_{t_0}^t I_1(T) \dot{I}_1(T) dT < 0. \quad (14)$$

Тогда модуль оценочной функции $|I_1(t)|$ с течением времени убывает и

$$\lim_{t \rightarrow \infty} I_1(t) = 0.$$

Построение штрафной функции. На основе соотношения (11) можно записать следующее выражение для $I_1^2(t)$:

$$I_1^2(t) = 2 \int_{t_0}^t I_1(T) \dot{I}_1(T) dT + I_1^2(t_0). \quad (15)$$

Аналогичным образом можно записать формулу и для функции $y_1^2(t)$:

$$y_1^2(t) = 2 \int_{t_0}^t y_1(T) \dot{y}_1(T) dT + y_1^2(t_0). \quad (16)$$

По известной желаемой траектории $\tilde{y}_1(t)$ объекта управления построим новую функцию:

$$\bar{y}_1^2(t) = 2 \int_{t_0}^t \tilde{y}_1(T) \dot{\tilde{y}}_1(T) dT + \tilde{y}_1^2(t_0), \quad (17)$$

а также невязку

$$e_1(t) = y_1^2(t) - \bar{y}_1^2(t) = 2 \int_{t_0}^t \Delta_1(T) \dot{y}_1(T) dT + e_1(t_0) \quad (18)$$

При этом производная по времени

$$\dot{e}_1(t) = 2\Delta_1(t) \dot{y}_1(t). \quad (19)$$

Введем в рассмотрение следующую функцию:

$$I_1(t) = e_1(t) \quad (20)$$

и на её основе построим критериальную функцию $J_1(t)$, которая определяется формулой (10).

Теперь, если обеспечить выполнение соотношения (14), т.е. выполнение условия вышесформулированной теоремы, то $|I_1(t)| \rightarrow 0$. Тогда очевидно, что $|e_1(t)| \rightarrow 0$. Следовательно, ошибка управления, $|\Delta_1(t)| \rightarrow 0$, т.е. выходная переменная объекта $y_1(t)$ стремится к программной траектории $\tilde{y}_1(t)$. Таким образом, в качестве оценочной (штрафной) функции $I_1(t)$ можно использовать функцию, определяемую выражением (20). В дальнейшем для краткости при записи используемых функций будем опускать их аргумент t .

Построение алгоритма управления. Для этой цели будем использовать критериальное соотношение (14). Ранее была получена штрафная функция I_1 , определяемая выражением (20). Её производная по времени с учетом (19) имеет вид

$$\dot{I}_1 = \dot{e}_1 = 2\Delta_1 \dot{y}_1. \quad (21)$$

Запишем критериальную функцию J_1 с учетом (21):

$$J_1(t) = \int_{t_0}^t I_1(T) \dot{I}_1(T) dT = 2 \int_{t_0}^t I_1 \Delta_1 \dot{y}_1 dT. \quad (22)$$

Теперь потребуем, чтобы динамика объекта $\dot{y}_1(t)$ подчинялась следующему соотношению:

$$\alpha_1 \dot{y}_1 = I_1 \Delta_1, \quad (23)$$

где α_1 – параметр, который должен определяться из условия (14).

С учетом (23) критериальная функция преобразуется к виду

$$J_1(t) = 2\alpha_1 \int_{t_0}^t I_1^2 \Delta_1^2 dT \quad (24)$$

Отсюда видно, что при $\alpha_1 < 0$ критериальная функция принимает отрицательное значение ($J_1 < 0$), то есть выполняется условие (14).

Далее сравнение соотношений (9) и (23) приводит к следующему соотношению:

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i Z_i + u_1 \sum_{i=1}^n c_i = \alpha_1^{-1} I_1 \Delta_1. \quad (25)$$

Отсюда получаем искомый закон управления:

$$u_1 = \frac{\alpha_1^{-1} I_{1\Delta_1 - \sum_{i=1}^n \lambda_{iz_i}}}{\sum_{i=1}^n c_i}, \quad (26)$$

где предполагается, что $\sum_{i=1}^n c_i \neq 0$.

Выводы. На основе предложенного критериального условия (14) разработана методика синтеза САУ программным движением одномерного объекта, описываемого передаточной функцией. Данная методика естественным образом обобщается на случай многомерных линейных систем.

Список литературы

1. Понтрягин Л.С., Болтянский В.Г., Гамкрелидзе Р.В., Мищенко Е.Ф. Математическая теория оптимальных процессов. – М.: Наука, 1976. – 392 с
2. Красовский Н.Н. Теория управления движением. – М.: Наука, 1968. – 473 с.
3. Тимофеев А.В. Построение адаптивных систем управления программным движением. – Л.: Энергия, 1980. – 88с.
4. Фрадков А.Л. Адаптивное управление в сложных системах. – М.: Наука, 1990.
5. Емельянов С.И., Уткин В.И., Таран В.А. и др. Теория систем с переменной структурой. – М.: Наука, 1970. – 592 с.
6. Построение систем программного движения /Под ред. А.С. Галилулина. – М.: Наука, 1971. – 352 с.
7. Крутько П.Д. Обратные задачи динамики управляемых систем: Линейные модели. – М.: Наука, 1987. – 307 с.
8. Porter B., Crossley T.R. Modal Control. – London: Taylor & Francis, 1972.
9. Оморев Т.Т., Кожекова Г.А. Синтез систем управления многомерными объектами по критериальным ограничениям // Известия НАН КР. – 2009.–№1–С.45–51.

References

1. L.S. Pontryagin, V.G. Boltyanskii, R.V. Gamkrelidze, E.F. Mishchenko Matematicheskaya teoriya optimal'nykh prosessov. [The mathematical theory of optimal processes.] - M.: Nauka, 1976.- 392 p.
2. N.N. Krasovskii. Teoriya upravleniya dvizheniyem. [Theory of motion control] M.: Nauka 1968. - 473 p.
3. A.V. Timofeev. Postroyeniye adaptivnykh sistem upravleniya programmnyy dvizheniyem. [Building adaptive systems management software movement.] - L.: Energy, 1980. - 88с.
4. A.L. Fradkov Adaptivnoye upravleniye v slozhnykh sistemakh. [Adaptive management in complex systems.] - M.: Nauka, 1990.
5. S.I. Emelyanov, V.I. Utkin, V.A. Taran and others. Teoriya sistem s peremennoy strukturoy [The theory of variable structure systems.] - M.: Nauka, 1970. - 592 p.
6. Postroyeniye sistem programmnoy dvizheniya [Construction of system software movement] / Ed. AS Galilulina. - M.: Nauka, 1971. - 352 p.
7. Krut'ko P.D. Obratnyye zadachi dinamiki upravlyayemykh sistem: Lineynyye modeli. [Inverse problems of the dynamics of controlled systems: Linear models.] - M.: Nauka, 1987, - 307 p.
8. Porter B., Crossley T.R. Modal Control. - London: Taylor & Francis, 1972.
9. Omorov T.T., Kozheкова G.A. Sintez sistem upravleniya mnogomernymi ob'yektami po kriterial'nyy ogranicheniyam. [Synthesis of control systems multidimensional objects by criteria restrictions] // Proceedings of National Academy of Sciences. - 2009.-№1.-p.45-51.

УДК 681.5

СИНТЕЗ УПРАВЛЯЮЩИХ ПОДСИСТЕМ ДЛЯ ОДНОГО КЛАССА ОБЪЕКТОВ УПРАВЛЕНИЯ

Курманалаева Роза Насбековна, к.т.н., доцент, КГУСТА им. Н. Исанова, Кыргызстан, 720020, ул. Малдыбаева, 36б, nas.roza@mail.ru

Осмонова Рима Чынарбековна, Национальная академия наук, Кыргызстан, 720071, г. Бишкек, пр. Чуй, 265а, r.osmonova@mail.ru

Оморев Туратбек Турсунбекович, член-корреспондент Национальной академии наук, Кыргызстан, 720071, г. Бишкек, пр. Чуй, 265а, omorovtt@mail.ru

Цель статьи - решение задачи автоматического регулирования одного класса объектов, обладающих определенными особенностями. Предлагается алгоритм синтеза законов управления такими объектами, использующими широко - импульсную модуляцию управляющих сигналов.

Ключевые слова: объект управления, управляющая подсистема, широтно-импульсная модуляция, качество управления, синтез закона управления

SYNTHESIS OF CONTROL SUBSYSTEMS FOR A ONE CLASS OF CONTROL OBJECTS

Kurmanalaieva Roza Nasbekovna, PhD (Engineering), Associate Professor, KSUCTA named after N. Isanova, 265a Chui str., c.Bishkek, 720071, Kyrgyzstan, e-mail: nas.roza@mail.ru

Osmonova Rima Chynarbekovna, National Academy of Science, 265a Chui str., c.Bishkek, 720071, Kyrgyzstan, e-mail: r.osmonova@mail.ru

Omorov Turatbek Tursunbekovich, corresponding member, National Academy of Science, 265a Chui str., c.Bishkek, 720071, Kyrgyzstan, e-mail: omorovtt@mail.ru

The purpose of the article is tasks solution automatic regulator of a class objects with certain characteristics. Propose an algorithm synthesis of control laws such objects using pulse width modulation control signals.

Keywords: facility management, control subsystem, pulse width modulation, quality control, the synthesis of the control law

В практике автоматизации технических систем и технологических процессов можно выделить класс объектов управления, имеющих следующие особенности:

1. Технические особенности формирования управляющего сигнала $u_1(t)$ на объект (рис.1). Они заключаются в том, что закон управления $u_1(t)$ представляет собой последовательность прямоугольных импульсов с постоянной амплитудой u_1^* ($u_1^* = \text{const}$). Целенаправленное управление выходом объекта $y_1(t)$ достигается за счет варьирования длительностей управляющих импульсов в соответствии с критериальными условиями, т.е. процесс управления осуществляется на основе широтно-импульсной модуляции управляющего сигнала [5]:

$$u_1(t) = u_1^* \sum_{v=0}^{N-1} [1(t - t_v) - 1(t - t_v - \tau_v)], \quad (1)$$

$$t \in [t_0, t_k],$$

где $1(t)$ - единичная ступенчатая функция; t_v - момент начала v -го импульса; τ_v - длительность v -го импульса ($t_v + \tau_v < t_{v+1}$); t_0, t_k - моменты начала и окончания процесса управления; N - количество импульсов в интервале управления $[t_0, t_k]$.

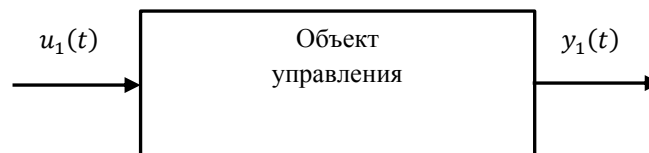


Рис.1. Обобщенная схема одномерного объекта

2. Динамические особенности объекта. Они состоят в том, что при отключении управляющего импульса выходная переменная объекта $y_1(t)$ за счет накопленной энергии по инерции имеет тенденцию возрастания до максимума, а затем убывает до уровня, при котором качество управления становится недопустимым. Поэтому с целью поддержания управляемой переменной $y_1(t)$ на заданном (желаемом) уровне y_1^* необходимо формировать следующий импульс управления, который должен отключаться при достижении выхода объекта $y_1(t)$ заданной окрестности желаемого уровня y_1^* .

Примерами таких управляемых систем являются энергетические объекты, в которых протекают тепловые процессы, а также механические системы с моментами инерции движущихся масс.

Управление объектами с указанными выше особенностями целесообразно осуществлять так, чтобы в интервалах, когда $y_1(t) \geq y_1^*(t)$, необходимо отключение подачи управляющих воздействий $u_1(t)$, а при $y_1(t) < y_1^*$ - возобновление их подачи.

Диаграммы, показанные на рис.2 (а, в), иллюстрируют один из возможных вариантов процесса управления с широтно-импульсной модуляцией управляющего воздействия $u_1(t)$.

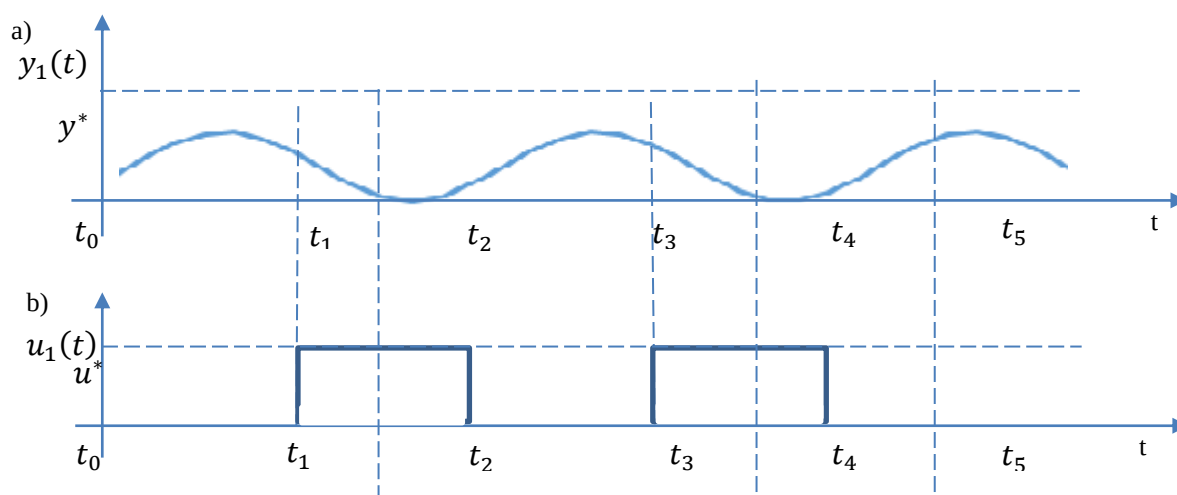


Рис.2. Иллюстрация процесса управления объектом с широтно-импульсной модуляцией $u_1(t)$

Синтез управляющей подсистемы (регулятора) на основе традиционных методов расчета систем автоматического управления (САУ) [1-4] в таких случаях представляет определенные трудности.

Далее рассмотрим задачу синтеза регулятора САУ одномерным объектом, обладающим вышеперечисленными свойствами.

Предположим, что динамика объекта управления описывается векторным уравнением в отклонениях:

$$\begin{aligned} \dot{x}(t) &= Ax(t) + bu_1(t) + \xi(t), \\ x^0 &= x(t_0), \quad t \in [t_0, t_k], \end{aligned} \quad (2)$$

где $x(t) = [x_1(t), x_2(t), \dots, x_n(t)]^T$ - n -мерный вектор состояния; $u_1(t)$ - скалярное управляющее воздействие; x^0 - начальное состояние объекта; $\xi(t)$ - n -мерный вектор возмущения; матрица A и вектор b считаются известными:

$$A = \{a_{ij}\}_{n \times n}, \quad b = [b_1, b_2, \dots, b_n]^T.$$

Управляемая переменная $y_1(t)$ связана с вектором состояния $x(t)$ следующим соотношением:

$$y_1(t) = cx(t), \quad (3)$$

где $c = [c_1, c_2, \dots, c_n]$ - заданный n -мерный вектор.

Формирование закона управления $u_1(t)$ будет осуществляться регулятором (управляющей подсистемой) на основе обратной связи (рис.3):

$$u_1(t) = F_1[e_1(t)], \quad (4)$$

где ошибка управления

$$e_1(t) = y_1^* - y_1(t). \quad (5)$$

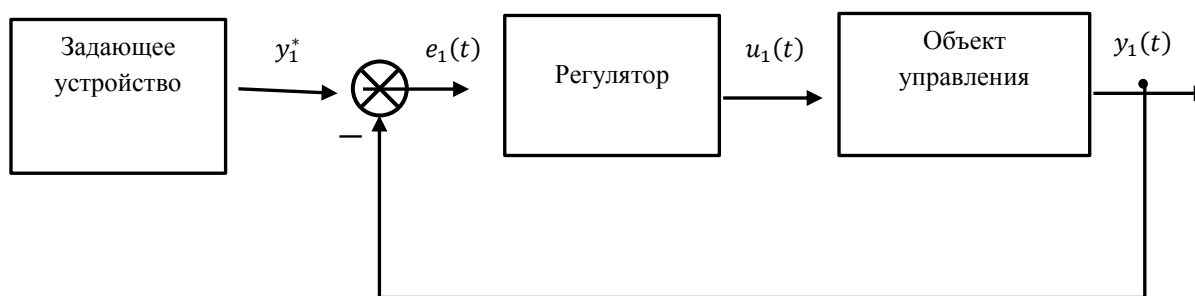


Рис.3. Общая структура системы управления

Качество управления (стабилизации) определяется максимальной ошибкой управления:

$$e_1^{max} = \max_t |e_1(t)|, \quad t \in [t_0, t_k]. \quad (6)$$

Далее предполагается, что объект управления (2) обладает свойством управляемости и наблюдаемости, а компоненты векторов состояния $x(t)$ и возмущения $\xi(t)$ доступны для измерения. Будем считать, что задана следующая исходная информация для динамического проектирования системы автоматического управления (САУ):

1. Цель управления в виде задающего воздействия y_1^* ($y_1^* = \text{const}$).
2. Модель объекта управления в переменных состояния (2).
3. Функциональная связь между выходом объекта $y_1(t)$ и вектором состояния $x(t)$, определяемая формулой (3).
4. Требования к точности управления (стабилизации):

$$e_1^{\max} \leq \Delta_1^{\max}, \quad (7)$$

где $\Delta_1^{\max}$ – максимально допустимое значение ошибки управления $e_1(t)$.

Задача синтеза управляющей подсистемы формулируется следующим образом. На основе данных, перечисленных в п. 1-4, необходимо определить структуру и параметры закона управления $u_1(t)$, обеспечивающего выполнение критериального условия (7).

Необходимо отметить, что отмеченные выше особенности рассматриваемого класса объектов в ряде случаев дают возможность упростить решение сформулированной задачи синтеза регулятора. Найдем условия, при выполнении которых такое упрощение возможно.

Упрощенный синтез закона управления. Анализ переходного процесса по управляемой переменной $y_1(t)$ с учетом указанного выше свойства объекта показывает, что в интервалах, когда $e_1(t) < 0$, необходимость подачи на объект управляющего импульса отсутствует, а в интервалах, когда $e_1(t) \geq 0$ – такая необходимость имеется (рис.2).

В целях формирования критерия управления введем следующую оценочную (штрафную) функцию.

$$S_1(t) = e_1(t) + |e_1(t)| = e_1(t)\{1 + \text{sign}[e_1(t)]\}, \quad (8)$$

где сигнум-функция

$$\text{sign}[e_1(t)] = \begin{cases} 1, & \text{если } e_1(t) > 0, \\ 0, & \text{если } e_1(t) = 0, \\ -1, & \text{если } e_1(t) < 0. \end{cases}$$

Анализ свойств штрафной функции $S_1(t)$, определяемой соотношением (8), показывает, что она для всех $t \in [t_0, t_1]$ является неотрицательной, т.е.

$$S_1(t) = \begin{cases} 2e_1(t), & \text{если } e_1(t) > 0, \\ 0, & \text{если } e_1(t) = 0, \\ 0, & \text{если } e_1(t) < 0. \end{cases}$$

Указанное свойство позволяет аналитически сконструировать закон управления $u_1(t)$ в явной форме:

$$u_1(t) = u_1^* \text{sign}[S_1(t)]. \quad (9)$$

На рис.4 (a, b, c) иллюстрируется процесс формирования закона управления $u_1(t)$. В рассматриваемом случае моменты включения и отключения управляющих импульсов определяются моментами изменения знаков ошибки управления $e_1(t)$, что соответствует моментам времени $t_i (i=1, 2, 3, \dots)$.

Теперь в целях проверки условия требуемого качества управления (7) проведем компьютерное моделирование замкнутой САУ с законом управления (9) и построим соответствующий переходный процесс по ошибке управления $e_1(t)$. В результате будет найден $e_1^{\max}$ – максимум модуля ошибки, определяемый соотношением (6).

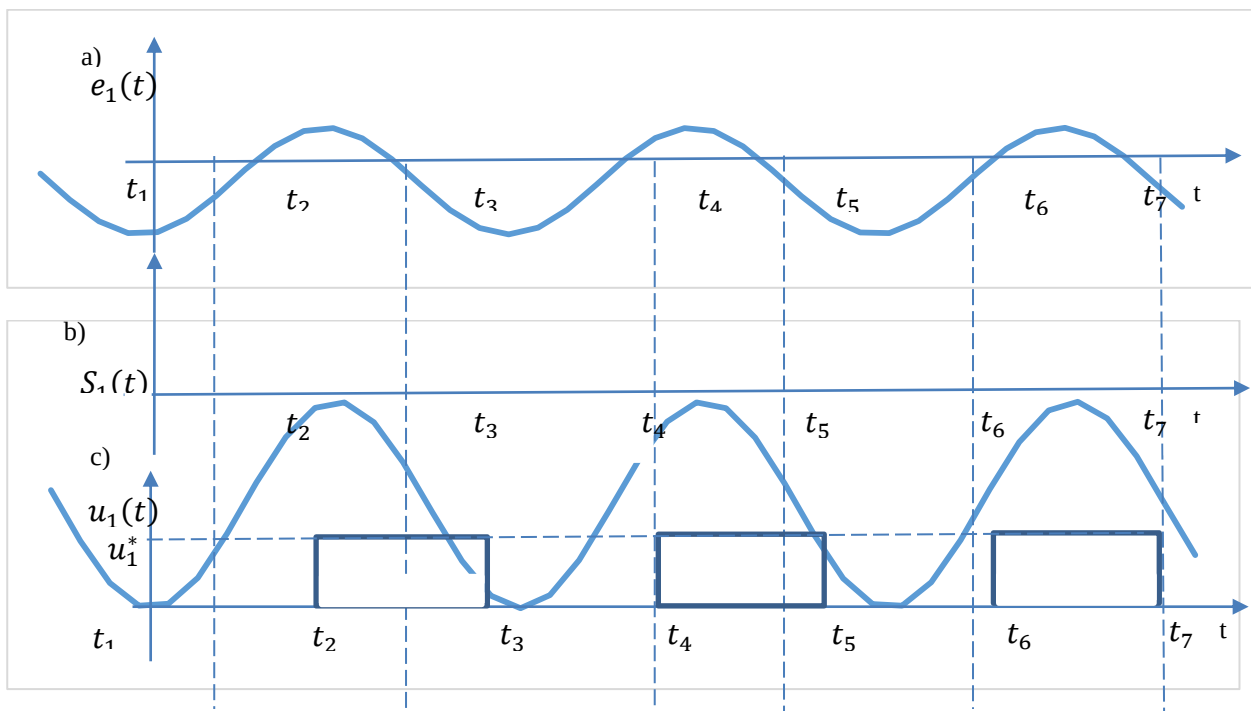


Рис.4. Процесс формирования закона управления $u_1(t)$

При этом возможны следующие случаи:

$$1) e_1^{max} \leq \Delta_1^{max}, \quad t \in [t_0, t_k]; \quad (10)$$

$$2) e_1^{max} > \Delta_1^{max}, \quad t \in [t_0, t_k]. \quad (11)$$

В первом случае закон управления (9) обеспечивает заданное качество управления. Структура соответствующего регулятора приведена на рис.5.

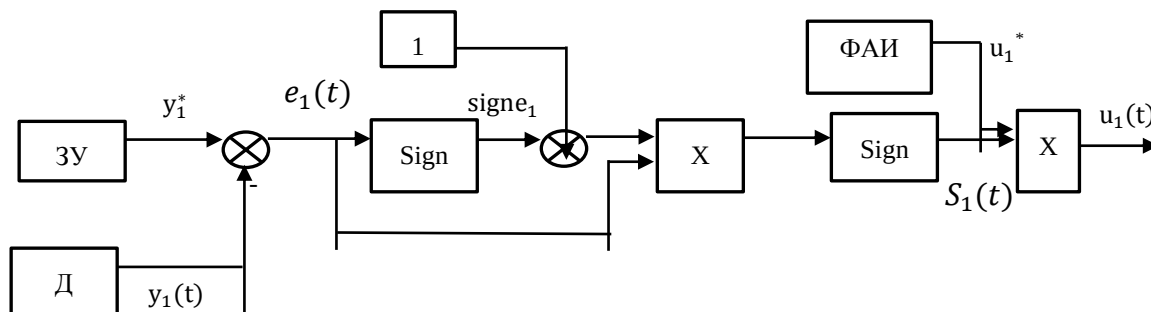


Рис.5. Структура синтезированного регулятора

Здесь ЗУ – задающее устройство; ФАИ – формирователь амплитуды импульсов, Д – датчик выхода объекта.

Во втором случае достижение критериального соотношения (7) возможно на основе прогнозирования переходных процессов по ошибке управления $e_1(t)$. Рассмотрим этот случай.

Синтез упреждающего закона управления. Пусть выполняется условие (11). В этом случае рассмотрим возможность обеспечения заданного качества управления за счет формирования на объекте упреждающего управляющего воздействия $u_1(t) = \hat{u}_1(t)$. Основная идея, используемая для синтеза $\hat{u}_1(t)$, состоит в следующем.

Вводится новая, так называемая прогнозная ошибка управления:

$$\hat{e}_1(t + \tau) = y_1^* - y_1(t + \tau), \quad t \in [t_0, t_k], \quad (12)$$

где τ – малое положительное число, определяющее время упреждения управляющего импульса.

Структура искомого закона управления $\hat{u}_1(t)$ определяется соотношением (9):

$$\hat{u}_1(t) = u^* \text{sign} [\hat{S}_1(t + \tau)], \quad (13)$$

где прогнозная штрафная функция $\hat{S}_1(t + \tau)$ определяется, как и ранее, по следующей формуле:

$$S_1(t + \tau) = \hat{e}_1(t + \tau) + |\hat{e}_1(t + \tau)| = \hat{e}_1(t + \tau) \{1 + \text{sign} \hat{e}_1(t + \tau)\}. \quad (14)$$

При этом для нахождения прогнозной ошибки управления $\hat{e}_1(t + \tau)$ в первом приближении используются уравнения динамики объекта (2) и формула Тейлора [5]:

$$\hat{e}_1(t + \tau) \approx e_1(t) + \dot{e}_1(t)\tau, \quad t \in [t_0, t_k]. \quad (15)$$

где с учетом (2) и (3) производная

$$\dot{e}_1(t) = -c[Ax(t) + \xi(t)]. \quad (16)$$

Оптимальное значение времени упреждения τ можно найти путем компьютерного моделирования системы управления с алгоритмом управления (13) или на основе решения задачи минимизации максимальной величины $|e_1(t)|$ по времени из условия выполнения следующего соотношения:

$$\min_{\tau} \left\{ \max_t |e_1(t)| \right\} \leq \Delta_1^{max}. \quad (17)$$

Следует отметить, что техническая реализация регулятора с законом управления (13) представляет определенные сложности, что связано с необходимостью выполнения вычислительной процедуры для оценки производной ошибки управления $\dot{e}_1(t)$.

В то же время исследование показали, что существует более простой вариант решения рассматриваемой задачи синтеза. Основная идея состоит в следующем. В качестве основы принимается структура регулятора с алгоритмом управления (9), которая приведена на рис.5. В целях достижения эффекта прогнозирования выхода САУ, в структуру управляющей подсистемы дополнительно вводится элемент задержки (ЭЗ) сигнала ошибки управления $e_1(t)$, что дает возможность формировать упреждающий управляющий сигнал $u_1(t) = \tilde{u}_1(t)$ на объект. При этом предварительно вычисляется следующая разность:

$$\varepsilon_1(t) = e_1(t) - e_1(t - \Delta t), \quad (18)$$

где Δt – малое положительное число, определяющее время задержки.

Сигнал $\varepsilon_1(t)$ идентифицирует направления движения ошибки управления $e_1(t)$, поскольку при $\varepsilon_1(t) > 0$ она возрастает, а при $\varepsilon_1(t) < 0$ – убывает. Далее вводится модифицированная (смещенная) ошибка управления:

$$\bar{e}_1(t) = e_1(t) + \Delta e_1(t). \quad (19)$$

Переменная $\Delta e_1(t)$ определяется на основе сигнала $\varepsilon_1(t)$ по формуле:

$$\Delta e_1(t) = h_1^+ \text{sign}[\varepsilon_1(t)], \quad (20)$$

где h_1^+ - малое положительное число ($h_1^+ \ll \Delta_1^{\max}$).

Теперь для синтеза регулятора будем использовать предложенную ранее методику, исходной информацией для которой в данном случае является смещенная ошибка управления $\tilde{e}_1(t)$. При этом соответствующая штрафная функция имеет вид

$$\tilde{S}_1(t) = \tilde{e}_1(t) + |\tilde{e}_1(t)| = \tilde{e}_1(t)\{1 + \text{sign}[\tilde{e}_1(t)]\}. \quad (21)$$

В результате искомый закон управления

$$\tilde{u}_1(t) = u_1^* \text{sign}[\tilde{S}_1(t)]. \quad (22)$$

Параметр h_1^+ можно определить путем компьютерного моделирования замкнутой САУ.

Структура синтезированного регулятора, имеющего закон управления (22), показана на рис.6

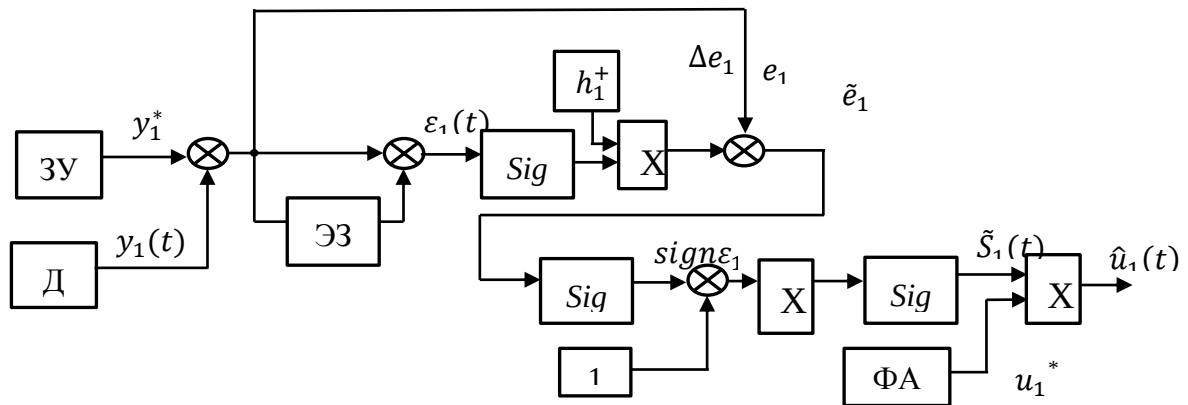


Рис.6. Структура регулятора с упреждающим законом управления

Выводы: Для определенного класса одномерных объектов управления сформулирован принцип построения управляющей подсистемы с учетом их особенностей. На основе этого принципа синтезированы различные варианты структур и параметров регулятора, обеспечивающего заданные показатели качества процессов управления.

Список литературы

1. Техническая кибернетика. Теория автоматического регулирования /Под ред. Солодовникова В.В. – М.: Машиностроение, 1967, 1968. – Кн.1,2,3.
2. Бесекерский В.А., Попов Е.П. Теория систем автоматического управления.– М.: Профессия, 2004. –747 с.
3. Porter, B. Modal Control / B. Porter, T.R. Crossley. – London: Taylor & Francis, 1972. - 270 p.
4. Оморев Т.Т., Курманалиева Т.Т. Многокритериальный синтез систем управления по показателям качества и сложности.– Бишкек: Илим, 2007. – 136с.
5. Смирнов В.И. Курс высшей математики. Том 1. – М.: Наука, 1974. - 480с.

References

1. Tekhnicheskaya kibernetika [Technical Cybernetics]. Teoriya avtomaticheskogo regulirovaniya [The theory of automatic control] /Ed. Solodovnikova V.V. – M.: Mashinostroyeniye [Mechanical Engineering], 1967, 1968. – Kn.1,2,3.
2. Besekerskiy V.A., Popov E.P. Teoriya sistem avtomaticheskogo upravleniya [The theory of automatic control systems] – M.: Professiya, 2004. –747 s.
3. Porter, B. Modal Control / B. Porter, T.R. Crossley. – London: Taylor & Francis, 1972.- 270 p.
4. Omorov T.T., Kurmanaliyeva T.T. Mnogokriterial'nyy sintez sistem upravleniya po pokazatelyam kachestva i slozhnosti [Multicriteria synthesis of control systems in terms of quality and complexity], - Bishkek: Ilim, 2007. – 136 s.
5. Smirnov V.I. Курс высшей математики [Course of Higher Mathematics] Том 1. – М.: Nauka, 1974. - 480s.

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ЗНАНИЯМИ ДЛЯ ОРГАНОВ МЕСТНОГО УПРАВЛЕНИЯ

Абдраупова Галия Рапильбековна, аспирантка, КГТУ им.И.Раззакова, e-mail: abd_gal@mail.ru

Рассмотрена проблематика применения автоматизированной системы управления знанием (АСУЗ) в области органов местного управления. Кратко описано формальная модель процессом обучения менеджера местного управления. Предлагаем вероятностную и семантическую модель управления знанием. Освещены предпосылки и современное состояние имплементации управления знаниями в публичном управлении Республики Казахстан. Предложены базовые ценности, которые обеспечивают развитие среды управления знаниями в организациях и сообществах местных органов власти. Охарактеризованы основные цели и адресаты специализированного портала по управлению знаниями, определено направление деятельности сообщества практиков по его развитию.

Ключевые слова: элементарные знания, вероятность, семантическая сеть, менеджер, е-обучение, портал управления знаниями, публичное управление, сообщество практиков, управление знаниями.

AUTOMATED MANAGEMENT SYSTEMS OF KNOWLEDGE FOR LOCAL GOVERNMENT

Abdraupova Galia Rapilbekovna graduate student of KSTU named after I. Razzakov, 66 Mir avenue, 720044, Bishkek, Kyrgyzstan, e-mail: abd_gal@mail.ru, tell: (996) 54-19-20,

Considered the problems of the using an automated knowledge management system (AKMS) in the field of local government. Briefly described the formal model of learning process by the manager of local government. The probabilistic model and semantic knowledge management. Covered background and current state of implementation of knowledge management in public administration of the Republic of Kazakhstan. Offered basic values that provide the development environment of knowledge management in organizations and communities, local authorities. Describe the main goals and destinations specialized portal for knowledge management, defined activity community of practice for its development.

Keywords: basic knowledge, probability, semantic network, manager, e-learning, knowledge management portal, public administration, community of practice, knowledge management.

В то время как многие страны работают в направлении внедрения управления знаниями (knowledge management) в публичном секторе, в Республике Казахстан в сфере публичного управления эта концепция остается малоизвестной. Предлагаем вероятностную модель управления знанием. Модель использует формализацию предметной области в виде семантической сети. Принято, что множество знаний образует домен знаний $C = \{c_1, c_2, c_3, \dots, c_n\}$, где $c_i, i \in [1: n]$ - элементарное знание. Если элементарное знание $c_i \in C$ таково, что овладение его менеджером требует также овладения элементарным знанием $c_j \in C$, то говорят, что знание c_j является пререквизитом для знания c_i , и пишут $c_j \xrightarrow{prereq} c_i$. Совокупность элементарных знаний C и отношений между ними $prereq$ образует семантическую сеть предметной области.

Во введенных обозначениях некоторая совокупность (состояние) знаний $\bar{C} \subseteq C$ называют возможной в том и только в том случае, если для всякого элементарного знания $c_i \in \bar{C}$ множеству $\bar{C}$ принадлежат также все его пререквизиты

$$\bar{C} \subseteq C \quad \forall c_i \in \bar{C}, \forall c_j \in C, c_j \xrightarrow{prereq} c_i \rightarrow c_j \in \bar{C}.$$

Каждому возможному состоянию $c \in \bar{C}$ ставят в соответствие априорную оценку вероятности $P(c)$ того, что менеджер овладел этим знанием. После того, как менеджеру было предъявлено контрольное задание на знание им элемента c_i и оценена правильность ответа на это задание, осуществляют переоценку вероятностей состояний $P(c_1), P(c_2), \dots, P(c_n)$. Если ответ на указанное задание был верным, то оценку вероятности $P(c_i)$ увеличивают, а оценки остальных вероятностей уменьшают.

Следующая модель Use основана на следующей итерационной схеме управления знанием менеджера для изучения некоторого фрагмента учебного курса, с которым связана соответствующая часть эталонной модели предметной области M_0 и набор тестовых заданий к нему. После завершения менеджером изучения этого фрагмента, АСУЗ предоставляет ему набор тестовых заданий, для каждого из которых он должен выбрать один из предложенных вариантов ответа. На основе этих ответов АСУЗ строит или уточняет модель рассматриваемого фрагмента предметной области в представлении менеджера M_0^L . Далее АОС определяет «разность» Δ_0 моделей M_0, M_0^L и на этой основе строит набор ссылок на те части рассматриваемого фрагмента учебного курса, которые требуют повторного изучения. Кроме того, на основе этой «разности» АСУЗ

формирует набор тестовых заданий, которые необходимо предъявить менеджеру после повторного изучения выделенных частей курса. Указанные шаги повторяют для данного фрагмента учебного курса до тех пор, пока не будет достигнуто условие $\Delta_0 \leq \delta$, где δ - пороговое число неувоенных элементов предметной области.

Напомним, что под контролем понимается процедура оценки учебных достижений менеджера.

Процесс становления и оптимизации государственной службы в Республике Казахстан ведется с первых лет обретения суверенитета, одной из главных целей которого является создание профессионального государственного аппарата, в том числе на региональном уровне. В Казахстане за последние десятилетия достигнуты определенные успехи в реформировании государственной службы, создана законодательная база, определены статус, права и обязанности государственных служащих, регламентированы полномочия государственных органов. Актуальность данного исследования состоит в том, что система местных органов управления является основным звеном в системе государственного управления и от эффективности их работы зависит в целом результативная работа системы государственного управления. Создание эффективного и профессионального правительства является одним из приоритетных направлений Стратегии развития Казахстана до 2030 г [1]. На примере России процессы внедрения практики управления знаниями в сфере публичного управления в значительной степени активизировались совсем недавно. В 2012 году в России был проведен ряд учебных и научно-коммуникативных мероприятий, готовятся учебные пособия для государственных служащих и должностных лиц местного самоуправления [9]. В марте 2011 был проведен первый семинар-тренинг «Введение в управление знаниями» для преподавателей учебных дисциплин образовательной отрасли «Государственное управление» [3]. Во время семинара участники ознакомились с примерами распространения управления знаниями в частном и публичном секторах, проработали методические рекомендации по преподаванию учебной дисциплины «Управление знаниями», актуализировалась потребность ее внедрения в существующие научные программы образования «Государственное управление» по очной и заочно-дистанционной формам обучения, были налажены профессиональные контакты преподавателей с иностранными коллегами, в частности из Украины, где работает программа швейцарского проекта DESPRO, основано сообщество практиков по управлению знаниями, которое активно действует уже год.

Учитывая мировые тенденции внедрения управления знаниями как составляющей профессионализации публичного администрирования, вопрос разработки методологических основ и практических инструментов внедрения управления знаниями в публичном управлении приобретают значительную актуальность.

Анализ последних исследований и публикаций. Количество публикаций по данному направлению в отечественных научных изданиях пока ограничено. Большинство публикаций освещает различные аспекты внедрения управления знаниями в коммерческом секторе, например, В. Рач и А. Медведева рассматривают управление знаниями как современное направление повышения эффективности и результативности деятельности государственных служащих. Поэтому сегодня перед автором встал вопрос необходимости рассмотрения управления знаниями как составляющей профессионализации государственных служащих и должностных лиц местного самоуправления. Но результаты системных исследований внедрения принципов концепции управления знаниями в публичном управлении в Республике Казахстан не нашли еще должного освещения.

Учитывая это, целью статьи является исследование методологических основ и путей практической имплементации управления знаниями в публичном администрировании в РК.

Изложение основного материала. По К. Коллисон, «Управление знаниями - оксюморон, потому что никто не может реально управлять активом, находящимся в головах сотрудников, и передающимся, главным образом, через общение. Но вы можете сделать следующее: управлять средой, в которой эти знания можно создавать, открывать, фиксировать, обменивать, извлекать, подтверждать, передавать, принимать, адаптировать и применять. С целью создания ценности для дела» [12].

Специалисты признают, что сейчас происходит «третья волна» управления знаниями. Во время первой внимание ученых и практиков было сосредоточено на изучении возможностей новых технологий, при второй - на исследовании природы знания и того, каким образом люди «знают» и учатся. Основное внимание на третьей фазе развития управления знаниями уделяют двум направлениям: формированию личностной и командной производительности и надлежащему применению возможностей «управления знаниями» для достижения стратегических целей организации.

Мировой опыт свидетельствует, что системы управления знаниями в сфере государственного управления и местного самоуправления создаются для:

- повышения эффективности коммуникаций между органами власти всех уровней;
- налаживания эффективного диалога власти с общественностью;
- формирования и функционирования виртуальных сообществ профессионалов («сообщества практики»- community of practice);
- проведение дистанционного обучения и консультирования на рабочем месте должностных лиц органов местного самоуправления, государственных служащих и депутатов местных Советов.

В рамках «Исследование спроса на знания и существующей практики удовлетворения этого спроса в системе органов местной власти» было проведено комплексное социологическое исследование с целью выявления и анализа проблем, связанных с уровнем кадров правового обеспечения органов местного самоуправления и потребностями в знаниях.

Среди задач исследования были:

- оценка существующей системы управления знаниями (УЗ) в районных государственных администрациях и органах местного самоуправления;
- определение фактического состояния и перспектив внедрения концепции УЗ на практике исполнительной власти и местного самоуправления.

По результатам исследования было определено, что подавляющее большинство участников исследования (65%) не знакомы с концептом Управления знаниями (УЗ), 19% опрошенных частично знакомы, и только 16% сообщили, что знакомы с концептом и или понятием УЗ в силу их профессиональной деятельности. Улучшение качества предоставления услуг (56%) и повышение эффективности работы органов местного самоуправления (52%) были определены основными причинами, которые могут побуждать к реализации инициатив УЗ, тогда как преодоление негативных последствий быстрой текучести кадров (20%) и улучшение доступа к информации систематизированным базам данных (19%) получили низкую приоритетность. Однако для подавляющего числа участников исследования было понятно, что традиционные методы хранения и распространения информации и знаний становятся малопродуктивными в силу огромного объема разнообразной, порой противоположной по содержанию информации. Присутствует понимание того, что современные умения накапливать знания, передавать их и совершенствовать могут стать определяющим фактором успеха всей системы органов местного самоуправления.

Для участия в экспертном опросе были привлечены 100 высококвалифицированных специалистов, представляющих экспертную среду в сфере УЗ в системе органов местной власти. Статус экспертов: руководители общественных организаций, в сфере интересов которых проблема УЗ; руководители и должностные лица местного самоуправления областного уровня, чаще заместители председателей областных Советов; руководители и государственные служащие областных администраций, в компетенции которых находится решение кадровых проблем и вопрос определения политики в сфере подготовки кадров; депутаты местного самоуправления областного уровня.

В экспертной среде отсутствует единодушие относительно принципов построения системы УЗ. Существующая система подготовки и переподготовки кадров не признается беспрекословно такой, которая могла бы взять на себя функцию УЗ. Несмотря на то, что большинство экспертов (69%) выступают сторонниками расширения или адаптации существующей системы, немало экспертов являются сторонниками создания новой системы (31%).

В сети Интернет существует огромный массив полезной для государственных служащих и должностных лиц местного самоуправления информации, но она несистематизирована, отсутствуют ссылки на ее источники или носителей.

По Коллинсу и Парселу, для создания среды, которая сможет способствовать «расцвету» знаний, необходимы:

- надлежащие условия (right conditions) - общая надежная инфраструктура и предпринимательская организация;
- надлежащие средства (right means) - общая модель, инструменты и процессы для обучения;
- надлежащие действия (right actions), когда люди инстинктивно ищут, обмениваются и используют знания;
- надлежащее руководство (right leadership), когда обучение и совместное использование внедряется и моделируется [9].

Ценности, которые обеспечивают формирование среды управления знаниями в организациях и сообществах практики, по моему мнению, могут быть следующие:

1. Доверие (в эпоху мозаичности знаний без него невозможно развитие).
2. Открытость (к восприятию нового, другого, к взаимному обогащению знаниями).
3. Уважение (к мысли, отношению, подходу, взглядам).
4. Гармония («в душе и вокруг нее»).
5. Ответственность («знание - сила», а сила должна быть социально ответственной).

Одним из направлений формирования у государственных служащих и должностных лиц местного самоуправления в РК культуры управления знаниями считаю создание специализированных Интернет-порталов. С учетом международного опыта, назначение специализированного портала по управлению знаниями в контексте децентрализации власти и эффективного принятия решений, по моему мнению, заключается в том, что это должен быть:

1. Специализированный информационный ресурс.
2. Платформа для электронного обучения.
3. Зона «свободного общения» для служащих.
4. Платформа для создания сообществ практиков в сфере публичного управления.
5. Ресурс «срачивания» гражданского общества.
6. «Окно» в мир предоставления качественных публичных услуг (доступ к лучшим мировым практикам).
7. Бенчмаркинг-ресурс (оценки и сравнения).

Основные адресаты специализированного Интернет-портала:

- руководители органов публичного управления (а возможно, и депутаты разных уровней),
- стремящиеся к совершенствованию своих организаций путем изменения организационной

культуры с целью улучшения качества предоставления услуг, уровня доверия к власти, развития гражданского общества, усиления взаимодействия в системе «Бизнес-власть-общество»;

- представители неправительственных организаций с целью улучшения деятельности организаций и взаимодействия с органами государственной власти и местного самоуправления;
- представители учебных заведений системы подготовки государственных служащих и должностных лиц местного самоуправления, которые могут использовать ресурсы портала для усовершенствования учебных программ, увеличения практической ориентированности учебного процесса;
- исследователи в области наук государственного управления и смежных отраслей как ресурс поиска в практике проблем, решение которых требует проведения научных исследований, и платформа для апробации результатов исследований (форумы, е-конференции, электронное специализированное издание).
- Основными направлениями деятельности сообщества практики по развитию этого портала должны стать:
- создание виртуальной экспертной сети;
- содержательное наполнение раздела «Обмен практиками» - подготовка соответствующих «кейсов»;
- дальнейшее содержательное наполнение раздела «E-learning» - подготовка учебных «юнитов» (2-3 недельных е-курса), изучение которых будет способствовать развитию у «передовых» руководителей органов публичного управления компетентности в управлении знаниями.

Выводы. Таким образом, в данной публикации:

- освещены предпосылки и современное состояние имплементации управления знаниями в публичном администрировании в Республике Казахстан;
- предложены базовые ценности, которые обеспечивают формирование среды управления знаниями в организациях и сообществах практиков;
- охарактеризованы основные цели и адресаты специализированного портала по управлению знаниями в контексте децентрализации власти и эффективного принятия решений;
- определены направления деятельности сообщества практиков по развитию специализированного Интернет-портала «Эффективное государство».

Список литературы

1. Н.А.Назарбаев. Выступление Президента РК на Международной конференции по вопросам государственной службы, Астана. 2008/06/17, Интернет ресурс <http://www.akorda.kz>
2. Нижегородцев Р.М., Анненков И.С.. Управление знаниями в современной компании: стратегии, структуры, технологии / Нижегородцев Р.М., Анненков И.С. –Киров: Аверс, 2013. - 256 с.
3. Коробкина М.А. Управление знаниями как ключевой вид управленческой деятельности // Сектор экономики знаний Южного макрорегиона: институциональные инновации, технологии контролинга управления знаниями, развития человеческого капитала: материалы IV Междунар. научно.- практ. конф. / Отв. ред. В.В. Ермоленко, М.Р. Закарян. Краснодар: Кубанский гос. ун-т, 2012.
4. Официальный сайт компании Booz & Company [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.booz.com> – 25.12.2012 г.
5. Официальный сайт компании Hoffmann-LaRoche [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.roche.com/index-bio.htm> – 25.12.2012 г.
6. Официальный сайт «Общество аналитиков и профессионалов конкурентной разведки» [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.scip.org.ua/2010/02/25/услуги> – 23.12.2012 г.
7. Официальный сайт компании Jonson & Jonson [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.jnj.com/connect/> – 23.12.2012 г.
8. Современный менеджмент: проблемы и перспективы: материалы третьей Международной научной конференции (Н. Новгород, 30 ноября 2011 г.) / Филиал Сочинского гос. ун-та в г. Н. Новгород; [под общ. ред. проф. В.Д.Фетисова]. Нижний Новгород: ООО «Издательство «Пламя», 2012. 112 с.
9. Трифонов Ю.В., Летягина Е.Н., Танчук Р. С. Стратегии и подходы к развитию промышленных предприятий [Электронный ресурс]: отраслевая экономика // Управление экономическими системами: электронный научный журнал. 2012. No12. URL: http://www.uecs.ru/index.php?option=com_flexicontent&view=items&id=1916
10. Изряднова О. Реальный сектор экономики [электронный ресурс]: факторы и тенденции // Экономическое развитие России. 2013. No4. Институт экономической политики имени Е.Т. Гайдара. URL: http://www.iep.ru/files/text/RED/Russian_Economic_Developments_04_2013.pdf
11. Knowledge Management: функциональная задача или новая парадигма управления? [электронный ресурс]: реализация концепции «менеджмента знаний» на российских предприятиях // Бизнес инжиниринг групп, СПб. 2012., URL: <http://bigc.ru/publications/bigspb/km/>
12. Обучение, фиксирование, обмен и использование знаний, опыта и ценных практик. Объяснение Knowledge management (управление знаниями) Collison и Parcell. – Режим доступа: http://www.12manage.com/methods_collison_knowledge_management_ru.html
13. Сообщество e-Learning PRO. – Режим доступа: <http://www.elearningpro.ru/>

References

1. N.A. Nazarbaev Performance President Republic of Kazakhstan Performance of President RK at International conference on questions of government service, Astana. 2008/06/17, The internet is a resource <http://www.akorda.kz>
2. Nizhegorodcev R.M., Annenkov I.S. Upravlenie znaniyami v sovremennoi kompanii: strategii, struktury, tehnologii (Knowledge Management in modern company: strategy, structure, technology) Kirov: Avers 2013. 256p
3. Korobkina M.A. Upravlenie znaniyami kak klyuchевой вид upravlenchekой deyatelnosti// Sector of the knowledge economy of the southern macroregion: institutional innovation, controlling technology, human capital development: info from International Scientific-Practical Conference - ESTSS IV/ V.V Ermolenko, M.R. Zakyarin. Krasnodar: Kuban State University 2012.
4. Official site of Booz&Company Access mode <http://www.booz.com> – 25.12.2012
5. Official site of Hoffmann-LaRoche Access mode <http://www.roche.com/index-bio.htm> – 25.12.2012
6. Official site of SA&CIP Access mode <http://www.scip.org.ua/2010/02/25/services> – 23.12.2012
7. Official site of Jonson&Jonson company URL <http://www.jnj.com/connect/> – 23.12.2012
8. Modern Management: Problems and Perspectives: info from International Scientific Conference III. (N. Novgorod, 30.11.2011) / Sochi state university branch in N. Novgorod (edited by professor V.D. Fetisov) Nizhny Novgorod: Publishing house "Plamya" 2012. 112p.
9. Trifinov U.V. Letyagina E.N. Tanchuk R.S. Strategii i podhody k razvitiyu promyshlennykh predpriyatiy (Strategies and approaches to the development of industrial enterprises) URL : sectoral economic // Management of economic systems: electronic scientific journal. 2012
10. Izryadnova O. Realnyi sektor ekonomiki The real economy: factors and trends// Russia's Economic development. 2013 No4. The Ye.T. Gaidar Institute for Economic Policy URL: http://www.iep.ru/text/RED/Russian_Economic_Developments_04_2013.pdf
11. KnowledgeManagement: functional task or a new paradigm of management/ (electronic resource): implementation concept of the "knowledge management" at Russian enterprises// Business Engineering Group, 2012 URL: <http://bigc.ru/publications/bigspb/km/>
12. Education, clamping, sharing and use of knowledge, experience and valuable practice. Explanation Knowledge management Collison and Parcell.
13. http://www.12manage.com/methods_collison_knowledge_management_ru.html
14. Community e-Learning PRO. - Access mode: <http://www.elearningpro.ru/>

УДК:004.031:371.315.7-057.87

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА КОНТРОЛЯ ЗНАНИЙ И ВОСПИТАНИЯ ШКОЛЬНИКОВ КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ В СИСТЕМЕ «СЕБАТ»

Куршат Оздуман, аспирант КГТУ им. И. Раззакова, Кыргызской Республики (+996) 54-19-20, 720044, г. Бишкек, пр. Мира, 66, e-mail: kozduman@mail.ru

Исходя из необходимости повышения эффективности воспитания и контроля знаний учеников школы Кыргызской Республики необходимо, применения современных информационных технологий наиболее перспективным и целесообразным представляется сеть Интернет. Высокая степень формализации и унификации процедуры воспитания и контроля знаний ученика - возможность одновременного проведения на нескольких компьютерах, а также возможность организации дистанционного посредством локальной вычислительной сети либо через глобальную информационную сеть Интернет предопределили всеобщий интерес к подобному способу оценивания знаний. Научный анализ исследований показывает, что автоматизированная система контроля знаний и воспитания школьников (АСКЗиВШ) является эффективным инструментом воспитания учеников и промежуточного или итогового контроля знаний только в том случае, если она будет отражать реальную картину воспитания и процесс обучения и контроля знаний ученика. Построение такой АСКЗиВШ требует применения принципиально иных подходов к представлению и комплексной обработке знаний.

Ключевые слова: воспитание, контроль, знание, информационная, технология, теория, интеллектуальная, систем, модель, методика.

AUTOMATED MONITORING SYSTEM OF KNOWLEDGE AND EDUCATION OF PUPILS ON SYSTEM "SEBAT" IN THE KYRGYZ REPUBLIC

Kurshat Ozduman graduate student of KSTU named after I. Razzakov, 66 Mir avenue, 720044, Bishkek, Kyrgyzstan, e-mail: kozduman@mail.ru, tell: (996) 312 54-19-20,

Proceeding from the need to improve the efficiency of education and knowledge control of students at the schools of the Kyrgyz Republic is necessary, the application of modern information technologies. The most promising and advisable is Internet. The high degree of formalization and harmonization of educational procedures and control of the students' knowledge - the possibility of simultaneous hold on multiple computers, as well as the possibility of distance learning by the local area network or the Internet global information network are determined the general interest in such method of knowledge evaluation. Scientific analysis of research shows that the automated monitoring system of knowledge and education of schoolchildren (AMSKESh) is an effective tool for educating of students and intermediate or final control of knowledge only if it will reflect the real picture of education, learning process and knowledge's control of students. The construction of such AMSKESh requires a fundamentally different approach to the representation and complex processing of knowledge.

Keywords: education, control, knowledge, information technology, theory, intellectual systems, models, methods.

Сформулируем основные принципы построения АСКЗиВШ нового поколения, основанные на методах и моделях, развиваемых в рамках теории интеллектуальных систем и инженерии знаний. Эти принципы определяют концепцию интеллектуального тестирования, более адекватную представлениям преподавателя о требуемой организации процесса контроля и оценивания знаний и позволяющую реализовать неформализованные ранее педагогические приемы и методики: переход от индивидуальной организации теста к коллегиальной экспертной подготовке всех его этапов, что увеличит доверие конечных пользователей к АСКЗиВШ и повысит индивидуальность результатов тестирования. Кроме того, ни в одной стране, в том числе и в Кыргызской Республике, нет комплексного компьютерного управления школой с помощью элементов интеллектуализации информационных систем.

Теоретическая и практическая значимость, недостаточная разработанность методологии и методики компьютерных технологий воспитания и контроля знаний учеников с помощью информационной системы при достаточно развитой базе явились причиной выбора проблемы исследования, которая заключается в поиске и реализации основ для построения системы, которая позволяла бы создавать независимые информационные системы управления [1,2,3,4]. Предлагаем формальные модели описания знаний учеников. **Оверлейная модель** описывает знания ученика как некоторое подмножество всех знаний используемой модели. Модель является частным случаем, так называемой фиксирующей модели ученика, простейшим вариантом которой является **скалярная модель**, представляющая собой некоторую интегральную оценку знаний ученика в какой-либо шкале. Более сложными фиксирующими моделями ученика являются его векторная и сетевая оверлейные модели [8]. **Векторная оверлейная модель** представляет собой совокупность всех понятий рассматриваемого учебного курса и или умений, соответствующих этому курсу, каждому из которых поставлено в соответствие значение «знает-не знает» или «умеет-не умеет». **Сетевую оверлейную модель** определяют как графовое представление семантической сети предметной области данного учебного курса, в котором каждому узлу и каждой дуге сопоставлена одна или несколько величин, определяющих степень овладения учеником соответствующих понятий и отношений между ними. По способу оценки знаний ученика оверлейные модели разделяют на бинарные («изучено - не изучено»), взвешенные (используется та или иная количественная шкала), вероятностные (оценка рассчитывается на вероятностной шкале) и нечеткие (с использованием нечетких множеств) [7].

Расширением сетевой оверлейной модели можно считать **генетическую графовую модель**. В отличие от оверлейной эта модель содержит не только нормативные понятия и отношения между ними, но и различные уточнения, обобщения, конкретизации и отклонения от нормативной модели, обусловленные особенностями знаний ученика.

Например, с помощью отношения «уточнение» в генетической графовой модели могут быть описаны индивидуальные особенности понимания учеником тех или иных понятий.

Отметим в качестве недостатка оверлейной модели ученика трудность инициализации этой модели [7]. В этой связи в указанной работе в качестве модели знаний предметной области предложено использовать семантическую сеть, содержащую в качестве концептов обучающие элементы изучаемой предметной области, а также тесты для контроля уровня усвоения учениками этих элементов.

Вариантом сетевой оверлейной модели ученика можно считать модель его знаний, предложенную в работе [8] и названную когнитивной картой ученика.

В работе [7] предложена модель знаний ученика, которую можно считать вариантом бинарной сетевой оверлейной модели. Модель построена на основе идеи о том, что правильное усвоение учеником нового концепта возможно лишь в том случае, если усвоены все концепты-родители данного концепта. В соответствии с этой идеей модель знаний каждого из концептов представляет собой двоичное слово, разряды которого имеют значение 1, если усвоен данный концепт и все концепты-родители, и значение 0 - в противном случае. Отметим, что такая модель знаний ученика оказывается удобной для определения весов концептов и формирования численной оценки уровня знаний ученика.

Предполагают представление знаний ученика в виде некоторых структур данных, а его умения в виде процедур и механизмов их интерпретации. Имитационная модель ученика, как правило, включает в себя его модели ошибок, ограничений и фальшправил.

Модель ошибок в той или иной форме фиксирует ошибки ученика, совершенные им при тестировании. Хотя модель ошибок традиционно относят к текущей модели ученика, ее проектируют заранее и, вероятно, следовало бы классифицировать, ее как нормативную модель ошибок. Ученик в процессе обучения совершает некоторые из ошибок этой модели, перечень которых составляет модель ошибок данного ученика.

Модель ограничений представляет собой совокупность нижних и верхних границ для уровней учебных достижений ученика. Здесь нижняя граница соответствует наиболее конкретным формам понятия или умения, а верхняя граница - их наиболее общим формам.

Модель фальшправил являет собой модель ошибочного поведения ученика. В целом имитационные модели знаний в настоящее время находятся в стадии становления и требуют развития соответствующих формальных методов.

Модель разностного типа строят на основе различий между ответами ученика и соответствующими знаниями из базы знаний АСКЗИВШ. Важно, что модель данного типа позволяет учитывать не только отсутствие знаний у ученика, но и искажения этих знаний. С формальной точки зрения, разностную модель можно считать модификацией модели оверлейного типа.

Модель пертурбационного типа основана на предположении, что знания ученика и знания в базе знаний АСКЗИВШ могут частично не совпадать. Важной функцией модели пертурбационного типа является определение причин указанного расхождения знаний. Такими причинами могут быть

- недостаток знаний (ученик не обладает знаниями, достаточными для того, чтобы правильно ответить на то или иное контрольное задание),
- ошибочные знания (знания ученика противоречат знаниям в базе знаний системы),
- неверное использование знаний (ученик владеет необходимыми знаниями, но не умеет их правильно применять),
- случайные ошибки (ошибки ученика в вычислениях или ошибки, порожденные недостаточно внимательным чтением формулировок контрольных заданий и вариантов ответов на них),
- умышленные ошибки (возникающие в том случае, когда ученик использует какую-либо «стратегию» ответа на контрольные задания, например, всегда выбирает только первый вариант ответа).

Для классической модели тестирования формальные методы определения некоторых из указанных типов ошибок рассмотрены, например, в указанной выше работе [8].

Основная идея этих моделей состоит в выделении некоторого набора типовых (стереотипных) учеников. На основе этого набора для данного ученика определяют вероятность принадлежности его к каждому из указанных стереотипов. В качестве целевого выбирают стереотип, вероятность принадлежности к которому максимальна. По сравнению с оверлейной моделью данная модель значительно менее мощна, но ею легче управлять и, главное, инициализировать [7].

Согласно типу связей стереотипичных моделей ученика между собой, можно выделить четыре класса этих моделей - луковая (многоуровневая), латуковая, многоядерная модели и модель на основе ориентированного ациклического графа [8].

Отметим, что задача стереотипирования очевидным образом сводится к задаче кластеризации множества параметров учеников и может быть решена, например, с помощью метода k-средних.

Эвристическая модель. В терминологии работы [1,2] рассмотренные модели ученика представляют собой *логические модели*. В указанной работе в качестве одной из альтернатив этим моделям предложена концепция *эвристической модели ученика*. Модель строят на основе отличного от рассмотренного выше определения семантической сети. Вершинам семантической сети здесь ставят в соответствие объекты познания, личность ученика и основные компоненты процесса обучения, а связям между вершинами придают смысл отношений между указанными сущностями.

В работе [8] предложена модель ученика, построенная с использованием нейросетевых технологий. Строго говоря, данную модель следовало бы, вероятно, отнести к одному из вариантов стереотипичной модели. Мы выделяем эту модель в школьный класс в силу высокой перспективности, с нашей точки зрения, использования в качестве моделей ученика нейросетевых, нечетких и нейронечетких моделей.

В качестве параметров ученика в данной модели используют тип мышления, воспринимаемую форму представления знаний, свойство уверенности при ответе, уровень усвоения знаний, оптимальность стратегии получения знаний. Эти параметры формализуют в виде кортежей числовых значений. Например, кортеж значений второго из указанных параметров содержит 30 элементов, первые десять из которых соответствуют значению коэффициента для аналитической формы представления знаний, следующие десять - для образной формы и последние десять - для эвристической.

Объединение кортежей, соответствующих всем рассматриваемым параметрам ученика L_i , представляет собой бинарную $(n \times m)$ -матрицу S_i , где n - число параметров модели ученика, а m - длина кортежа значений. В процессе обучения матрица S_i эволюционирует, так что в каждый данный момент времени описывает текущее состояние ученика.

Стереотипичную модель ученика строят путем объединения всех имеющихся в АСКЗИВШ матриц S_i в некоторое число кластеров, каждому из которых ставят в соответствие один из стереотипов ученика. Для решения указанной задачи кластеризации используют нейронные сети Хопфилда и Хемминга. Как всегда при использовании нейронных сетей, при этом возникают две следующие основные задачи - задача определения топологии сети и задача выбора алгоритма обучения сети.

Перспективность использования нейронных сетей, например, классического многослойного персептрона, для решения в АСКЗИВШ и ряда других задач.

Предложена знаниевая модель ученика в виде линейного нестационарного обыкновенного дифференциального уравнения, коэффициенты которого отражают индивидуальные способности ученика в соответствующем режиме обучения и при соответствующих параметрах внешней среды. Параметрами модели являются пороговый уровень сложности обучающей информации и минимальный уровень сложности контрольных заданий. Для определения значений указанных параметров используют динамическую параметрическую идентификацию модели.

В связи с многообразием моделей ученика возникает задача оценки качества этих моделей (являющаяся составной частью проблемы оценки качества АСКЗИВШ). В качестве критерия качества модели ученика целесообразно использовать критерий, тем или иным образом формализующий степень соответствия информации об ученике в его модели реальным характеристикам ученика. В качестве такого критерия использована мера различия чувствительности модели к изменению значения ее некоторого параметра и реальной чувствительности ученика к изменению той же величины.

Выводы

Анализ этих разработок АСКЗИВШ показывает, что они направлены на автоматизированное управление подсистемами школы практически, начиная от уровня сельских и городских школ Кыргызской Республики, которая повысит уровень и качество получаемых учениками знаний.

Conclusions

The analysis of these developments AMSKESh shows that they are aimed at automated management of school subsystem, practically, from the level of rural and urban schools in the Kyrgyz Republic, that will increase the level and quality of the students' knowledge.

Список литературы

1. Батырканов Ж.И. Обучающие экспертные системы// Известия КГТУ.-Бишкек. – 2011.-№ 21. – С.129-131.
2. Батырканов Ж.И. Модели представлений знаний на основе приближенного множества// Вестник науки Костанайского социально – технического университета им. академика Зулхарнай Алдамжар 3/2014с.35-39.
3. Боскебеев К.Дж. Модель интеллектуальной обучающей системы на основе теории систем // Материалы международной научно-практической конференции, посвященной 70 – летию образования Волгоградского государственного аграрного университета. Волгоград, 2014г. – с.331-336.
4. Боскебеев К.Дж. Информационная система управления на основе метода нечеткого множества // "Вестник Таджикского технического университета январь - март 2014г. – с.45-49.
5. Куршат Оздуман. Определение оптимальной интеллектуальной системы принятия решения и управления объектом.// Известия КГТУ. –Бишкек. – 2014.- № 31. – С.103 -106 .
6. Куршат Оздуман. Батырканов Ж.И. Интеллектуальные информационные системы в дистанционном образовании.// Известия КГТУ. –Бишкек. – 2013.- № 29. – С.257-260.
- 7.. Кравченко Ю. А. Моделирование познавательных стилей на основе свойств интеллектуальных агентов / Ю.А. Кравченко // Сборник трудов V Международной научно-практической конференции «Современные информационные технологии и ИТ-образование» (Москва, 8 ноября 2010 г.).- М.: МГУ им. Н.В.Ломоносова, 2010, С. 85 - 95.
1. Нехаев И.Н., Власов А.А. Интеллектуальная система адаптивного тестирования уровня усвоения знаний / И.Н. Нехаев, А.А. Власов // КИИ-2010. Двенадцатая национальная конференция по искусственному интеллекту с международным участием (сентябрь 2010 г., г. Тверь, Россия). Сборник трудов.- М.: Физматлит, 2010, Т.3, 257-263.

References

1. Batyrcanov Z.I. The educational expert systems // Proceedings of KSTU. Bishkek. - 2011.-№ 21. – page 129-131.
2. Batyrkanov Z.I. Model of knowledge representation based on the rough sets // Science Bulletin of the Kostanai Social - Technical University named after Academician Zulkharnai Aldamzhar 3/2014, page.35-39.
3. Boskebeev K.D. Intelligent tutoring system model based on the theory of systems // Proceedings of the international scientific-practical conference dedicated to the 70 - anniversary of Volgograd State Agrarian University. January 28 - January 28. Volgograd 2014. – page 331-336.
4. Boskebeev K.D. Management information system based on the method of fuzzy sets // "Bulletin of the Tajik Technical University" 1 (25) January-March 2014. – page 45-49.
5. Kurshat Ozduman. The determination of the optimal Intelligent Systems for Decision and facility management // Proceedings of KSTU. -Bishkek. - 2014.- № 31. - page103 -106.
6. Kurshat Ozduman. Batyrkanov ZH.I Intelligent Information Systems in Distance Education. // Proceedings of KSTU. -Bishkek. - 2013.- № 29. – page 257-260.
7. Kravchenko Y.A. The modeling of cognitive styles based on the properties of intelligent agents / Y.A. Kravchenko // Proceedings of the V International scientific and practical conference "Modern Information Technologies and IT Education" (Moscow, November 8, 2010). - M.: MSU named after N.V.Lomonosov, 2010, page 85 - 95.

8. Nekhaev I.N., Vlasov A. A Intelligent adaptive system of testing for level of learning / Nekhaev I.N., Vlasov A.A // CAI-2010. Twelfth National Conference on Artificial Intelligence with international participation (September 20 - 24, 2010, Tver, Russia). Collection of works.- FIZMATLIT M.: 2010, Vol.3, page 257-263.
УДК:004.031:371.315.7-057.87

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ОБУЧАЮЩАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ОБУЧЕНИЯ УЧЕНИКА

Расим Дурмаз аспирант, КГТУ им. И. Раззакова, Кыргызской Республики, (+996) 54-19-20, 720044, г.Бишкек, пр. Мира, 66, e-mail: dsfnkl@mail.ru

Рассмотрена проблематика построения автоматизированной обучающей системы управления (АОСУ) процессом обучения ученика. Все современные методы управления обучением исходят из того, что имеется явно или неявно заданная цель обучения, описывающая требования к знаниям, умениям и навыкам ученика, которые он должен приобрести в процессе обучения. Обычно используют явное определение цели обучения в виде какого-либо логического выражения, заданного в терминах модели предметной области изучаемой дисциплины и модели ученика. В конечном счете, это выражение определяет требуемое множество итоговых знаний, умений и навыков ученика. Кроме того, полагают определенным начальное состояние модели ученика, полученное на основе, прежде всего, предварительного контроля его уровня знаний. Имеется также набор учебных воздействий (предъявление ученику фрагмента учебного материала, контрольного задания), которые управляют познавательной деятельностью ученика и модифицируют его текущую модель.

Ключевые слова: ученик, процесс обучения, модель, цель обучения, модель ученика, контроль знаний, учебный материал, критерий качества обучения, модель предметной области.

AUTOMATED TRAINING CONTROL SYSTEM OF STUDENT LEARNING PROCESS

Rasim Durmaz graduate student of KSTU named after I. Razzakov, 66 Mir avenue, 720044, Bishkek, Kyrgyzstan, e-mail: dsfnkl@mail.ru, tel: (+996) 312 54-19-20

Considered the problems of construction the automated training system (ATSM) for manage of students learning process. All the modern methods of learning management is based on the fact of existing explicitly or implicitly specified learning objective that describes the requirements for the knowledge, skills and abilities of the student which he should get in the learning process. Typically are using an explicit definition of learning objectives in the form of a logical expression specified in terms of the domain model of the studied discipline and model student. Ultimately, this expression defines a set of desired outcomes of the students' knowledge and skills. In addition, it is supposed certain initial state of the student model that is obtained on the basis of, first of all, the preliminary control their level of expertise. There is also a set of training effects (presentation of student fragment of educational material, the control task) that control cognitive of students activity and modify their current model.

Keywords: the student, the learning process, the model, the purpose of training, the model of student, knowledge control, teaching material, the criterion of the teaching quality, the domain model.

Способность к обучению представляет собой одно из определяющих свойств любой интеллектуальной системы [1,2,3,4]. Когнитивные (познавательные) процессы человеческого сознания являются предметом раздела психологии, который называется «когнитивная психология». С точки зрения этой науки выделяют три следующие класса моделей обучения: модель, использующая механизм образования условных рефлексов (рефлекторная модель И.П. Павлова); ассоциативная модель, основанная на ассоциативной теории обучения; лабиринтная модель, согласно которой процесс обучения состоит в эвристическом поиске в лабиринте возможных альтернатив и оценивании движения по лабиринту на основе локальных критериев.

Достаточно общая модель процесса обучения приведена в работе [5]. В еще более общем виде формальную модель процесса обучения можно представить следующим образом. Пусть X - множество входных сигналов обучаемой системы (ученика), Y - соответствующее множество выходных сигналов этой системы. Обучаемая система осуществляет отображение $F_L : (X \rightarrow Y)$ первого из указанных множеств во второе, а учителю (АОСУ) известно правильное отображение $F_T : (X \rightarrow Y)$. Здесь принято, что $F_L \in (X \times Y)$, $F_L \in F_L$ где F_L - некоторый класс отображений. Задан критерий качества обучения $J = J(F_T, F_L)$, который формализует близость отображений F_T, F_L . В этих терминах задачу обучения можно поставить следующим образом: добиться такой ситуации, когда отображение F_L максимально близко к отображению F_T , т.е.

$$\min_{F_L} J(F_T, F_L), \quad F_L \in F_L$$

Разные модели процесса обучения отличаются, прежде всего, методами управления процессом обучения, на которые они ориентированы.

Подчеркнем, что модели процесса обучения в значительной мере определяются используемыми в АСУПО методами формирования учебных воздействий и, прежде всего, методами формирования контролирующих воздействий (контрольных заданий). Введем следующие обозначения: M_0 - модель предметной области; $M_L(S)$ - модель ученика, где S - вектор параметров этой модели; $V=(v_1, v_2, \dots, v_n) \subseteq D_v$ - набор контрольных заданий, где D_v - банк всех заданий; a_i, q_i - ответ ученика на контрольное задание v_i и оценка этого ответа соответственно; $\xi(\bullet)$ - некоторая функция случайного или детерминированного выбора очередного задания. Различают неадаптивные, частично адаптивные и адаптивные методы формирования контрольных заданий. Среди *неадаптивных методов* выделим следующие классы методов:

- метод фиксированной последовательности заданий, когда $V=(v_i, i \in [1:k])$;
- метод случайной выборки заданий, $V=(v_i, i \in [1:k])$, $v_i = \xi(V)$;
- комбинированный метод, $V=(v_i, v_j, i \in [1:n], j \in [(n+1):k])$, $v_j = \xi(V)$.

Из числа частично адаптивных методов формирования контрольных заданий назовем

- метод случайной выборки с учетом некоторых параметров модели ученика, $V=(v_i, i \in [1:k])$, $v_i = \xi(M_L(S))$,
- метод выборки на основе ответов ученика, $V=(v_i, i \in [1:n])$, $v_i = \xi(v_{i-1}, q(v_{i-1}))$
- метод выборки с использованием модели предметной области, $V=(v_i, i \in [1:n])$,
 $v_i = \xi(M_0)$;
- модульно-рейтинговый метод $V=(v_i, i \in [1:n])$, $v_i = \xi(M_0)$.

Здесь приняты обозначения: S - некоторый подвектор вектора S ; $n \leq k$ - число контрольных заданий, предлагаемых ученику; M_0 - некоторый фрагмент модели M_0 .

Из числа адаптивных методов формирования контрольных заданий наиболее известны:

- метод выборки на основе модели ученика, $V=(v_i, i \in [1:n])$, $v_i = \xi(M_L)$,
- метод выборки с использованием моделей ученика и предметной области, $V=(v_i, i \in [1:n])$, $v_i = \xi(M_L, M_0)$.

Известно значительное число АОС, использующих модель процесса обучения в виде сети Петри.

Известно также большое число теоретических работ, посвященных различным аспектам разработки таких моделей.

Определение и классификация сетей Петри. Вообще говоря, сети Петри представляют собой аппарат для моделирования динамических дискретных систем, например, систем массового обслуживания, и определяются четверкой $\{\dot{P}, \dot{T}, In, Out\}$, где $\dot{P}$ и $\dot{T}$ - конечные множества позиций и переходов, а In и Out - множества входных и выходных функций [6]. Сеть Петри обычно представляют двудольным ориентированным графом, в котором позициям соответствуют вершины, изображаемые кружками, а переходам - вершины, изображаемые утолщенными черточками; функциям In соответствуют дуги, направленные от позиций к переходам, а функциям Out - от переходов к позициям.

По сети Петри перемещаются динамические объекты, которые изображают метками (маркерами) внутри вершин (позиций). Распределение маркеров по позициям называют маркировкой. Каждый из переходов сети может «срабатывать» (возбуждаться), в результате чего маркеры из его входных позиций перемещаются в выходные позиции. Такое изменение маркировки называют событием. Полагают, что события происходят мгновенно и асинхронно. Последовательность событий образует моделируемый процесс. Обозначим число маркеров в i -ой входной позиции данного перехода; число дуг, идущих от i -ой позиции к переходу; число дуг, связывающих переход с j -ой позицией. В этих обозначениях правила срабатывания перехода имеют следующий вид: переход срабатывает, если для каждой из его входных позиций выполняется условие: при срабатывании перехода число маркеров в i -ой позиции уменьшается, а в j -ой входной позиции увеличивается. Например, если в некоторый момент времени распределение маркеров по позициям имеет вид, представленный на рис.1.

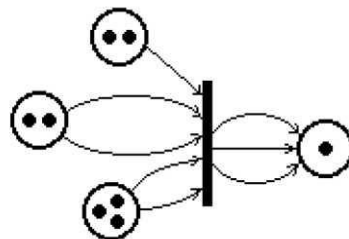


Рис.1. К правилам срабатывания перехода в сети Петри

Для того, чтобы моделировать не только последовательность событий, но и их привязку ко времени, используют модификацию рассмотренной сети - *временную сеть Петри*. В такой сети каждому из переходов назначают вес - продолжительность (задержку) срабатывания, которая может быть как статической, так и динамической. Величину задержки определяют в виде функции числа маркеров в соседних позициях,

состояния некоторых переходов и т.п. Определенную таким образом сеть называют *функциональной сетью Петри*.

Часто используют так называемые *цветные (раскрашенные) сети Петри (Coloured Petri Net - CPN)*, когда маркеры имеют типы (цвета), определяемые значениями одного или более своих параметров. В таких сетях правила срабатывания переходов зависят от типов маркеров.

Еще одной разновидностью сетей Петри являются *ингибиторные сети Петри*, в которых имеются запрещающие (ингибиторные) дуги. Наличие маркера во входной позиции, связанной с переходом ингибиторной дугой, означает запрещение срабатывания перехода.

Нам понадобятся также *вложенные сети Петри (Nested Petri Nets - NPN)*, в которых все или некоторые метки являются сложными объектами с сетевой структурой и моделируются сетями Петри нижнего уровня (сателлитными сетями Петри). Структурно такая сеть состоит из системной сети и набора сетей-сателлитов. Принципиальным является то обстоятельство, что между переходами системной сети и переходами сателлитных сетей может быть установлена связь, разрешающая только их совместное срабатывание.

Модели на основе одноуровневой сети Петри. Пусть $C_1 = (c_{1,1}, c_{1,2}, \dots, c_{1,n})$ - множество всех концептов предметной области данного учебного курса. Рассмотрим некоторый концепт. Множество контрольных заданий, предназначенных для контроля усвоения учеником этого концепта, обозначим V_k , а множество соответствующих ответов - Q_k ; $k \in [1: n]$. Совокупность контрольных заданий V_k и ответов на них Q_k обозначим $\widehat{V}_k = (V_k, Q_k)$, а совокупность всех указанных множеств - $\widehat{V}_n = \{\widehat{V}_1, \widehat{V}_2, \dots, \widehat{V}_n\}$.

Введем также следующие обозначения: $C_{2,k} \subseteq C_1$ - множество концептов, усвоение которых необходимо для усвоения концепта $C_{1,k}$ и знания которых учеником должны быть проконтролированы; $C_{3,k} \subseteq C_1$ - аналогичное множество концептов, усвоение которых учеником уже проверено.

Модель процесса обучения представляет собой сеть Петри, в которой концептам соответствуют позиции сети, а контролирующим воздействиям - переходы. Начальную маркировку сети определяет уровень знаний ученика до начала изучения им данного учебного курса. Текущая маркировка показывает текущий уровень знаний учеником данного курса. Для каждой позиции сети устанавливают порог, определяемый требуемым уровнем знаний соответствующего концепта. На этой основе осуществляют перемаркировку сети.

Текущее состояние рассматриваемой сети Петри можно интерпретировать, как оверлейную модель ученика. На основе этой модели легко оценить текущий уровень знаний учеником всех или некоторых концептов данной предметной области. Модель позволяет также управлять числом и сложностью контрольных заданий с целью обеспечения требуемого уровня знаний учеником заданных концептов. Весьма содержательной с этой точки зрения является история эволюции соответствующей сети Петри.

Развитием рассмотренной модели процесса обучения является *модель на основе нечеткой сети Петри*, когда множества $C_{2,k}$, $C_{3,k}$ формализуют в виде нечетких множеств, которые определяют степень усвоения учеником соответствующих концептов предметной области и задаются, например, с помощью коэффициентов уверенности в его знаниях [7]. Для перемаркировки сети в этом случае осуществляют переход от нечеткой сети Петри к обычной сети. Для этого для каждой позиции сети устанавливают порог, определяемый требуемым уровнем знаний соответствующего концепта. Отметим, что такая модель позволяет сделать процесс контроля знаний недетерминированным.

В *моделях на основе раскрашенной сети Петри* цвета маркеров определяют значениями таких параметров, как идентификатор изучаемого учебного курса, номер изучаемого учебного модуля, уровень сложности этого модуля, идентификатор ученика, время изучения учебного модуля данным учеником и т. д. Правила срабатывания переходов сети зависят в этом случае от значений указанных параметров.

Модели на основе вложенных сетей Петри. Модель процесса обучения в виде двухуровневой сети Петри может быть использована в двух вариантах.

В первом варианте верхний уровень сети представляет собой модель обучения на уровне всего учебного курса, а нижний уровень - модели изучения каждого из учебных модулей данного курса. Под модулем в этом случае понимают совокупность следующих учебных единиц: теоретический материал; справочный материал; задания для самостоятельной работы; набор контрольных материалов для самопроверки и получения оценки.

Во втором варианте сеть верхнего уровня реализует модель процесса коллективной работы учеников, а сети нижнего уровня - модели процесса обучения каждого из учеников.

Вывод

Управление этим процессом включает в себя планирование и реализацию на каждом шаге обучения соответствующих учебных воздействий, а также контроль их эффективности.

Conclusions

The management of this process includes planning and implementation at each step of learning appropriate educational influences, as well as monitoring their effectiveness.

Список литературы

1. Батырканов Ж.И. Обучающие экспертные системы// Известия КГТУ.-Бишкек. – 2011.-№ 21. – С.129-131.
2. Батырканов Ж.И. Модели представлений знаний на основе приближенного множества// Вестник науки Костанайского социально – технического университета им. академика Зулхарнай Алдамжар 3/2014-с.35-39.
3. Боскебеев К.Дж. Модель интеллектуальной обучающей системы на основе теории систем // Материалы международной научно-практической конференции, посвященной 70 – летию образования Волгоградского государственного аграрного университета. г. Волгоград 2014г. – с.331-336.
4. Боскебеев К.Дж. Информационная система управления на основе метода нечеткого множества // "Вестник Таджикского технического университета" – январь- март 2014г. – с.45-49.
5. Расим Д. Автоматизированная обучающая система// Известия КГТУ. –Бишкек. – 2013.- № 32 (часть I). – С.145-146.
6. Расим Д. Модель представления знаний организации// Вестник науки Костанайского социально – технического университета им. академика Зулхарнай Алдамжар 3/2014-с.64-68.
7. Питерсон Дж. Теория сетей Петри и моделирование систем. М.: Мир, 1984. 264 с.

References

1. Batyrcanov Z.I. The educational expert systems // Proceedings of KSTU. Bishkek. - 2011.-№ 21. – page 129-131.
2. Batyrcanov Z.I. Model of knowledge representation based on the rough sets // Science Bulletin of the Kostanai Social - Technical University named after Academician Zulkharnai Aldamzhar 3/2014, page.35-39.
3. Boskebeev K.D. Intelligent tutoring system model based on the theory of systems // Proceedings of the international scientific-practical conference dedicated to the 70 - anniversary of Volgograd State Agrarian University. January 28 - January 28. Volgograd 2014. – page 331-336.
4. Boskebeev K.D. Management information system based on the method of fuzzy sets // "Bulletin of the Tajik Technical University" 1 (25) January-March 2014. – page 45-49.
5. Rasim D. automated training system ./// Proceedings of KSTU. -Bishkek. - 2013. - № 32 (Part I). - page.145-146.
6. Rasim D. Knowledge Representation Model of Organization ./// Science Bulletin of Kostanai Social - Technical University named after Academician Zulkharnai Aldamzhar 3/2014, page 64-68.
7. J. Peterson. The theory of Petri nets and modeling of the systems. M. : Mir, 1984. 264 page.

УДК:004.412.001.636004.891.004.822:61

РАЗРАБОТКА ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ СРЕДСТВ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭКСПЕРТНЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ СЕМАНТИЧЕСКИХ СЕТЕЙ В ОБЛАСТИ МЕДИЦИНЫ

Уметалиев Азат., студент кафедры ИСЭ-1-12, КГТУ им.И.Раззакова, Кыргызской Республики (+996) 54-19-20, 720044, г.Бишкек, пр. Мира, 66, e-mail:Shotokan.Azat@mail.ru

Ибраимов Чингиз Уланович., соискатель ,кафедры ИСЭ, КГТУ им.И.Раззакова, Кыргызской Республики (+996) 54-19-20, 720044, г.Бишкек, пр. Мира, 66, e-mail:ibraimov@turmedia.com

Боскебеев Калычбек Джетмишбаевич, доцент, к.т.н., зав. отделом науки и аспирантуры и докторантуры КГТУ им. И. Раззакова Кыргызской Республики (+996) 54-51-51. 720044, г.Бишкек, пр. Мира, 66, e-mail: kboskebeev@mail.ru

В статье представлен подход к формированию базы знаний терапевта в медицине, к созданию экспертной системы для диагностики болезни пациента. Целью данной статьи является разработка программного продукта, задачей которого является хранения знаний специалиста. В результате разработке программы были разработаны инструментальные средства проектирования экспертных систем на основе семантических сетей, позволяющие создавать по определенным правилам базы знаний, используемые в данной экспертной системе, редактировать и пополнять уже существующие, а так же проводить консультацию. Можно просмотреть дерево заболеваний, а так же местоположение определенной болезни в нем. Разработанная система является продукционной. Системы продукций включают три основных компонента: базу правил, состоящую из набора продукций (правил вывода), базу данных, и интерпретатор для получения логического вывода. Так и в данной разработке можно выделить базу правил, которая описывается в программе в виде предиката rule (RuleNO, Category, Category, Conditions) - хранит правила вывода, база правил, описанная с помощью предиката cond (CondNO, STRING), интерпретатором в данном случае является машина логического вывода. Разработанный редактор позволяет осуществлять ряд манипуляций со знаниями.

Ключевые слова: медицинская диагностика, экспертная система, база знаний, модель представления знаний, продукционные правила, извлечение знаний из баз данных, ассоциативные правила.

DEVELOPMENT TOOLS OF DESIGN EXPERT SYSTEMS BASED ON SEMANTIC NETWORKS IN FIELD MEDICINE

Umetaliev Azat, student of the Department "ISE", KSTU named after I. Razzakov, 66 Mir avenue, 720044, Bishkek, Kyrgyzstan, e-mail: Shotokan.Azat@mail.ru

Ibragimov Ch. U., the applicant of the Department "ISE", KSTU named after I. Razzakov, 66 Mir avenue, 720044, Bishkek, Kyrgyzstan, e-mail: ibragimov@turmedia.com

Boskebeev K.D., Ph.D., associate professor, Head of Department of Science and postgraduate and doctoral studies, KSTU named after I. Razzakov, 66 Mir avenue, 720044, Bishkek, Kyrgyzstan, e-mail: kboskebeev@mail.ru, tell: (996) 312 54-51-51

In this paper performance an approach to building the knowledge base in medicine therapist to create an expert system for the diagnosis of the patient. The purpose of this article is to develop a software product, which aims to storage specialist knowledge. As a result, program development tools have been designed designing expert systems based on semantic networks, allowing to create specific rules for the knowledge base used in this expert system, edit and add to existing ones, as well as consulted. You can see the tree diseases, as well as the location of a particular disease therein. The developed system is a production. Production systems consist of three main components: the rule base, consisting of a set of productions (rules of inference), a database, and an interpreter for inference. And in the development of the rule base can be identified, which is described in the program as a predicate rule (RuleNO, Category, Category, Conditions) - stores the rules of inference rule base, described by a predicate cond (CondNO, STRING), the interpreter in this case an inference machine. Designed editor allows realize manipulations of knowledge.

Keywords: medical diagnosis expert system, knowledge base, knowledge representation model, production rules, extracting knowledge from databases, association rules.

Следует разработать экспертную систему на основе продукционных правил. Программа должна предоставлять ряд сервисных услуг: консультация по выбранной базе знаний; пополнение выбранной базы знаний; построение дерева знаний; редактирование выбранного файла. Для эффективной системы оказания медицинской помощи населению могут использоваться различные методы, связанные с информационными технологиями [6]. Одним из них является применение новых инновационных медицинских экспертных систем для диагностики заболеваний преимущественно в тех случаях, когда врач вынужден делать заключение на основе информации о симптоматике заболеваний и не может оперативно получить результаты дополнительных исследований с использованием инструментальных средств. Информация о симптоматике может быть получена врачом, который ставит диагноз, в основном следующими способами: путем личного общения с пациентом, в том числе и с применением программных средств типа Skype, специализированных телемедицинских систем [8]; на основании информации, предоставленной пациентом; за счет изучения данных, внесенных пациентами в персональные медицинские информационные системы, размещенные на их домашних ПЭВМ или серверах медицинских учреждений [5].

Наиболее актуальными на сегодняшний день являются системы приобретения знаний, основанные на интеграции технологий, использующих знания экспертов и методы извлечения знаний из баз данных [1,2,3,4,7]. Существует несколько проблем реализации данного подхода: отсутствуют эффективные методики интеграции знаний, полученных из разнотипных источников: существующие методы приобретения знаний, как правило, обладают низкой адаптивностью и не подразумевают использование механизмов обратной связи для установления новых зависимостей и корректировки правил в базе знаний. Поэтому целью настоящей статьи была разработка программы на преодоление указанных трудностей.

Разработка программного продукта, реализующего описанные способы. Перспективным способом разработки программных средств для извлечения знаний специалиста в области медицины является объектно-ориентированный метод, который позволяет создать мощную интерактивную систему, способную к динамическим изменениям.

Для разработки экспертной системы были использованы следующие программные средства: язык программирования PROLOG; среда разработки Visual PROLOG 5. Подсистема была создана для работы под управлением операционной системы Windows XP.

Минимальные требования к аппаратным средствам выглядят следующим образом: процессор Pentium 2Гц; оперативная память – 2Гб; место на жестком диске - 40 Гб; CD-ROM 32-х; монитор - 15"; Принтер - HP LJ 6L или аналогичный ему по характеристикам.

Собственно программу авторы разработали в среде Visual PROLOG 5. Ее основная форма приведена на рис.1.

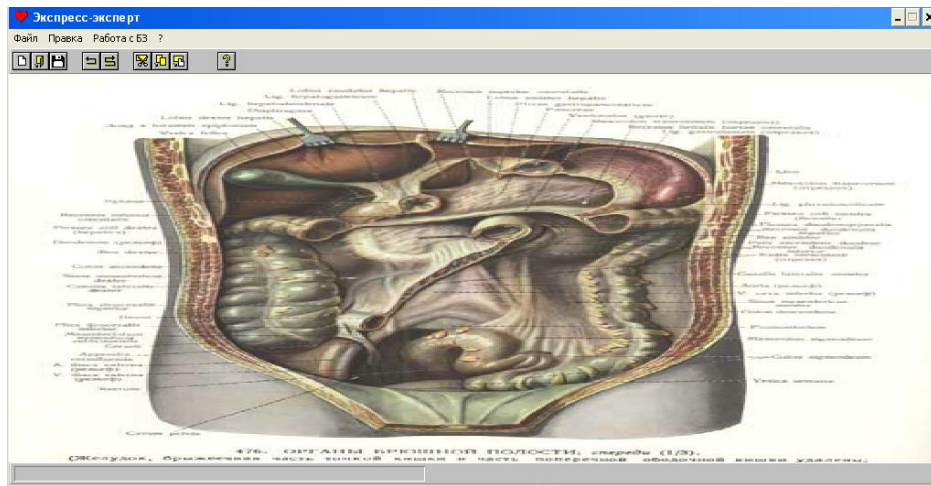


Рис.1. Главная форма программы экспертной системы

В системе Prolog решение той или иной задачи получается путем логического вывода необходимых сведений из уже известных. При этом программа на Prolog не является последовательностью операторов, предписывающих выполнение определенных действий. Программа на Prolog представляет собой совокупность определенных фактов относительно рассматриваемой предметной области и правил для вывода логических заключений из этих фактов. Поэтому Prolog можно охарактеризовать как декларативный язык. Prolog использует модифицированный вариант синтаксиса языка логики предикатов. Необходимость такой модификации обусловлена желанием приблизить язык Prolog к естественному языку человека.

Экспертная система отсроченной консультации реализует следующие функции (см. рис.2): консультация; редактирование базы знаний, обмен сообщениями между инженером и врачом; дерево знаний; пополнение базы знаний.

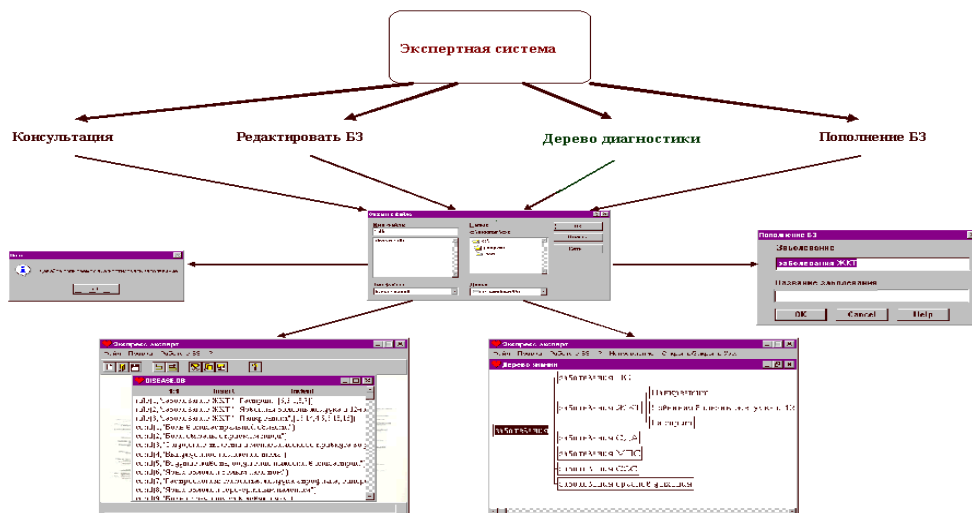


Рис. 2. Структура экспертной системы

При консультации используется файл базы знаний, в котором представлены факты и правила вывода тех или иных заключений. Взаимодействие с пользователем осуществляется с помощью диалоговых окон, посредством которых задаются вопросы. Выводы на основе ответов строятся с помощью логической машины вывода, используя свойство Visual Prolog поиск с возвратом (backtracking) см.рис.3:

Машина логического вывода

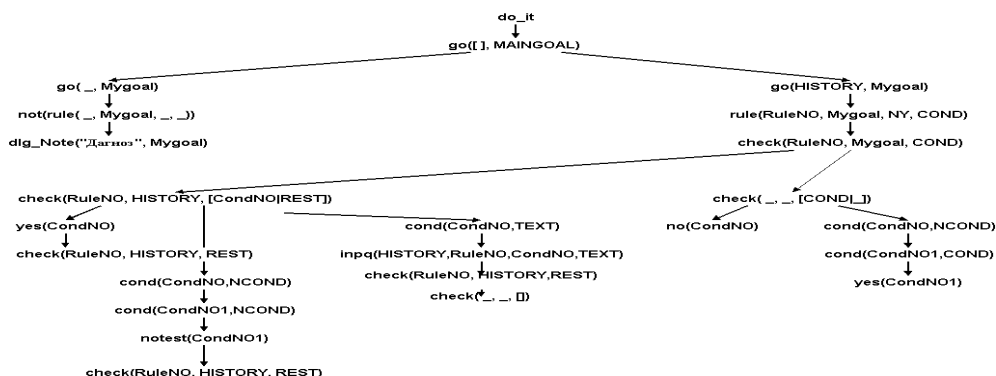


Рис. 3. Машина логического вывода

На рис.3. приведено взаимодействие множества подсистем в виде графа если все подсистемы будут истины, тогда будет истиной сама система. На основе вышесказанного приводится фрагмент программ.

```
go( _, Mygoal ):-
    not(rule( _, Mygoal, _ )),!,%Постановка окончательного диагноза
    concat("Я думаю, что это: ",Mygoal,Resault),
    dlg_Note("Диагноз",Resault),
    Answer = dlg_Ask("Вопрос","Я прав, не так ли?","&Да","&Нет")),
    evalans(Answer),!.
```

Вкратце опишем приведенный код программы:

(:-) - правило; (,) – логическая операция конъюнкция “AND”; (!) – отсечение (выход из подсистемы); (%) – комментарий; (.) – завершения подсистем.

Система -go(_, Mygoal):- подсистема - not(rule(_, Mygoal, _)),!, подсистема - concat("Я думаю, что это: ",Mygoal,Resault), подсистема – dlg_Note("Диагноз",Resault)), подсистема - Answer = dlg_Ask("Вопрос","Я прав, не так ли?","&Да","&Нет")),

В результате, если все подсистемы будут истины, тогда будет истиной сама система - go(_, Mygoal):-, то есть выполняется правило. Далее описаны другие системы.

```
go( HISTORY, Mygoal ):-
    rule (RuleNO,Mygoal,NY,COND), %Взять правило
    check (RuleNO,HISTORY, COND), %Проверить для него условия
    go ([RuleNO|HISTORY],NY) %Просмотреть другое правило
%Проверка условий для правила
check( RuleNO, HISTORY, [CondNO|REST] ):-
    yes(CondNO), !, %Ответ «Да», занести во временную базу данных
    check(RuleNO, HISTORY, REST).
check( _, [CondNO|_ ] ):-
    no(CondNO),!, fail. %Ответ «Нет», занести во временную базу данных
check( RuleNO, HISTORY, [CondNO|REST] ):-
    cond(CondNO,NCOND),
    fronttoken(NCOND,"не",_COND),
    frontchar(_COND,_COND),
    cond(CondNO1,COND), %Взять условие
    notest(CondNO1), !,
check(RuleNO, HISTORY, REST).%Проверить правило
check( _, [CondNO|_ ] ):-
    cond(CondNO,NCOND), %Взять условие
    fronttoken(NCOND,"не",_COND),
    frontchar(_COND,_COND),
    cond(CondNO1,COND), %Проверить правило
    yes(CondNO1), !, fail. %Ответ «Да» занести во временную базу данных хранения ответов пользователя
check( RuleNO, HISTORY, [CondNO|REST] ):-
    cond(CondNO,TEXT),!,
    inpq(HISTORY,RuleNO,CondNO,TEXT),
    check(RuleNO, HISTORY, REST).
```

```
check( _, _, [] ).
```

Для построения **дерева заболеваний** используется файл, содержащий набор правил построения. Далее эти правила используются при построении. Построение дерева описано с помощью определенных предикатов рекурсивных методов, а также описанных правил.

```
%Обнаружение нового листа дерева rev_treelist([],L,L).
```

```
rev_treelist([H|L1],L2,L3):-  
    rev_treelist(L1,[H|L2],L3).
```

```
%Зайти в дерево
```

```
collect_tree(NODE,_,tree(NODE,unmarked,[],0)):-  
    seen_node(NODE),!.%Обнаружение видимого узла
```

```
collect_tree(NODE,1,tree(NODE,unmarked,[],0)):-!.
```

```
collect_tree(NODE,N,tree(NODE,unmarked,RevList,0)):-  
    findall(T,collect_tree1(NODE,N,T),TREEL),
```

```
%Предикат findall собирает список всех решений, возвращенных недетерминистическими предкатами  
    rev_treelist(TREEL,[],RevList).
```

```
collect_tree1(NODE,N,TREE):-
```

```
    N1=N-1,
```

```
    includes(NODE,NODE1), %Факт, что лист дерева NODE содержит лист NODE1
```

```
    register_seen_node(NODE), %Регистрация найденного узла
```

```
    collect_tree(NODE1,N1,TREE).
```

```
collect_tree1(NODE,N,TREE):-
```

```
    N1=N-1,
```

```
    gen_from(NODE,NODE1), %Корень дерева NODE содержит ответвление NODE1
```

```
    register_seen_node(NODE), %Регистрация найденного узла
```

```
    collect_tree(NODE1,N1,TREE).
```

```
%Перечень видимых узлов
```

```
register_seen_node(NODE):-
```

```
    seen_node(NODE),!.
```

```
register_seen_node(NODE):-
```

```
    assert(seen_node(NODE)). %Занести во временную базу данных найденный узел.
```

Пополнение базы знаний о болезнях происходит в диалоговом режиме. Эксперту предлагается для болезней определенного класса добавить заболевание, а затем и записать для данного заболевания ряд характерных признаков. Обновление базы знаний происходит в два этапа. Сначала факты, описанные экспертом, добавляются в базу, которая хранится первоначально в оперативной памяти. Затем, если эксперт пожелает, то добавленные факты записываются в файл.

```
%Добавление фактов в базу данных
```

```
getnr(N,N):- not(rule(N,_,_)),!.%Если нет такого правила
```

```
getnr(N,N1):- H = N + 1,getnr(H,N1). %Увеличить номер для правила
```

```
readcondl([CondNO|R]):-
```

```
    Msg="Наберите условие, по которому произойдет переход от заболевания ЖКТ к его подвиду",
```

```
    InitStr="",
```

```
    Title="Симптом: ",
```

```
    CONDITIONS=dlg_GetStr(Title,Msg,InitStr),
```

```
    CONDITIONS >< "",!.
```

```
    getcond(CondNO,CONDITIONS),readcondl(R).
```

```
    readcondl([]).
```

```
getcond(CondNO,COND):-cond(CondNO,COND),!.%Формирование факта
```

```
getcond(CondNO,COND):- getbnr(1,CondNO),asserta(cond(CondNO,COND)). %Вставить факт
```

```
getbnr(N,N):- not(cond(N,_)),!.
```

```
getbnr(N,N1):- H = N + 1,getbnr(H,N1).
```

Редактирование файла осуществляется путем применения в программе как стандартных предикатов, так и набором предикатов, определенных автором проекта. Редактор позволяет выполнять набор стандартных действий:

```
- создать новый файл
```

```
    next_filename (FileName), %Создать файл с именем по умолчанию
```

```
    open_file (FileName,b_false), %Открыть этот файл
```

```
- открыть уже существующий
```

```

FileName = dlg_GetFileName("*.txt",["*.txt","*.txt"],"Открыть файл",[dlgfn_MultiSel],"",_OutListFiles ),
%Стандартное диалоговое окно открытия файла
FileName<>"",!, %Если файл выбран
open_file (FileName,b_true), %то открыть его

```

- открытый файл можно изменять и сохранять измененный файл под тем же именем

```

EW = win_GetFocus(), % Получить указатель окна редактора
edit_window (EW,FileName,OldText), %В этом окне в файле получить старый текст
Text = edit_GetText(EW), %Из окна с указателем EW вернуть в переменную Text содержание
OldText <> Text, % Если старый текст не соответствует новому
trap(file_str (FileName,Text),C,error_handler("Failed writing",C)), %Обработать возможные ошибки
retractall(edit_window(EW,_,_)), % Очистить факты из базы данных
assert(edit_window(EW,FileName,Text)), % В базу данных поместить новые факты

```

- сохранить под новым именем

```

NewName = dlg_GetFileName("*.lst", ["All files","*.txt"],"Save file",[dlgfn_Save],"",_OutListFiles ),
%Задать новое имя

```

```

EW = win_GetFocus(),%Получить указатель окна редактора
edit_window(EW,OldName,_), %В этом окне получить старое имя
OldName <> NewName,!, %Если старое имя не соответствует новому,
save_as(EW,NewName) % изменить имя
; %иначе
EW = win_GetFocus(), % Получить указатель окна редактора
edit_window(EW,Name,OldText), %Заполнить факт из базы данных
Text = edit_GetText(EW), % Из окна с указателем EW вернуть в переменную Text содержание
OldText <> Text,!, %Если были изменения
trap(file_str(Name,Text),C,error_handler("Ошибка записи",C)), %Обработать ошибки
retractall(edit_window(EW,_,_)), %Очистить факты из базы данных
assert(edit_window(EW,Name,Text)) %Связать новые факты

```

- при выходе из редактора, если были изменения в файле, то система запросит о сохранении, если не было, то закроет файл.

Помимо всего прочего редактор предоставляет пользователю сервисные услуги по изменению текста: отмена последнего действия

```

edit_window(_Window,_,_), %В окне редактора
edit_PossibleUndoRedo(_Window,Undo,_Redo), %Если отмена возможна
Undo=b_true,!,
edit_Undo(_Window), %Произвести отмену последнего действия

```

повтор отмененного действия

```

edit_window(_Window,_,_), %В окне редактора
edit_PossibleUndoRedo(_Window,_Undo,Redo), %Если повтор возможен
Redo=b_true,!,
edit_Redo(_Window), %Произвести повтор отмененного действия

```

работа с буфером, вырезать в буфер обмена выделенный текст

```

edit_window(_Window,_,_), %В окне редактора
edit_Cut(_Window), %Выделенный текст вырезать в буфер

```

копировать выделенный текст в буфер обмена

```

edit_window(_Window,_,_), %В окне редактора
edit_Copy(_Window), %Копировать текст в буфер

```

вставить текст из буфера

```

edit_window(_Window,_,_), %В окне редактора
edit_Paste(_Window), %Вставить содержимое буфера

```

удалить выделенный текст

```

edit_window(_Window,_,_), %В окне редактора
edit_Delete(_Window), %Удалить выделенный текст

```

Обеспечение этих действий возможно благодаря применению как стандартных предикатов, так и определенных в программе. Таким образом, в перспективе рассмотренный прототип может послужить базой для создания

медицинских экспертных систем, предназначенных для предварительной постановки диагноза на основе симптоматики; оценки динамики состояния пациентов и дистанционных консультаций. При этом набор симптомов должен быть выбран таким образом, чтобы обеспечивалась достаточная дифференцирующая способность в отношении диагностируемых заболеваний.

Выводы

- Предложены инструментальные средства проектирования экспертных систем на основе семантических сетей, позволяющие создавать по определенным правилам базы знаний, используемые в данной экспертной системе, редактировать и пополнять уже существующие, а также проводить консультации.
- Можно просмотреть дерево заболеваний, а также местоположение определенной болезни в нем. Разработанная система является продукционной. Системы продукции включают три основных компонента: базу правил, состоящую из набора продукции (правил вывода), базу данных и интерпретатор для получения логического вывода.

Conclusions

- Proposed tools design expert system based on semantic networks, allowing to create specific rules for the knowledge base used in this expert system, edit and add to existing ones, as well as consulted.
- diseases can browse the tree, as well as the location of a particular disease therein. The developed system is a production. Production systems consist of three main components: the rule base, consisting of a set of productions (rules of inference), a database, and an interpreter for inference.
- Telemedicine consultative and educational center. - Mode of access: <http://bonum.info/telemedicine-center> (date accessed 11/06/2014), free. - Title from the screen. - Jaz. rus.

Список литературы

1. Батырканов Ж.И. Обучающие экспертные системы // Известия КГТУ. - Бишкек. – 2011.-№ 21. – С.129-131.
2. Батырканов Ж.И. Модели представлений знаний на основе приближенного множества // Вестник науки Костанайского социально – технического университета им. академика Зулхарнай Алдамжар 3/2014с.35-39.
3. Боскебеев К.Дж. Модель интеллектуальной обучающей системы на основе теории систем // Материалы международной научно-практической конференции, посвященной 70 – летию образования Волгоградского государственного аграрного университета. Волгоград, 2014г. – с.331-336.
4. Боскебеев К.Дж. Информационная система управления на основе метода нечеткого множества // "Вестник Таджикского технического университета" – январь - март 2014г. – с.45-49.
5. Комплексная медицинская информационная система (КМИС). – Режим доступа:http://vs.ramec.ru/computer/ram_med/kmis&printable (дата обращения 06.11.2014), свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
6. Митюшкин Ю. И. Soft-Computing: Идентификация закономерностей нечеткими базами знаний / Ю. И. Митюшкин, Б. И. Мокин, А. П. Ротштейн. – Винница: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2002. – 145 с.
7. Нестерова Е. В. Проблемы извлечения знаний из баз данных / Е. В. Нестерова, И. Г. Жукова // VII Регион. конф. молодых исследователей Волгоградской области. Волгоград, 12–15 ноября 2002 / ВолгГТУ [и др.] – Волгоград, 2003. – С. 208–210.
8. Телемедицинский консультативно-образовательный центр. – Режим доступа: <http://bonum.info/telemedicine-center> (дата обращения 06.11.2014), свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.

References

1. Batyrkanov Z.I. Educational expert systems // Proceedings KGTU. Bishkek. - 2011.-№ 21. - page.129-131.
2. Batyrkanov Z.I. Model of knowledge representation based on rough sets // Bulletin of Science Kostanai Social - Technical University. Academician Zulkharнай Aldamzhar 3/2014, page.35-39.
3. Boskebeev K.D. Intelligent tutoring system model based on the theory of systems // Proceedings of the international scientific-practical conference dedicated to the 70 - anniversary of Volgograd State Agrarian University. January 28 - January 28. Volgograd 2014. - page.331-336.
4. Boskebeev K.D. Management information system based on the method of fuzzy sets // "Bulletin of the Tajik Technical University" 1 (25) January-March 2014. - page.45-49.
5. Integrated Medical Information System (CMIS). - Mode of access: http://vs.ramec.ru/computer/ram_med/kmis&printable (date accessed 06/11/2014), free. - Title from the screen. - Jaz. rus.
6. Mityushkin Y.I. Soft-Computing: Identifying patterns of fuzzy knowledge bases / YI Mityushkin, BI Mokin, AP Rothstein. - Athens: UNIVERSUM-Vinnitsya, 2002. - 145 p.
7. Nesterov E.V. The problem of extracting knowledge from databases / EV Nesterov, And. Zhukov // VII Region. Conf. young researchers of the Volgograd region, Volgograd, 12-15 November 2002 / VSTU [et al.] - Volgograd, 2003. - page. 208-210.
8. Telemedicine consultative and educational center. - Mode of access: <http://bonum.info/telemedicine-center> (date accessed 11/06/2014), free. - Title from the screen. - Jaz. rus.

ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ЗАМКНУТОЙ НЕЛИНЕЙНОЙ СИСТЕМЫ ПЧ – АД МЕТОДОМ ФАЗОВЫХ ТРАЕКТОРИЙ

Мельничук В., аспирант КГТУ им. И.Раззакова Алматинский университет - Энергетики и связи
melnichuc@mail.ru

В статье рассматривается методика получения математического описания динамики переходных процессов замкнутой нелинейной системы. Преобразователь частоты - асинхронный двигатель, обеспечивающий возможность создания программы расчета фазовой траектории в координатах системы в среде MATLAB

Ключевые слова: устойчивости системы, фазовые траектории, визуализации

STUDY STABILITY OF THE CLOSED NONLINEAR SYSTEM INVERTER - INDUCTION MOTOR BY METHOD OF PHASE TRAJECTORY

V. Melnychuk PhD student KSTU. I.Razzakova Almaty University of Energy and Communications
melnichuc@mail.ru

The article discusses a technique to obtain a mathematical description of the dynamics of transients closed nonlinear system inverter induction motor that provides the ability to create a program for calculating the phase trajectory in the coordinates system in MATLAB

Keywords: stability of the system, phase trajectory visualization

Введение. Одной из основных задач исследования динамики переходных процессов нелинейных систем автоматического управления является задача определения устойчивости системы. К одному из общеизвестных методов исследования устойчивости нелинейных систем управления можно отнести метод фазовых траекторий [1]. В основном этот метод используется для исследования устойчивости нелинейных систем, переходные процессы которых описываются дифференциальным уравнением второго порядка или системой двух дифференциальных уравнений первого порядка. Однако в настоящее время с помощью системы MATLAB имеется возможность исследовать устойчивость системы автоматического управления, описываемой дифференциальным уравнением третьего порядка или системой трёх дифференциальных уравнений первого порядка. Для решения задачи определения устойчивости замкнутой системы преобразователь частоты – асинхронный двигатель (ПЧ – АД), прежде всего необходимо получить математическое описание динамики переходных процессов системы. Это описание создается на основе структурной схемы, представленной на рис.1 в среде MATLAB.

Цель и методы. Представленная структурная схема (рис. 1) замкнутой системы ПЧ – АД состоит из структурной схемы асинхронного двигателя [2], преобразователя частоты и регулятора скорости системы. Структурная схема разомкнутой системы ПЧ – АД состоит из двух динамических звеньев с передаточными функциями $W1$ и $W2$, охваченных единичной обратной связью (асинхронный двигатель), и преобразователя частоты с передаточной функцией PF . Преобразователь частоты системы представлен на рис. 1 инерционным звеном. В качестве регулятора скорости (РС) выбрано интегро – дифференцирующее звено для улучшения качественных характеристик переходных процессов скорости и момента асинхронного двигателя. В обратной связи системы ПЧ – АД введено нелинейное звено (НЗ), входным сигналом которого является суммирующий сигнал U , состоящий из напряжения датчика скорости с коэффициентом усиления K_C и напряжения U_{PC} с выхода регулятора скорости.

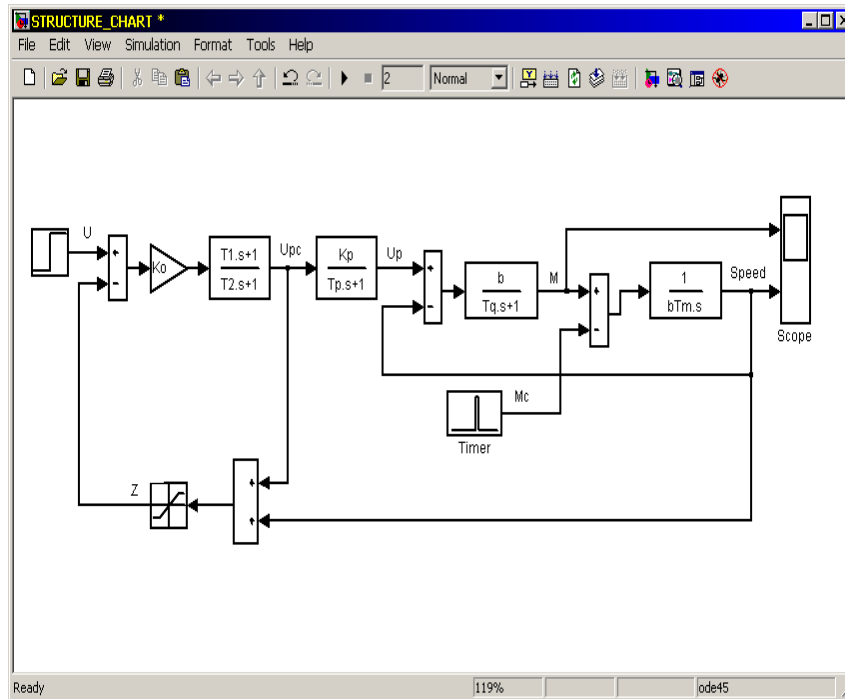


Рис. 1. Структурная схема замкнутой системы ПЧ - АД

Математическое описание замкнутой нелинейной системы ПЧ – АД осуществляется на основе передаточных функций системы при допущении, что передаточная функция преобразователя частоты рассматривается как пропорциональное звено с целью уменьшения количества дифференциальных уравнений системы до трех уравнений. В этом случае математическое описание системы ПЧ – АД будет иметь следующий вид:

$$\begin{aligned} \frac{d\omega}{dt} &= \frac{1}{bT_m} M - \frac{1}{bT_m} M_C, \\ \frac{dM}{dt} &= \frac{bK_p}{T_q} u_{PC} - \frac{b}{T_q} \omega - \frac{b}{T_q} M, \end{aligned} \quad (1)$$

где ω – частота вращения вала асинхронного двигателя АД;

M – электромагнитный момент АД;

u_{PC} – напряжение на выходе регулятора скорости (РС);

b – жесткость механической характеристики АД;

K_p – коэффициент передачи преобразователя частоты;

T_q – электромагнитная постоянная времени АД;

T_m – электромеханическая постоянная времени АД;

T_p – постоянная времени преобразователя частоты;

T_1, T_2 – постоянные времени регулятора скорости.

Однако для удобства решения поставленной задачи методом фазовой траектории приведем уравнения (1) к виду:

$$\frac{d\omega}{dt} = y, \quad (2)$$

$$\frac{dy}{dt} = \frac{k_p}{T_q T_m} u_{PC} - \frac{1}{T_q} y - \frac{1}{T_q T_m} \omega.$$

Дифференциальное уравнение регулятора скорости запишется в виде:

$$\frac{du_{PC}}{dt} = \frac{k_O}{T_2} u - \frac{k_O T_1}{T_2} \frac{dz}{dt} - \frac{k_O}{T_2} z - \frac{1}{T_2} u_{PC}, \quad (3)$$

где K_O – коэффициент усиления интегро - дифференцирующего звена регулятора скорости (РС).

Так как нелинейное звено замкнутой системы ПЧ – АД является нелинейным звеном типа ограничение, то характеристика этого звена выражается следующими уравнениями [3]:

$$z = \begin{cases} kx \text{ } npu & \|x\| \leq x_c; \\ z_c \text{sign}(x) \text{ } npu & |x| > x_c. \end{cases} \quad (4)$$

Производная z уравнений (4) при условии $x = U_{PC} + \omega$ имеет вид:

$$z' = \begin{cases} k(du_{PC}/dt + d\omega/dt) \text{ } npu & |u_{PC} + \omega| \leq x_c; \\ 0 & |u_{PC} + \omega| > x_c. \end{cases} \quad (5)$$

Систему уравнений (2) и уравнения (3), с учетом уравнений (4) и (5), после замены переменных можно представить в следующем виде:

$$\frac{dy_1}{dt} = y_2;$$

$$\frac{dy_2}{dt} = a_1 k_p y_3 - a_2 y_2 - a_3 y_1;$$

$$\frac{dy_3}{dt} = a_4 u - a_5 p_z - a_6 z - a_7 y_3,$$

$$\text{здесь } a_1 = \frac{k_p}{T_q T_m}, \quad a_2 = \frac{1}{T_q}, \quad a_3 = \frac{1}{T_q T_m}, \quad a_4 = \frac{k_0}{T_2}, \quad a_5 = \frac{k_0 T_1}{T_2}, \quad a_6 = \frac{k_0}{T_2}, \quad a_7 = \frac{1}{T_2},$$

$$y_1 = \omega, \quad y_2 = M, \quad y_3 = u_{PC}, \quad p_z = dz/dt.$$

Программа расчета фазовой траектории осуществляется на основе уравнений (4), (5) и (6) на алгоритмическом языке системы MATLAB [3] и имеет следующий вид:

```
function portret
y0 = [0;0;0];
options = odeset('OutputFcn', @odephas3)
[T,Y] = ode45(@systm,[0 1],y0,options);
grid on
function dy = systm(t, y)
u=10; K0=5; T1=0.2; T2=0.02;
Tq=0.016; Tm=0.2; Kp=20;
Zc=5; Xc=1;
dy = zeros(3,1);
dy(1)=y(2);
X=(y(3)+y(1));
if abs(X)<=Xc z=tan(45)*X;end
if abs(X)>Xc z=Zc*sign(X);end
dy(2)=(Kp/(Tq*Tm))*y(3)-(1/Tq)*y(2)-(1/(Tq*Tm))*y(1);
if abs(X)<=Xc Pz=(1/(1+((tan(45)*K0*T1)/T2)))*...
((K0/T2)*u-(K0/T2)*z-(1/T2)*y(3));end
if abs(X)>Xc Pz=0;end
dy(3)=(K0/T2)*u-((K0*T1)/T2)*Pz-(K0/T2)*z-
(1/T2)*y(3);
```

end
end

В программе для визуализации решения дифференциальных уравнений (6) используется стандартная функция MATLAB *odephas3*, с помощью которой осуществляется построение графика фазовой траектории. Фазовая траектория системы представлена на рис. 2.

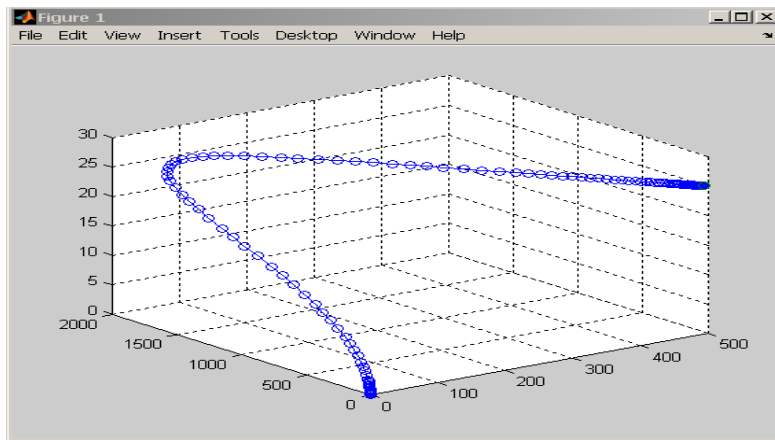


Рис. 2 Фазовая траектория замкнутой системы ПЧ – АД

Из рис. 2 видно, что фазовая траектория стремится к равновесному состоянию нелинейной системы ПЧ – АД, т.е. в точку $[0, 0, 0]$ по всем координатам системы. Согласно [4] замкнутая система ПЧ – АД устойчива.

Выводы

1. Программа расчета фазовой траектории замкнутых нелинейных систем управления позволяет определять устойчивость систем управления описываемых дифференциальными уравнениями третьего порядка.
2. Программа расчета фазовой траектории систем управления может быть использована со многими нелинейностями с условием их математического описания известными уравнениями.

Список литературы

1. Попов Е.П. Теория нелинейных систем автоматического регулирования и управления. – М.: Наука, Гл. ред. физ. – мат. лит., 1988. – 256 с.
2. Терехов В.М., Осипов О.И. Системы управления электроприводов. – М.: Издат. центр «Академия», 2008. – 304 с.
3. Алексеев Е.Р., Чеснокова О.В. MATLAB 7. – М.: НТ Пресс, 2006. – 464 с.
4. Теория автоматического управления. Ч. II. Под ред. А.В. Нетушила. – М.: «Высшая школа», 1972. – 432 с.

References

1. Popov EP The theory of nonlinear systems of automatic control and management. - M.: Science, Ch. Ed. nat. - Mat. lit., 1988. - 256.
2. Terekhov V. Osipov, OI Control system actuators. - M.: Izdat. center "Academy", 2008. - 304 p.
3. Alekseev ER, Chesnokov O. MATLAB 7. - M.: NT Press, 2006. - 464 p.
4. Automatic Control Theory. Part II. Ed. AV Netushila. - M.: "High School", 1972. - 432 p.

УДК.: 658.52.011.56: 667.6

РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ СМЕШИВАНИЯ КРАСОК

Акылбеков Адилет Акылбекович, КГТУ им.И.Раззакова, Кыргызстан, 720044, г.Бишкек, пр. Мира, 66, e-mail: adiletakylbekov@gmail.com

Кошоева Бибигуль Бейшенбековна, к.т.н., доцент, КГТУ им.И.Раззакова, 720044, г.Бишкек, пр. Мира, 66, e-mail: bibigul200472@mail.ru.

Цель - разработка АСУТП смешивания красок на базе ПЛК S7-300 фирмы Siemens и программного обеспечения Step 7 v 5.4 на нижнем уровне, WinCC Flexible - 2008 на верхнем уровне автоматизации. Лакосмешивающая машина широко применяется на сегодняшний день в лакокрасочной, автомобильной, текстильной промышленности.

Ключевые слова: программируемый логический контроллер (ПЛК), ПЛК Simatic S7-300, ПО Step 7 v 5.4, SCADA Win CC Flexible - 2008, машина смешивания красок.

DEVELOPMENT OF AN AUTOMATED PROCESS CONTROL COLOR MIXING

Akylbekov Adilet, Kyrgyzstan, 720044, с. Bishkek, KSTU named after I.Razzakov,
e-mail: : adiletakylbekov@gmail.com

Koshoeva Bibigul, Phd (Engineering), Associate Professor, Kyrgyzstan, 720044, с. Bishkek, KSTU named after I.Razzakov, e-mail: bibigul200472@mail.ru

Purpose - to develop the control system of mixing colors based on Siemens S7-300 PLC and Software Step 7 v 5.4 on the lower level, WinCC Flexible 2008 at the top level of automation. Paint mixing machine is widely used today in the paint, automotive and textile industries.

Keywords: programmable logic controller (PLC), PLC Simatic S7-300, Software Step 7 v 5.4, SCADA Win CC Flexible 2008, paint mixing machine.

Введение. В Кыргызской Республике в последнее время заметно развивается сфера промышленности. Для снижения затрат на производство, уменьшения расходов сырья, улучшения качества и увеличения количества продукции активно начали применять средства автоматизации в сферах пищевой, строительной, аграрной промышленности. Программируемый логический контроллер (ПЛК), как средство автоматизации позволяет автоматизировать работу больших и малых систем технологических процессов в производстве для обеспечения быстрой, качественной и безопасной продукцией.

Постановка задачи. Сущность решения заключается в управлении технологическим процессом лакокрасочной машины, производящей лакокрасочные материалы требуемого цвета. Технологическую базу составляют современные аппаратные и коммуникационные средства для автоматизации управления в лакокрасочной промышленности.

Для АСУТП смешивания красок, разработанной на нижнем и верхнем уровнях автоматизации, использовались следующие технические, программные и коммуникационные средства:

- ПЛК S7-300 (CPU 314C-2DP);
- Блок питания PS307(2A);
- Коммуникационные средства (*MPI ПК аданмер USB Siemens*);
- Учебный стенд ПЛК S7-300 «Christiani»;
- ПО Step7 (5.4);
- ПО WinCC Flexible (2008);

Описание работы машины. Лакокрасочная машина позволяет получить в процессе смешивания лак необходимого цвета. Для этого в бочке-смесителе смешивают лаки из 4 бочек-резервуаров следующих цветов: красный, синий, зеленый, желтый. Машина должна смешивать лаки по двум разным рецептам для получения на выходе лака двух разных цветов. Нажатием кнопки SWP1/2 можно выбрать тон лака 1 (программа 1) или тон лака 2 (программа 2). На рис.1 представлена технологическая схема управления лакокрасочной машиной.

Работа машины смешивания красок (МСК) по программе 1. Мотор - смеситель M1 должен включиться в автоматический режим при:

- ВКЛ машину (контакт Q1 замкнут),
- выбор тона лака 1 (программа 1, SWP1/2 открыть),
- ВКЛ кнопку S1.

Далее по истечении 4сек (T1) вентиль Y1 бочки1 будет открыт. По истечении 2сек (T2) включен мотор-насос M2. Теперь краска из бочки1 вкачивается в смеситель красок, пока сенсор наполнения 1 (SE1) не включен. Включение SE1 приведет к закрытию вентиля Y1 и через 2сек (T3) выключится мотор M2. По истечении 4сек (T1) вентиль Y2 бочки2 будет открыт. По истечении 2сек (T2) включен мотор-насос M2. Теперь краска из бочки2 вкачивается в смеситель красок, пока сенсор наполнения 2 (SE2) не включится. Включение сенсора SE2 приведет к закрытию вентиля Y2 и через 2сек (T3) выключится мотор M2. По истечению 4сек (T1) вентиль Y3 бочки3 будет открыт. По истечении 2сек (T2) включен мотор-насос M2. Теперь краска из бочки3 вкачивается в смеситель красок, пока сенсор наполнения 3 (SE3) не включится. Включение SE3 приведет к закрытию вентиля Y3 и через 2сек (T3) выключится мотор M2. После выключения M2 вентиль Y5 будет открыт, и смешанная краска идет на дальнейшую обработку из смесителя. На сенсор SEBL подается сигнал сразу же, как только смеситель будет опустошен. При наличии этого сигнала вентиль Y5 будет снова закрыт и выключится мотор1. Сейчас машина находится в исходном положении. Нажатием кнопки S1 можно заново начать новый цикл смешивания.

Работа машины смешивания красок по программе 2

Мотор - смеситель M1 должен включиться в автоматический режим при:

- ВКЛ машину (Q1 замкнут),
- выбор тона лака 2 (программа 1, SWP1/2 закрыть),
- ВКЛ кнопки S1.

Далее по истечении 4сек (T1) клапан Y2 бочки2 будет открыт. По истечении 2сек (T2) включен мотор-насос M2. Теперь краска из бочки2 вкачивается в смеситель красок, пока датчик наполнения 1 (SE1) не включится. Включение SE1 приведет к закрытию клапана Y1 и через 2сек (T3) выключится мотор M2. По истечении 4сек (T1) клапан Y3 бочки3 будет открыт. По истечении 2сек (T2) включен мотор-насос M2. Теперь краска из бочки3 вкачивается в смеситель красок, пока датчик наполнения 2 (SE2) не выключится. Включение SE2 приведет к закрытию клапана Y3 и через 2сек (T3) выключится мотор M2. По истечении 4сек (T1) клапан Y4 бочки4 будет открыт.

По истечении 2сек (T2) включен мотор-насос M2. Теперь краска из бочки4 вкачивается в смеситель красок, пока датчик наполнения 3 (SE3) не включится. Включение SE3 приведет к закрытию клапана Y4 и через 2сек (T3) выключится M2. После выключения M2 клапан Y5 будет открыт, и смешанная краска идет на дальнейшую обработку из смесителя. На датчик SEBL подается сигнал сразу же, как только смеситель будет опустошен. При наличии этого сигнала клапан Y5 будет снова закрыт и выключится мотор1. Сейчас машина находится в исходном положении. Нажатием кнопки S1 можно заново начать новый цикл смешивания.

Режимы работы машины - ручной и автоматический - будут показаны индикаторными лампами H1H и H1A. Нахождение машины в первоначальном состоянии будет показано лампой H1G. Автоматический процесс будет показан моргающим светом лампы H1S с частотой 1Гц, выбор программы - лампами HP1 и HP2.

При разработке программы определили входные, выходные параметры, меркеры, которые включены в таблицу символов (табл.1).

На основе таблицы 1 сформировали функциональную схему SFC MCK (рис.2.). **Sequential Function Chart** (последовательные функциональные схемы) — язык программирования стандарта IEC61131-3, предназначенный для программирования промышленных контроллеров. Последовательная функциональная схема (SFC) идеально подходит для разработки и программирования технологических последовательностей обработки на МСК [1]. Она может использоваться для определения шагов и условий соответствующих переходов между ними, а также альтернативных и параллельных ветвей. SFC MCK состоит из 16 основных шагов, которые отражают цикл работы процесса смешивания красок по программам 1 или 2.

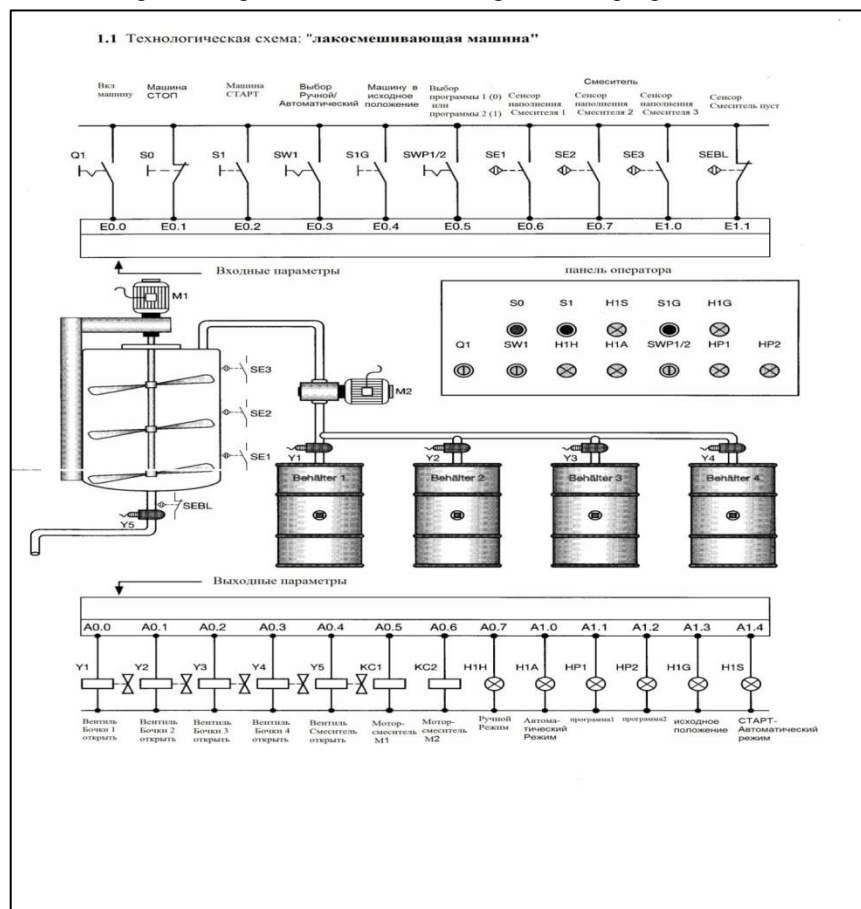


Рис.1. Технологическая схема машины смешивания красок

Таблица 1. Таблица символов для машины смешивания красок

Символьный адрес	Обозначение	Примечание
Входы:		
E 0.0	Q1	Включить машину
E 0.1	SO	Машина СТОП
E 0.2	S1	Машина СТАРТ
E 0.3	SW1	Выбор ручной/автоматический
E 0.4	S1G	Машину в исходное положение
E 0.5	SWP1/2	Выбор программы 1 или программы 2
E 0.6	SE1	Сенсорнаполнения смесителя 1
E 0.7	SE2	Сенсорнаполнения смесителя 2
E 1.0	SE3	Сенсорнаполнения смесителя 3
E 1.1	SEBL	Сенсор смеситель пуст
Выходы:		
A 0.0	Y1	Вентиль Бочки 1 открыть
A 0.1	Y2	Вентиль Бочки 2 открыть
A 0.2	Y3	Вентиль Бочки 3 открыть
A 0.3	Y4	Вентиль Бочки 4 открыть
A 0.4	Y5	Вентиль смеситель открыть
A 0.5	KC1	Мотор-смеситель M1
A 0.6	KC2	Мотор-насос M2
A 0.7	H1H	Индикатор - лампа ручной режим
A 0.7	H1A	Индикатор - лампа автоматический режим
A 1.0	H1G	Индикатор - лампа машина в исходном положении
A 1.1	H1S	Индикатор - лампа автоматический режим СТАРТ
Меркеры:		
M0.0	SMO	Меркер 0, Начальный шаг
M0.1	SM1	Меркер 1 - KC1 ВКЛ / Y1 и KC2 задержать ВКЛ
M0.2	SM2	Меркер 2- KC2 задержать ВЫКЛ
M0.3	SM3	Меркер 3- Y2 задержать ВКЛ / KC2 задержать ВКЛ
M 0.4	SM4	Меркер 4- KC2 задержать ВЫКЛ
M 0.5	SM5	Меркер 5- Y3 задержать ВКЛ / KC2 задержать ВКЛ
M 0.6	SM6	Меркер 6- KC2 задержать ВЫКЛ
M 0.7	SM7	Меркер 7- Y5 ВКЛ
M 1.0	SM8	Меркер 8 - KC1 ВЫКЛ
M1.1	SM9	Меркер 9 - KC1 ВКЛ / Y2 und KC2 задержать ВКЛ
M 1.2	SM10	Меркер 10- KC2 задержать ВЫКЛ
M 1.3	SM11	Меркер 11- Y3 задержать ВКЛ / KC2 задержать ВКЛ
M 1.4	SM12	Меркер 12- KC2 задержать ВЫКЛ

Каждая из программ (1 и 2 программа работы машины смешивания красок) состоит из 9 последовательных шагов, включая нулевой M 0.0- шаг инициализации. Остальные восемь шагов описывают последовательный алгоритм процесса смешивания красок. Все шаги описаны в функциональном блоке при помощи SR-триггеров.

При разработке программы на ПО Step 7 v 5.4 использовался язык программирования-FBD. **FBD (Functional Block Diagram)** - графический язык, в котором используются функциональные блоки, по внешнему виду - микросхемы. Программа работы машины смешивания красок была написана при помощи функциональных блоков, вызванных через организационный блок для организации циклической обработки данных[2,3]. На рис. 3 представлен фрагмент программы Network 2 «Включить машину, выбрать тип программы 1 и открыть вентиль бочки 1».

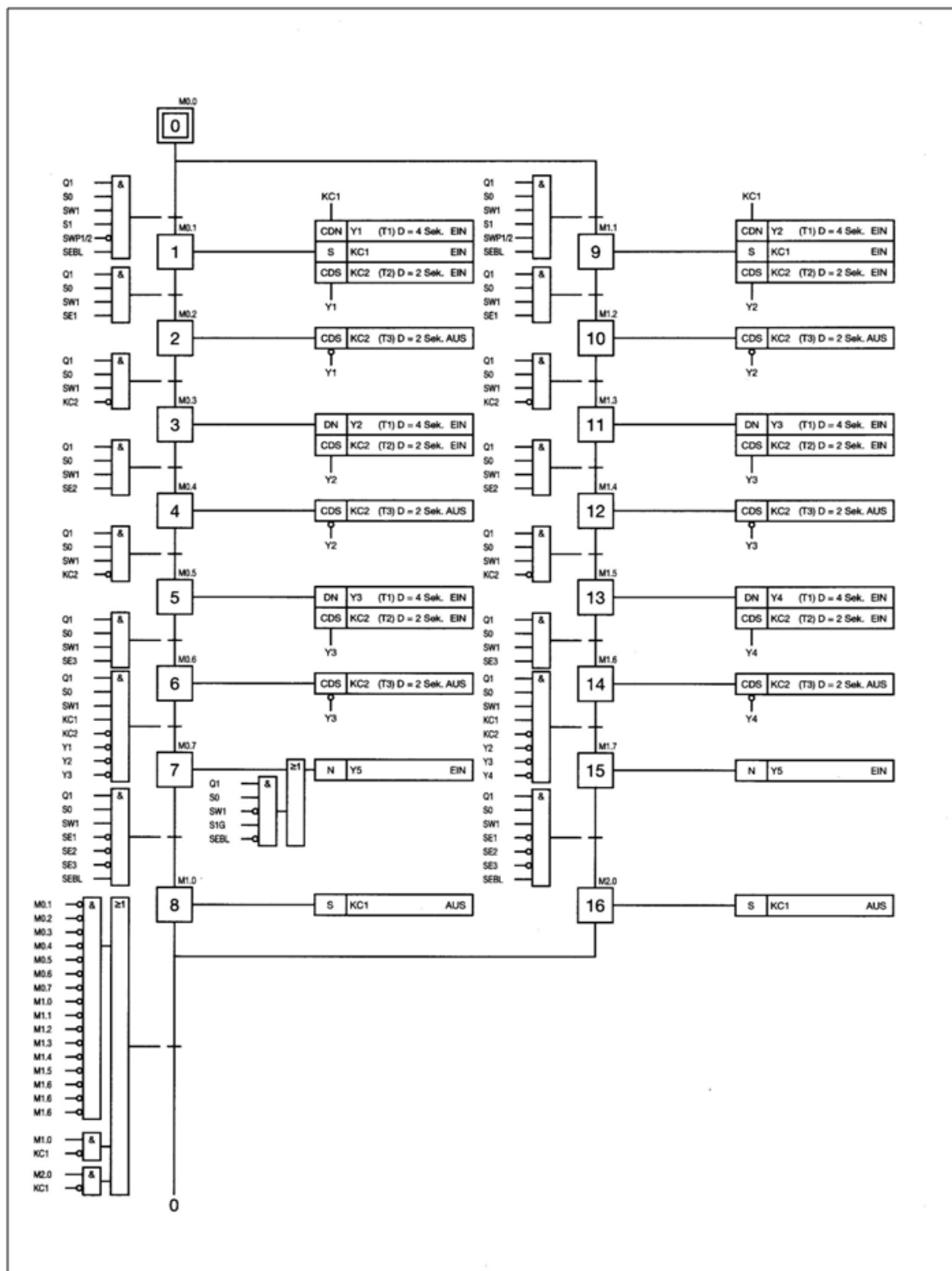


Рис. 2 Функциональная схема SFC машины смешивания красок

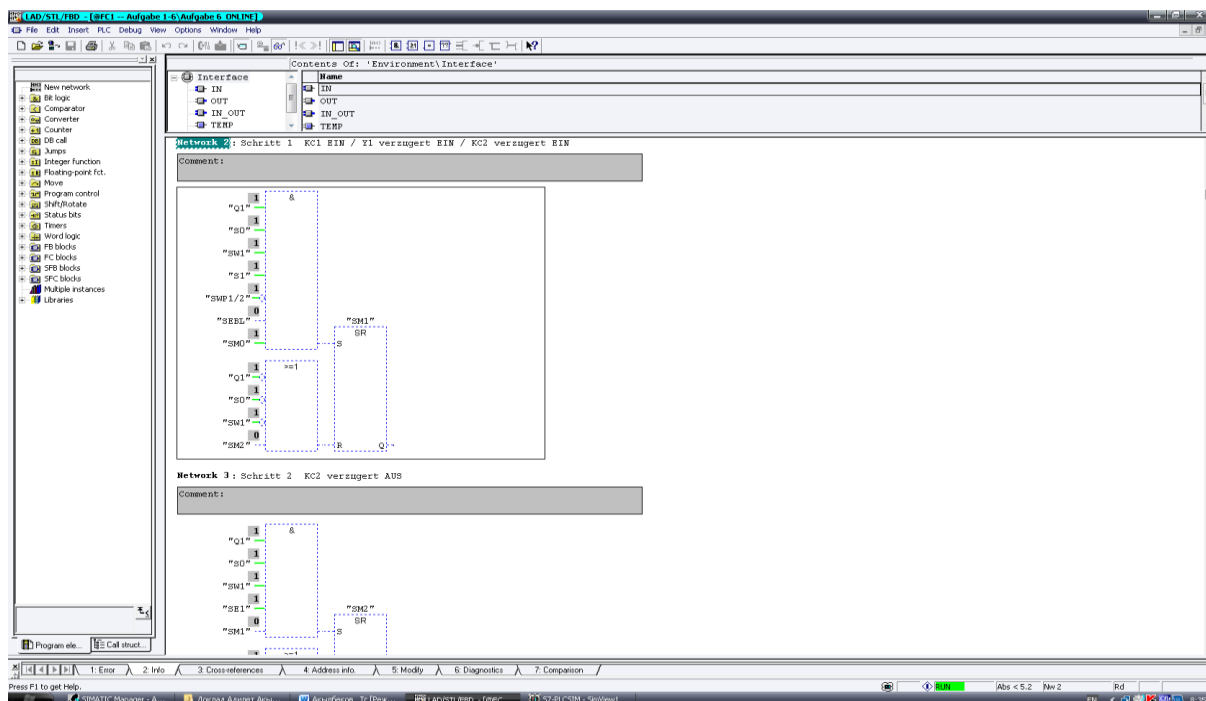


Рис. 3 Фрагмент программы МСК

Макет машины смешивания красок. Для симуляции реального технологического процесса был собран макет лакокрасочной машины и подключен к стенду “Christiani” с выходными узлами от CPU 314C-2DP с напряжением 24В.

На рис.4 представлена демонстрация макета МСК, который работает по программе 1: клапан Y1 бочки 1 открыт и краска из бочки вкачивается в смеситель красок, пока датчик наполнения1 не включится.

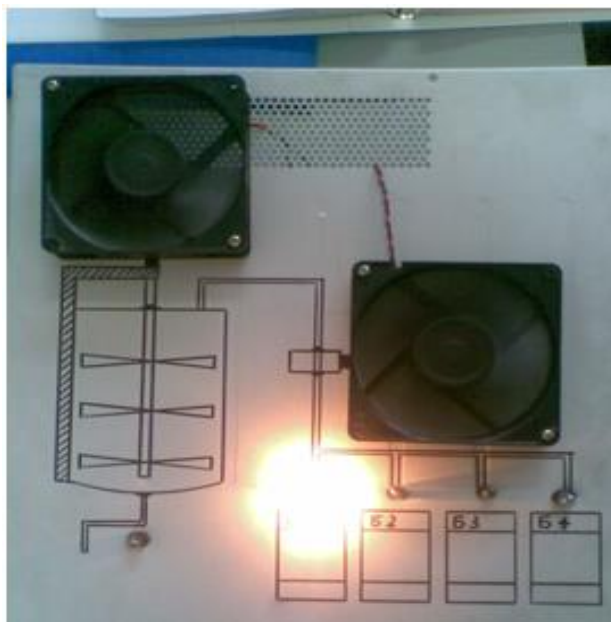


Рис. 4. Вид макета МСК

Для МСК на верхнем уровне автоматизации реализовывалась с помощью SCADA WinCC Flexible. **SCADA** (аббр. от англ. Supervisory Control And Data Acquisition, Диспетчерское управление и сбор данных) — программный пакет, предназначенный для разработки или обеспечения работы в реальном времени систем сбора, обработки, отображения и архивирования информации об объекте мониторинга или управления.

WinCC - первый в мире IHMI (Integrated Human Machine Interface - интегрированный человеко-машинный интерфейс) - программная система, которая полностью интегрирует программное обеспечение для управления установкой в наш автоматизируемый процесс.

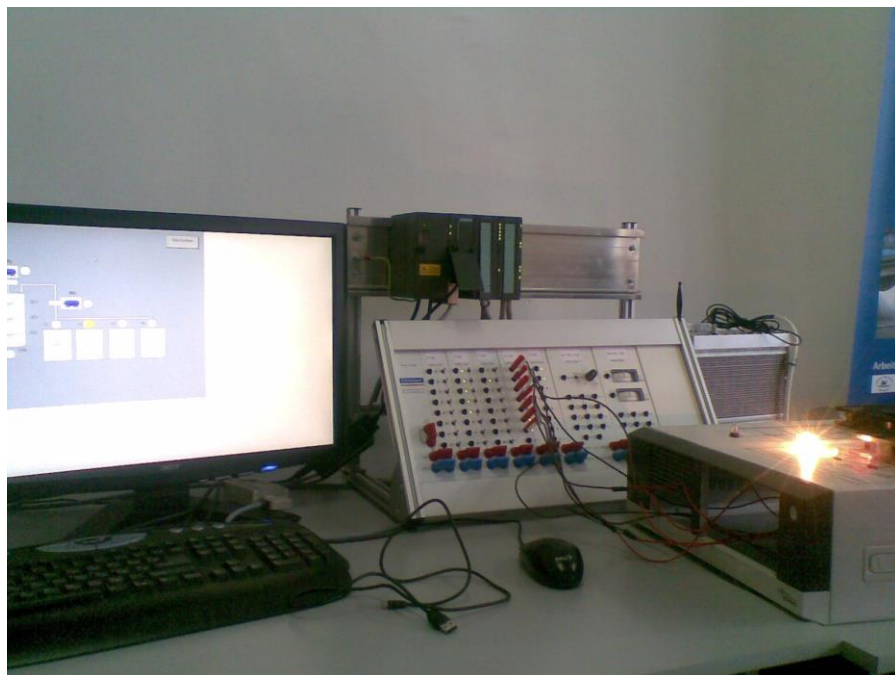


Рис.5.Операторская панель (WinCC Flexible) + ПЛК S7-300+ макет МСК

Список литературы

1. Петров И. В. Программируемые контроллеры. Стандартные языки и приемы прикладного проектирования / Под ред. проф. В. П. Дьяконова. — М.: СОЛОН - Пресс, 2004. — 256 с. ISBN 5-98003-079-4
2. Gans Berger "Automating with Step 7 in LAD & FBD" Siemens AG. 2001. -605с.
3. Juergen Kaftan "SPS-Grundkurs" Vogel Buchverlag Wurzburg.1989. -283с.

References

1. Petrov IV Programmable Controllers . Standard languages and techniques of applied design / Ed. prof. VP Dyakonov . - M .: SOLON - Press , 2004. - 256 с. ISBN 5-98003-079-4
2. Gans Berger "Automating with Step 7 in LAD & FBD" Siemens AG. 2001. -605с.
3. Juergen Kaftan "SPS-Grundkurs" Vogel Buchverlag Wurzburg.1989. -283с.

УДК.: 621.951.45.

**РАЗРАБОТКА СТОЙКОСТНОЙ МОДЕЛИ СПИРАЛЬНЫХ СВЕРЛ
ПРИ СЛУЧАЙНОМ ХАРАКТЕРЕ ПРОЦЕССОВ ИЗНАШИВАНИЯ**

Рагрин Николай Алексеевич, к.т.н., доцент, КГТУ им. И.Раззакова, Кыргызстан, 720044, г.Бишкек, пр. Мира, 66, e-mail: n_ragrin@mail.ru

Цель статьи - разработка стойкостной модели учитывающей случайный характер процессов изнашивания сверл. Автором проведен анализ состояния проблемы и определено, что существующие стойкостные модели не учитывают случайный характер процессов изнашивания, не позволяют рассчитать стойкость спиральных сверл на скоростях резания максимальной стойкости, и не учитывают твердость материала заготовок. Настоящими исследованиями получена стойкостная модель для расчета средней стойкости спиральных сверл на скоростях резания максимума зависимости стойкости от скорости резания, учитывающая твердость материала заготовок и случайный характер процессов изнашивания.

Ключевые слова: сверло, стойкость, скорость резания, подача, диаметр, твердость.

**DEVELOPMENT OF SUSTAINABLE MODELS OF SPIRAL DRILLS
AT CASUAL NATURE OF WEAR PROCESSES**

Ragrin Nikolay Alekseevich, PhD, associate professor, KSTU named after I. Razzakov, 66 Mir avenue, 720044, Bishkek, Kyrgyzstan, e-mail: n_ragrin@mail.ru

The purpose of article is development of sustainable models considering the casual nature of wear processes of spiral drills. The author carried out the analysis a problem condition and defined that the existing sustainable models don't consider the random nature of wear processes. And don't allow calculating firmness of spiral drills at cutting speeds of the maximum firmness, and don't consider the hardness of material of preparations. In this research were obtained the sustainable models for calculation of average firmness of spiral drills at speeds of cutting at dependence of firmness on cutting speed, and considering the hardness of material of preparations and casual nature of wear processes.

Keywords: drill, firmness, cutting speed, supply, diameter, hardness.

Введение

Статистика показывает, что около 20% станочного парка машиностроительной отрасли промышленности составляют сверлильные станки, без учета выполнения операции сверления на станках типа токарных, револьверных, агрегатных и др. Сверление – единственный способ получения отверстий резанием, поэтому сверла являются одним из наиболее часто применяемых режущих инструментов. В стоимостном выражении потребность машиностроения только в стандартных спиральных сверлах превышает четверть от суммарной потребности в режущих инструментах. В условиях, когда одним из определяющих факторов, влияющих на экономические показатели производства деталей машин и механизмов, является стоимость режущего инструмента, вопросы обеспечения необходимой стойкости спиральных сверл особенно актуальны.

Целью настоящих исследований является разработка стойкостной модели, учитывающей случайный характер процессов изнашивания сверл.

Анализ состояния проблемы

Существующие стойкостные модели получены методом однофакторного эксперимента на интенсивных скоростях резания, больших с точки перегиба правой ветви графиков стойкостных зависимостей [1]. Стойкость в них представлена в детерминированной форме и не учитывает случайный характер процессов изнашивания. Эти стойкостные модели используются для расчета допустимых скоростей резания, максимально возможных при рекомендуемых глубине резания, подаче и заданном периоде стойкости [2]. Справочником технолога-машиностроителя [3] предложена зависимость для расчета допустимых скоростей резания при сверлении, имеющая вид:

$$V = \frac{9,8d^{0,4}}{T^{0,2}S^{0,5}}, \quad (1)$$

где V скорость резания, d диаметр сверла, S подача на оборот сверла, T период стойкости. Рассчитанная по зависимости (1) скорость резания для сверл диаметром 11 мм равна 24 м/мин при рекомендуемой подаче 0,25

мм/об, и периоде стойкости 45 мин. Однако анализ 135 операций многоинструментальной обработки отверстий быстрорежущими спиральными сверлами диаметром от 5 до 45 мм в заготовках из углеродистых конструкционных сталей на автоматических линиях, агрегатных станках и станках-автоматах показал, что в основном используется диапазон скоростей резания 9-16 м/мин [4]. Использование сравнительно невысоких скоростей резания обусловлено тем, что в автоматизированном массовом производстве время обработки сверлением не лимитирует производительность оборудования. В этих условиях более актуальной является задача обеспечения максимальной стойкости сверл с учетом случайного характера процессов их изнашивания. Рассчитанный по зависимости (1) период стойкости для сверл диаметром 11 мм на скорости резания 15 м/мин составил 7,68 ч. Это значение периода стойкости сравнимо со средними стойкостями, представленными в работе [5] по результатам производственных испытаний в условиях автоматизированного массового производства (табл. 1).

Таблица 1

Условия и результаты производственных испытаний сверл

Диаметр сверла d, мм	9,8	10,5	11,5	13,8	17,5	21,0	35,0
Скорость резания V, м/мин	13,8	12,6	12,6	12,6	13,8	13,2	11,4
Подача S, мм/об.	0,22	0,14	0,18	0,22	0,2	0,23	0,23
Твердость заготовок HB	200	300	200	200	190	300	300
Глубина сверления, мм	25,2	28,5	13,0	11,0	24,0	17,0	36,0
Средняя стойкость до отказа, ч	8,1	1,87	8,73	10,24	11,95	2,17	2,81
Дисперсия стойкости σ , ч	2,65	0,28	1,38	2,24	1,63	0,65	0,87
Коэффициент вариации	0,33	0,15	0,16	0,22	0,14	0,3	0,3

Как видно в табл. (1), у сверл диаметром 11,5 мм средняя стойкость равна 8,73 ч., что ненамного отличается от рассчитанного по зависимости (1) периода стойкости. Период стойкости, близкий к средней, для сверл, работавших в аналогичных производственных условиях, указывает на то, что половина сверл выйдет из строя по его окончании. Вместе с тем зависимость (1) не учитывает твердость обрабатываемого материала, которая существенно влияет на среднюю стойкость (табл. 1).

На основании анализа, изложенного выше, приняты следующие задачи исследования:

1. Разработка статистических зависимостей стойкости спиральных сверл от параметров режима резания и твердости обрабатываемого материала.
2. Разработка стойкостной модели, учитывающей случайный характер процессов изнашивания и твердость материала заготовок.

Методы и средства проведения исследований

Испытания проводились в лабораторных и производственных условиях. Испытывались спиральные сверла по ГОСТ 10903-77 из стали Р6М5, при обработке сквозных отверстий в заготовках из углеродистых конструкционных сталей марок 30, 35, 45. В лабораторных условиях испытывались сверла диаметрами 10,2 и 14,5 мм, в производственных - партии сверл в количестве 25 шт. одного диаметра в каждой партии, диаметры сверл в табл. 1. Сверла перед испытаниями контролировались на соответствие требованиям ГОСТ 10903-77, ГОСТ 4010-77, ГОСТ 2034-80. Контроль осуществлялся соответствующими методами контроля. В процессе испытаний периодически контролировался износ рабочих элементов сверл.

Результаты исследований

В работе [6] представлены результаты производственных испытаний спиральных сверл диаметрами от 10 до 35 мм, которые позволили получить зависимость средней стойкости от диаметра, в указанном диапазоне, в условиях автоматизированного массового производства, имеющую вид:

$$\bar{T} = 3,58d^{0,4}.$$

Для определения степени влияния твердости обрабатываемых заготовок на среднюю стойкость сверл использовались результаты производственных испытаний, представленные в табл. 1. На примере сверл близких диаметров 9,8 и 10,5 мм, которыми обрабатывались заготовки различной твердости: 200 HB и 300 HB соответственно. Получена зависимость, имеющая вид:

$$\bar{T} = 2,03 \cdot 10^9 \text{ HB}^{-3,65}$$

Для определения степени влияния подачи на стойкость сверл использовалась зависимость, представленная в работе [7] (рис.1).

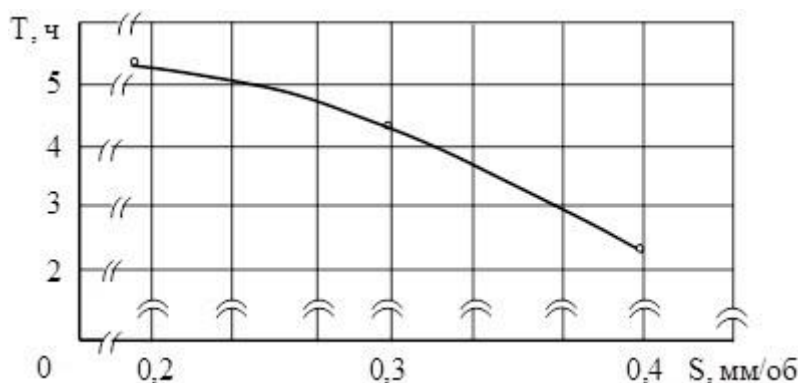


Рис. 1 - Зависимость стойкости сверл диаметром 14,5 мм от подачи на скорости резания 15 м/мин

Посредством аппроксимации кривой, представленной на рис. 1, в диапазоне подач от 0,18 до 0,3 мм/об получена следующая зависимость:

$$T = 2,72S^{-0,4}.$$

Тогда зависимости средней стойкости сверл от диаметра, твердости заготовок и подачи будут иметь вид:

$$\bar{T} = \frac{4,4 \cdot 10^8 d^{0,4}}{S^{0,4} HB^{3,65}} \quad (2)$$

В работе [8] в результате аппроксимации области максимума стойкостной зависимости получено значение скорости резания ее максимума 12,77 м/мин. Как видно в табл. 1, скорости резания, на которых проводились производственные испытания сверл, близки к скорости резания максимума. Поэтому зависимость (2) можно использовать для расчета средней максимальной стойкости спиральных сверл диаметрами 10-35 мм.

Выводы

1. Существующие стойкостные модели не учитывают случайный характер процессов изнашивания инструментов и не позволяют рассчитывать на скоростях резания максимальной стойкости сверл.
2. Существующие стойкостные модели не учитывают твердость материала заготовок.
3. Получена модель для расчета средней стойкости спиральных сверл на скоростях резания максимума стойкостной зависимости, учитывающая твердость материала заготовок и случайный характер процессов изнашивания.

Список литературы

1. Грановский Г.И., Грановский В.Г. Резание металлов. – М.: Высшая школа, 1985. – С. 143-144.
2. Бобров В.Ф. Основы теории резания металлов. – М.: Машиностроение, 1975. – С 315-316.
3. Справочник технолога-машиностроителя. Т. 2. / Под ред. А.М. Дальского, А.Г. Суслова, А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова. – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 2001. – С 176-279.
4. Рагрин Н.А. Применение теории корреляции для получения зависимостей наработки от условий обработки сверлением. // Машиностроение и инженерное образование. – М., 2013. – № 3. – С. 21-29
5. Рагрин Н.А. Обеспечение безотказности быстрорежущих спиральных сверл в условиях автоматизированного производства // Машиностроитель. – М., 2012. – № 7. – С. 37-39.
6. Рагрин Н. А. Влияние условий обработки на физическую модель износостойкости инструмента при сверлении. // Технология машиностроения. – М., 2013. № 12. – С.15-24.
7. Рагрин Н.А., Самсонов В.А. Особенности влияния подачи на стойкость и наработку спиральных сверл // Техника машиностроения – М., 2013. – № 4(88). – С. 18-19.
8. Рагрин Н. А. — Математическая модель стойкостной зависимости при сверлении. // Технология машиностроения. – 2014. № 1. – С.49-54.

References

1. Granovsky G. I., Granovsky V. G. Cutting of metals. – М.: The higher school, 1985. – page 143-144.
2. Bobrov V. F. Bases of the theory of cutting of metals. – М.: Mechanical engineering, 1975. – page 315-316.
3. Reference book of the technologist of Mechanical engineering. Т. 2. / Under the editorship of A.M.

Dalskiy, A.G. Suslov, A.G. Kosilova and R. K. Meshcheryakov. - 5th prod., reslave. and additional – M.: Mechanical engineering, 2001. - page 76-279.

4. Ragrin N. A. Application of the theory of correlation for obtaining dependences of an operating time on processing conditions drilling.//Mechanical engineering and engineering education. – M, 2013. № 3. - page 21-29

5. Ragrin N. A. The ensuring non-failure operation of fast-cutting spiral drills in the conditions of the automated production //the Mechanician. – M, 2012. - No. 7. - page 37-39.

6. Ragrin N. A. Influence of conditions of processing on physical model of wear resistance of the tool at drilling. //Technology of mechanical engineering. – M, 2013. No. 12. - page 15-24.

7. Ragrin N. A., Samsonov V.A. Features of influence of giving on firmness and an operating time of spiral drills//Equipment of mechanical engineering – M., 2013. - No. 4(88). - page 18-19.

8. Ragrin N. A. — Mathematical model of dependence on resistance at drilling.//Technology of Mechanical engineering. – 2014. No. 1. - page 49-54.

УДК 34.06.:656.826:656.136

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ДВИЖЕНИЯ АВТОПОЕЗДА НА РАЗЛИЧНЫХ УЧАСТКАХ МЕЖДУНАРОДНОЙ АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГИ “БИШКЕК-ОШ”

Омуров Жыргалбек Макешович, доцент, КГТУ им.И.Раззакова, Кыргызстан, 720044, г.Бишкек, пр.Мира, 66, e-mail: omurov66@mail.ru

Рассмотрены вопросы определения изменения основных параметров седельных автопоездов при движении в горных условиях, разработана методика исследования изменения основных параметров движения седельного автопоезда при различных радиусах поворота скорости движения при подъеме и спуске и ускорении. Получены результаты и критерии выбора критической скорости движения седельного автопоезда при движении в горных условиях с учетом и без учета влияния динамических воздействий на стенки цистерны автопоезда, определена средняя техническая скорость $V_{ср}$, км/час.

Ключевые слова: критическая скорость движения, среднетехническая скорость, наименьший радиус, продольный уклон, радиус поворота.

DEFINING THE PARAMETERS OF ARTICULATED TRACK IN DIFFERENT PARTS OF THE INTERNATIONAL HIGHWAY "BISHKEK-OSH"

Omurov Jyrgalbek Makeshovich, associate KSTU named after I.Razzakova, Kyrgyzstan, 720044, c.Bishkek, Mira 66, e-mail: omurov66@mail.ru

Purpose of the article is to determine the changes in the basic parameters of the semitrailer trucks when driving in mountainous conditions and found the method of research changes of basic parameters of movement of the articulated track at different radii of rotation speed of the lifting, and lowering and acceleration. The results and the criteria for selection of the critical speed of the articulated track, when driving in mountainous conditions with and without the influence of dynamic effects on the walls of the articulated track, and determine the average speed V_{av} technical, km / h.

Keywords: critical speed, srednetekhnicheskoe speed, the smallest radius, longitudinal slope, turning radius.

В настоящей статье рассмотрены вопросы определения изменения основных параметров седельных автопоездов при движении в горных условиях (на перевале «Тоо-Ашуу»). При эксплуатации седельных автопоездов, перевозящих жидкие грузы в горных условиях, особенно в критических ситуациях, таких как торможение или поворот, определение эффекта расплескивания жидкого груза и его влияние на динамическое поведение транспортного средства является актуальной задачей /1/.

На основе разработанной автором методики, исследованию подвергались изменения основных параметров движения седельного автопоезда при различных радиусах поворота, скорости подъема-спуска, ускорения/4/. Получены результаты и критерии выбора критической скорости движения седельного автопоезда при движении в горных условиях с учетом и без учета влияния динамических воздействий на стенки цистерны.

Исследование режима движения проводилось на горной международной автомобильной дороге Бишкек-Ош на перевале Тоо-Ашуу. Получены результаты и критерии выбора критической скорости движения с учетом и без учета влияния динамических воздействий на стенки цистерны автопоезда. При этом определена средняя техническая скорость $V_{ср}$, км/ч (табл.1).

Протяженность автомобильной дороги Бишкек-Ош- 674 км, из них 348 км - горные участки, 246 км равнинной местности. Перевал Тоо-Ашуу находится на высоте 3500 м над уровнем моря. 12 км перед вершиной перевала крутой подъем, связанный с преодолением 56 опасных серпантинных с малыми радиусами.

Ширина проезжей части дороги 8 м, а ширина обочины с обеих сторон по 2 м. Наименьший радиус в плане 40 м, а наибольший продольный уклон составляет 83 промилле или 8,3%.

Таблица 1.

Начало отсчета времени движения автомобиля (центр города Бишкек (0км))						
№	Время	Скорости движения	Вср.	L км	Характеристика дороги	КПП
1	8-15	35,40,35,40,40,40,	37,5	0-2,1	Равнина, ширина дороги 10,12м	3-передача
2	8-17	35,40,35,30,35,35,	35	2,2-7,8	Равнина, ширина дороги 10,12м	3-передача
Первая остановка: рынок Ошский базар (приобретение флешки объемом 32 гб)						
3	9-43 10-20	35,35,30,35,40,40,35,	35,7	7,8	Равнина, ширина дороги 8,10м	3-передача
Вторая остановка: район Киркомстром (начало Сокулукского района, заправочная станция, для заправки автомобиля)						
4	10-20 10-35	40,45,50,50,45,40,40,50,50,	45,7	24-25,	Равнина, ширина дороги 8,10м	3-передача
Третья остановка: центр села Сокулук						
5	10-35 10-49	50,55,55,60,60,50,	55	29,5	Равнина, ширина дороги 8,10м	4-передача
Четвертая остановка: согласование режима движения с водителем автоцистерны MAN						
6	10-49 10-54	45,45,50,50,45,50,	47,5	39,5	Равнина, ширина дороги 8,10м	3-передача
Начало села Беловодское						
7	10-54	45,40,45,45,40,40,	42,5	42,6	Равнина, ширина дороги 8,10м	3-передача
8	10-56	45,50,55,60,55,55,	52,5	43,7	Равнина, ширина дороги 8,10м	4-передача
Начало села Петровка						
9	11-03	50,60,55,60,60,55,	55	44,2	Равнина, ширина дороги 8,10м	4-передача
Джайылский район, село Полтавка						
10	11-08	55,60,60,55,55,	57,5	52,8	Равнина, ширина дороги 8,10м	4-передача
Поворот перед городом Кара-Балта в сторону села Сосновка.						
11	11-16	50,46,47,52,53,56,57,56,57	52,9	61,2	Равнина, ширина дороги 8,10м	4-передача
Четвертая остановка: в районе Китайской нефтебазы для снятия фотоавтоцистерны MAN						
12	11-29 11-39	50,42,43,47,46,48,51,53,49,	47,5	65,6	Равнина, ширина дороги 8,10м	4-передача
Село Боксо-Жол						
13	11-39	53,54,53,54,55,56,54,57,52,	54	73	Небольшой подъем, ширина дороги-6,7 м	4-передача
Село Сосновка						
14	11-47	51,52,51,50,47,49,51,48,47,	49,1	77,7	Небольшой подъем	4-передача
15	11-52	30,30,30,30,31,27,21,19,18,	24,3	81	Небольшой подъем Ширина проезжей части дороги-8 м Обочины 3 м+3 м(пост ГАИ Сосновка	3-передача
Пятая остановка: Таможенный осмотр и весовой контроль автоцистерны MAN, (Сосновский пост ГАИ и таможенный контроль)						
16	11-52 12-34	44,49,50,50	47,6	81,7	Равнина Ширина проезжей части дороги 8м, обочина по 3 метра с обеих сторон	3-передача
17	12-35	46,50,49,50,46	48,3	82	Небольшой спуск-5гр 5-6 град спуск	3-передача

18	12-37	30,27,23,21,20,19,20,21,22,	22,7	83,7	Небольшой подъем 12град	3-передача
19	12-43	46,45,44,41,40,33,32,33,37	39,2	85	Небольшой спуск 5-6град	3-передача
20	12-45	33,34,35,36,38,40,41,43,44	37,8	86	Равнина	3-передача
21	12-46	50,52,51,49,44,40,33,35,36	42,5	87	Равнина Ширина проезжей части 6-7м	3-передача
22	12-48	46,48,50,51,52,51,50,49,47	49,6	88	Небольшой спуск 6-7град обед	3-передача
Шестая остановка: кафе «Кара-Балта», 89км трассы (обеденный перерыв)						
23	12-49 13-44	27,31,34,37,39,40,41,42,43	37,9	89	ровная	3-передача
Продолжение пути						
24	13-45	43,44,43,42,45,48,47,45	44,2	90	подъем 5-6 град	3-передача
25	13-47	46,45,47,49,50,51,50,52,58	50,1	91	Небольшой подъем 5-6град	3-передача
26	13-50	45,46,49,50,53,52,54,52,51	47,2	93	ровная	4-передача
27	13-51	40,42,43,46,47,48,47,46,47	46	94	Небольшой подъем 5град	3-передача
28	13-52	60,58,59,55,54,56,57,56,53	56,9	95	ровная	4-передача
29	13-54	30,38,37,34,39,45,43,50,49	42,7	96	Подъем 2-4 град Крутой поворот	2-передача
30	13-55	45,48,49,51,52,53,52	50	97,5	ровная Прямая дорога	3-передача
31	13-57	54,53,51,54,53,50,49,44,43	48,1	98	ровная	3-передача
32	13-59	38,37,38,42,35,37,39,37,35	37,5	99	ровная Остановка ГАИ+мешают животные (бараны)	3-передача
33	14-00	39,40,38,35,37,39,40,42,44	41,5	100	Подъем 5-7град	3-передача
34	14-01	49,50,49,48,47,43,46,49,50	52	101	Подъем 5-7град Затяжной подъем	3-передача
35	14-02	48,49,42,41,36,34,35,33,32	38,5	102	Подъем 5-7град Затяжной подъем	3-передача
36	14-04	49,52,53,54,55,56,57,58,60	52,7	103	Подъем 3-4град Затяжной ровный подъем	4-передача
37	14-05	64,56,57,58,59,60,62,61,59	57,1	104	Подъем 3-4град Затяжной подъем	3-передача
38	14-06	59,58,57,58,57,56	57,5	105	Подъем 3-4град Затяжной подъем	3-передача
39	14-07	56,55,54,53,49,48,46,40,38	43,6	106	Подъем 10-12град Затяжной подъем	3-передача
40	14-09	28,29,30,31,28,27,26,25,26	29,4	107,3	Подъем 12град Затяжной подъем	3-передача
41	14-10	27,29,32,29,35,36,37,43,41	35,8	108	Подъем 3-4град Затяжной подъем	3-передача
42	14-12	35,36,38,37,36,43,46,47,43	39,1	109	Подъем 3-4град Затяжной подъем	3-передача
43	14-13	36,37,43,39,38,39,41,40,43	39,9	110	подъем Затяжной подъем	3-передача
44	14-15	39,37,38,39,40,39,37,43,50	43,5	111	Подъем 10-11град Затяжной подъем, поворот налево	
45	14-16	47,48,49,50,49,50,51,50,49	47,3	112	Подъем 5-8град Затяжной подъем	3-передача
46	14-17	37,38,36,35,35	36,2	113	Подъем 5-8град Затяжной подъем	3-передача

47	14-18	39,40,41,42,41,42,43,44,43	37,9	114	Подъем 5-8 град	2-передача
48	14-21	20,15,17,14,16,14,13,12,08	14	115	Подъем 12 град Затяжной подъем	1-передача
49	14-24	30,31,32,31,30,29,28,27,28	27,9	116	Подъем 10-12град Затяжной подъем	2-передача
50	14-27	23,25,23,19,10,07,10,09,10	15,6	117	Подъем 12град Начало серпантина	1-2- передача
51	14-30	22,21,18,17,20,19,23,24,25	22,7	118	Подъем 12град Затяжной подъем	2-передача
52	14-32	18,15,14,15,16,12,13,15,16	20,3	119	Подъем 12град Затяжной подъем	2-передача
53	14-35	25,27,28,26,25,24,27,22,20	22,7	120	Подъем 12 град	1-2- передача
54	14-38	19,18,17,16,20,19,18,19,20	19,4	121	Подъем 12град	2-передача
55	14-43	15,16,18,19,20,22,27,32,33	24,5	123	Подъем 12град Затяжной подъем 1-галерея, 2-галерея	2-передача
56	14-46	27,26,23,27,25,24,23,22,25	24,1	124	Подъем 12град 3-галерея, 4-галерея	2-передача
57	14-48	20,21,22,24,25,23,21,22,24	23,5	125	Подъем 12град Затяжной подъем	2-передача
58	14-51	28,27,26,27,26,25,23,22,21	43	126	Подъем 12град Затяжной подъем	2-передача
59	14-53	24,25,27,23,26,27,28,27,26	24,5	127	Подъем 12град Затяжной подъем	2-передача
60	14-55	24,25,27,23,24,27,28,27,26	25,8	128	Подъем 12град Затяжной подъем	2-передача
61	14-58	27,23,22,24,25,27,26,27,26	24,5	129	Подъем 12град Затяжной подъем	2-передача
Ожидание пропуска для въезда в тоннель						
62	14-58 15-48	Въезд в тоннель		129,6	Продолжительность тоннеля 2км, 600м	
63	15-34	20,25,30,20,15	18	132	Подъем 12град, время выезда из тоннеля и начало спуска, 1- галерея	2-передача
64	15-37	17,16,17,18,17,18,16,17,18	17,5	133	Подъем 12град,	2-передача
65	15-41	18,17,15,12,13,15,17	15,2	134	подъем 12град, резкий поворот налево	2-передача
66	15-44	17,16,18,17,18,19,18,17,13	16,4	135	Подъем более 12 град, резкий поворот направо	2-передача
67	15-48	18,17,19,18,17,18,19,16,17	17,8	136	подъем 12град, резкий поворот налево	2-передача
68	15-51	16,17,18,17,16,18,17,16,19	17,9	137	Подъем 5,7град, поворот налево	2-передача
69	15-54	14,15,16,34,40,38,39,32,33	32,8	138	Подъем 9-10град, поворот налево и направо	3-передача
70	15-56	24,25,26,27,25,27,29,31,27	25,6	139	Подъем 8-9град, поворот налево	3-передача
71	15-58	25,24,26,27,26,27,26,27,26	25,5	140	Подъем 6-7град, поворот направо	3-передача
72	16-01	25,26,24,25,23,24,22,23,24	24,2	141	Подъем 5-6град, поворот налево	3-передача
73	16-03	24,25,24,26,24,24,25,24,23	24,4	142	Поворот налево	3-передача
74	16-05	25,24,26,25	25	143	Затяжная равнинная дорога	3-передача

75	16-08	28,26,24,22,23,24,25,23,21	23,7	144	Подъем 2-4град, прямая дорога	3-передача
76	16-10	60,65,58,52,53,50,48,47,48	50	145	Поворот налево, равнинная дорога	5-передача
77	16-12	60,61,62,63,61,62,63,65,67	62,1	148	Затяжная равнинная дорога	5-передача
78	16-16	56,54,53,52,55	54	149	Незаметный уклон	5-передача
79	16-17	54,53,52,54,55,56,55,56,54	51	150	Ровная, незаметный уклон, дорога плохая, частично разрушена	4-передача
80	16-18	51,53,54,53,54	53	153	Часть дороги разрушена	4-передача
81	16-19	54,52,36,38,41,44,45,45,44	45	154	Часть дороги разрушена, небольшой спуск	4-передача

В данной статье рассматривалось движение автопоезда до 140 км до точки № 71 (см. табл. 1).

В результате теоретических и экспериментальных исследований была установлена зависимость между средней скоростью движения транспортного потока и критической скоростью устойчивого движения (рис. 1).

Данная зависимость определялась на участках с одинаковыми условиями движения, что целесообразно для режима движения седельного автопоезда.

Критическая скорость устойчивого движения седельного автопоезда определялась с помощью математических моделей /2/.

Таким образом, с помощью предлагаемых методик можно определить критическую скорость, превышение которой не обеспечивает устойчивое, безопасное движение автопоезда в различных дорожных условиях /3/ с учетом и без учета влияния динамических воздействий на стенки цистерны.

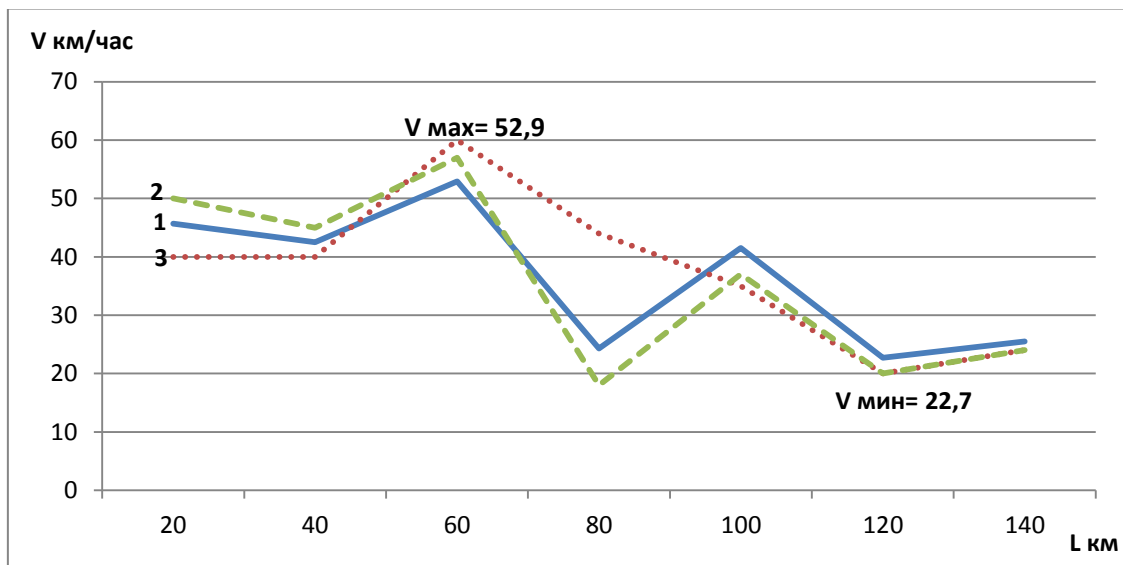


Рис. 1. Графические изображения скорости движения автопоезда при подъеме

- 1 – экспериментальные данные наполненной на 100%; цистерны.
- 2 – критическая скорость без груза;
- 3 – критическая скорость наполненной на 95%. цистерны.

Выводы: С помощью предлагаемых методик определена критическая скорость, превышение которой не обеспечивает устойчивое, безопасное движение автопоезда в различных дорожных условиях с учетом и без учета влияния динамических воздействий на стенки цистерны автопоезда.

Список литературы

1. Антонов Д.А. Теория устойчивости движения многоосных автомобилей.-М.: Машиностроение , 1978 г.
2. Литвинов А.С. Теория эксплуатационных свойств: Учебник для вузов специальности «Автомобили и автомобильное хозяйство»–М., Машиностроение, 1989 г.
3. Бабков В.Ф. Дорожные условия и безопасность движения. - Москва: Транспорт, 1982 г.

4. Молдалиев Э.Д. Омуров Ж.М. Экспериментальное исследование процесса движения седельных автопоездов при перевозке жидких грузов в горных условиях. Известия КГТУ им.И.Раззакова, №32, часть I.

References

1. Antonov D.A. The theory of stability of motion of multi-axle vehicles. М.: Mechanical Engineering, 1978
2. AS Litvinov, Theory of operation properties: Textbook for Universities for departments of "Automobiles and automobile industry" -М., Mechanical Engineering, 1989
3. Babkov V.F. Road conditions and traffic safety. - Moscow: Transport, 1982
4. Moldaliev E.D. Omurov J.M. Experimental study of the movement of truck trucks during transportation of liquid cargo to the mountains. News of KSTU named after I.Razzakova. Izvestiya №32 Part I.

УДК 625.7: 519.6

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДА МОДЕЛИРОВАНИЯ ДОРОЖНОЙ ПОВЕРХНОСТИ, ОСНОВАННОГО НА ДАННЫХ ЛАЗЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ И НОВОМ ТИПЕ ПРИБЛИЖЕНИЯ МУЛЬТИВЕЙВЛЕТАМИ ЭРМИТА¹

Кудуев Алтынбек Жалилбекович, ст. преподаватель, ОшГУ, Кыргызстан, 723500, г.Ош, ул. Ленина 331, e-mail: gold_oshsu@rambler.ru

Работа представляет новую систему мультивейвлетов Эрмита пятой степени, удовлетворяющих ортогональным условиям ко всем полиномам до той же самой степени. Рассматриваются построение и обращение блока фильтров согласно задаче обработки регулярных сигналов и трехмерных областей. Описаны проблемы моделирования поверхностей автомобильных дорог, используя данные лазерного сканирования. Предлагается алгоритм, основанный на вейвлет-преобразовании Эрмита, чтобы обнаружить трещины и повреждения дорожного полотна. Кроме того, предложен фильтр для вычисления производных, необходимых в преобразовании. Также представлены результаты числовых экспериментов и наложения спроектированной дороги на обработанные лазерные измерения. Числа и данные, следующие из экспериментов, показывают, что вейвлет-преобразование Эрмита - мощный инструмент в обнаружении трещин и повреждений дорожного полотна.

Ключевые слова: лазерное сканирование, обработка данных, вейвлеты, моделирование автомобильных дорог

A STUDY ON METHOD OF MODELING OF ROAD PAVEMENTS BASED ON LASER SCANNED DATA AND A NEW TYPE OF APPROXIMATING HERMITE WAVELETS

Kuduev Altynbek Zh., Senior Lecturer, Kyrgyzstan, 723500, c.Osh, OshSU, e-mail: gold_oshsu@rambler.ru

Paper presents a new system of Hermite basic spline-wavelets of fifth degree, which satisfy orthogonal conditions to all polynomials up to the same degree. Construction and inverting of the block of filters are considered according to the task of processing regular signals and three-dimensional fields. The problems of modeling automobile road pavements using, scanned by laser data are described. Algorithm, based on Hermite wavelet-transformation, to find cracks and damages of a roadbed is offered. Besides, the filter for calculation of the derivatives, necessary in transformation, is offered. Results of numerical experiments and imposing of the designed road on the processed laser measurements are also presented. The digits and data, following from experiments show that Hermite wavelet-transformation, is the powerful tool in detection of cracks and damages of a roadbed.

Keywords: scanned by laser, data processing, wavelets, modeling automobile roads

Лазерное сканирование - новое направление в 3D измерениях высокой точности [9]. Относительно мобильного сканирования, области применения включают геопозиционирование автомобиля и железных дорог, мостов, переходов, городских улиц, береговой линии и т.д. (Рис. 1).

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке по проекту РФФИ 15-31-50383-мол_нр



Рис. 1. Мобильный лазерный сканер

Главное преимущество лазерного сканирования - возможность работать на объектах с интенсивным движением, на производственных объектах, не останавливая производства и в труднодоступных местах, а также на объектах, имеющих сложную конфигурацию [13]. Декартовы координаты данных GPS от лазерного устройства сканирования представлены в форме множества («облака») точек (Рис. 2), в которой нет никакого подразделения на отдельные сканы.

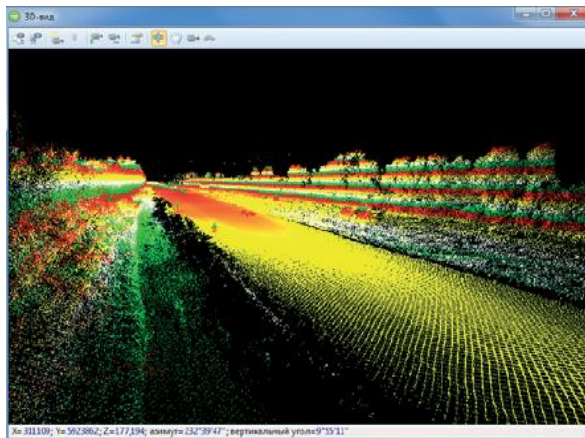


Рис. 2. 3D вид облака точек сканирования

Поскольку принцип мобильной системы сканирования позволяет работать на дороге без транспортного перекрытия, облако точек содержит придорожный пейзаж и помехи на проезжей части (отражение от людей, которые находятся на объекте, техники, растительности и т.д.) (Рис. 3).

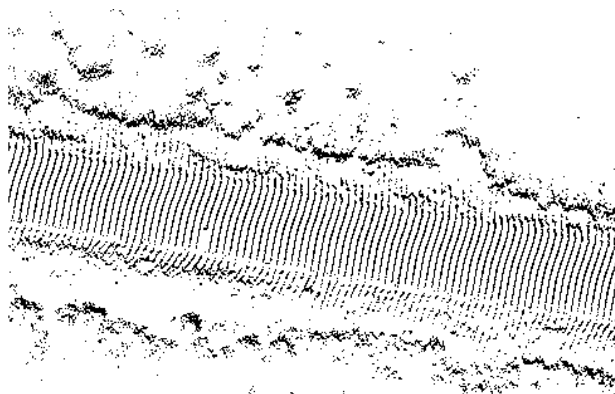


Рис. 3. Плановый вид облака точек

Главные цели предварительной обработки данных лазерного сканирования - удаление обочины и окружающего пейзажа, заполнение пропусков в сканированных данных, созданных автомобилями, проходящими мимо на проезжей части, и выделение плановой осевой линии дороги (Рис. 4) [6].

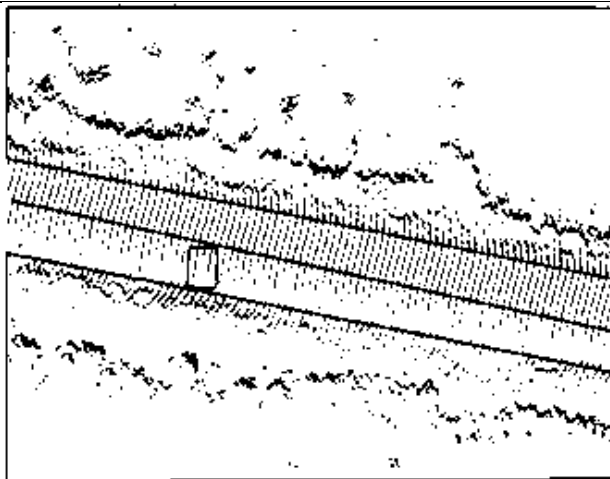


Рис. 4. Выпрямление лазерных точек

С математической точки зрения выделение оси дороги позволяет преобразовать изгибы шоссе в некоторую прямоугольную область, для которой возможно применить стандартные методы двумерной интерполяции сплайнами [2] на прямоугольной сетке, сохраняя структурные линии дороги (края, бровки), в отличие от популярного метода восстановления поверхности шоссе триангуляцией хаотических точек [10]. Очень важно то, что при таком подходе гарантируется высокая точность обнаружения трещин и повреждений дорожного полотна в местах, требующих ремонта, а также значительно облегчается построение и применение вейвлет преобразования сплайн интерполяции для сжатия сканированной информации в местах дороги, не требующих ремонта [1].

1. ЭРМИТОВЫ СПЛАЙН-ВЕЙВЛЕТЫ И ОБРАБОТКА СИГНАЛОВ

Кубические сплайны гладкости C^2 стали популярными для дорожных инженеров как соответствующий способ математического представления пикетного метода трассирования дорог. Что касается сплайнов Эрмита, они позволяют в явной форме, используя значения коэффициентов сплайна, удовлетворять геометрические ограничения на контрольные точки (пикеты автомобильной трассы), и на тангенсы трассы (направления линии касательной у входа на мост или у примыкания) и радиусы переходных кривых (значения кривизны на скоростных и тормозных участках трассы) [3]. Недостатки биортогональных вейвлетов Эрмита состоят в рекурсивном типе двойственных функций [12]. Таким образом, чтобы использовать их в вариационном методе трассирования автомобильных дорог в качестве конечных элементов, мы должны возвратиться к самой густой сетке, и затем интерполировать фильтрованные значения. Этих недостатков лишены полуортогональные сплайн-вейвлеты Эрмита вместо отсутствия взаимно ортогональных первичных функций [9]. Однако, в этом случае с вычислительной точки зрения локальных формул усреднения не существует, и вычисление сводится до:

- а) усечения бесконечного ряда для коэффициентов сплайн-вейвлетов, что сопровождается ошибками усечения;
- б) или численного вычисления интегрированных коэффициентов Фурье, что сопровождается ошибками интегрирования;
- с) или обращения систем уравнений, что осложняется разреженной структурой матрицы обработки.

1.1 . Построение новой системы эрмитовых сплайн-вейвлетов

Определим пространство сплайнов степени 5 гладкости C^2 на отрезке $[a, b]$ с равномерной сеткой узлов $\Delta^L : u_i = a + (b - a)i / 2^L, i = 0, 1, \dots, 2^L, L \geq 0$, и базисными функциями $N_{i,\kappa}^L(v) = \varphi_\kappa(v - i), \kappa = 0, 1, 2 \forall i$, где $v = 2^L(u - a)/(b - a) + 1$, с центрами в целых числах, порожденными сжатиями и сдвигами трех функций вида [2]:

$$\begin{bmatrix} \varphi_0(t) \\ \varphi_1(t) \\ \varphi_2(t) \end{bmatrix} = \begin{cases} \begin{bmatrix} t^3(6t^2 - 15t + 10) \\ -t^3(3t^2 - 7t + 4) \\ \frac{t^3}{2}(t^2 - 2t + 1) \end{bmatrix}, & 0 \leq t \leq 1; \\ \begin{bmatrix} (2-t)^3(6t^2 - 9t + 4) \\ (2-t)^3(3t^2 - 5t + 2) \\ \frac{(2-t)^3}{2}(t^2 - 2t + 1) \end{bmatrix}, & 1 \leq t \leq 2 \end{cases},$$

$$\varphi_k(t) = 0, \quad k = 0, 1, 2, \quad t \notin [0, 2].$$

Для дальнейшего удобно записать базисные сплайн-функции в виде единой матрицы-строки, $\varphi^L = [N_{0,0}^L, N_{0,1}^L, N_{0,2}^L, N_{1,0}^L, N_{1,1}^L, \dots, N_{2L,2}^L]$, и упорядочить коэффициенты сплайна в виде вектора,

$C^L = [C_0^{L,0}, C_0^{L,1}, C_0^{L,2}, C_1^{L,0}, C_1^{L,1}, \dots, C_{2L}^{L,2}]^T$. На любой сетке $\Delta^L, L \geq 0$, интерполяционный

эрмитов сплайн 5-й степени может быть представлен как $S^L(u) = \varphi^L(u)C^L$, где коэффициенты

$C_i^{L,k}, k = 0, 1, 2$, являются значениями и, соответственно, первыми и вторыми производными аппроксимируемой функции в узлах. Суть вейвлет-преобразования состоит в том, что оно позволяет иерархически разложить заданную функцию на серию все более грубых приближенных представлений и локальных уточняющих подробностей. При этом «более грубый» уровень представления функции на сетке Δ^{L-1} получается из «более подробного» уровня представления функции на сетке Δ^L посредством прореживания (удаления каждого второго, как правило, отсчета). Здесь необходимо лишь, чтобы каждая базисная функция в φ^{L-1} могла быть выражена в виде линейной комбинации базисных функций $\varphi^L: \varphi^{L-1} = \varphi^L P^L$. Здесь блоки матрицы P^L составлены из коэффициентов двухмасштабного соотношения для эрмитовых сплайнов 5-ой степени [12]:

$$\begin{bmatrix} \varphi_0(t) \\ \varphi_1(t) \\ \varphi_2(t) \end{bmatrix} = \sum_{k=0}^2 H_k \begin{bmatrix} \varphi_0(2t-k) \\ \varphi_1(2t-k) \\ \varphi_2(2t-k) \end{bmatrix}, \quad (1)$$

где

$$H_0 = \begin{bmatrix} \frac{1}{2} & \frac{15}{32} & 0 \\ -\frac{5}{32} & -\frac{7}{32} & \frac{3}{8} \\ \frac{1}{64} & \frac{1}{64} & -\frac{1}{16} \end{bmatrix}, H_1 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{2} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{4} \end{bmatrix}, H_2 = \begin{bmatrix} \frac{1}{2} & -\frac{15}{32} & 0 \\ \frac{5}{32} & \frac{7}{32} & -\frac{3}{8} \\ \frac{1}{64} & -\frac{1}{64} & \frac{1}{16} \end{bmatrix}.$$

Следующим этапом является определение пространства уточняющих подробностей. В отличие от классического определения вейвлетов, будем искать вейвлеты $M_{i,k}^L(x), k = 0, 1, 2 \quad \forall i$, как линейные комбинации базисных эрмитовых сплайнов на сетке Δ^{L+1} , вида

$$M_{i,k}^L(x) = \sum_{l=0}^2 \sum_{j=0}^2 \alpha_{ij}^l \varphi_l(2t-j), \quad t = (x - x_{2i}), \quad -1 \leq t \leq 3,$$

удовлетворяющие условиям ортогональности многочленам 6-го порядка, то есть

$$\int_a^b M_{i,k}^L(x) x^m dx = 0, \quad k = 0, 1, 2 \quad \forall i (m = 0, 1, \dots, 5) \quad (2)$$

ТЕОРЕМА. Пусть $M_{1,0}^0(x) = M_0(v), M_{1,1}^0(x) = M_1(v), M_{1,2}^0(x) = M_2(v)$,

$$\begin{aligned}
M_{1,0}^L(x) &= w_0(v), M_{1,1}^L(x) = w_1(v), M_{1,2}^L(x) = w_2(v), \\
M_{2^L,0}^L(x) &= w_0(2^L - v), M_{2^L,1}^L(x) = -w_1(2^L - v), M_{2^L,2}^L(x) = w_2(2^L - v), L \geq 1, \\
M_{i,0}^L(x) &= \psi_0(v + 3/2 - i), M_{i,1}^L(x) = \psi_1(v + 3/2 - i), M_{i,2}^L(x) = \psi_2(v + 3/2 - i), \\
i &= 2, 3, \dots, 2^L - 1, L \geq 2,
\end{aligned}$$

где $v = 2^L(x - a)/(b - a)$, u

$$\begin{aligned}
M_0(t) &= \phi_0(2t) - 4\phi_0(2t+1) - 4\phi_0(2t-1) + 84(\phi_1(2t+1) - \phi_1(2t-1)) \\
&\quad - 828(\phi_2(2t+1) + \phi_2(2t-1)), \\
M_1(t) &= 35\phi_1(2t) - 200(\phi_1(2t+1) + \phi_1(2t-1)) + 8\phi_0(2t+1) - 8\phi_0(2t-1) \\
&\quad + 2280(\phi_2(2t+1) + \phi_2(2t-1)), \\
M_2(t) &= 35\phi_2(2t) - 251(\phi_2(2t+1) + \phi_2(2t-1)) - \phi_0(2t+1) - \phi_0(2t-1) \\
&\quad + 23(\phi_1(2t+1) - \phi_1(2t-1)), \\
w_0(t) &= 1296\phi_0(2t+1) + 7990\phi_0(2t) - 538\phi_0(2t-1) - 41545\phi_1(2t) \\
&\quad - 41140\phi_1(2t-1) - 924040\phi_2(2t) + 438040\phi_2(2t-1), \\
w_1(t) &= 432\phi_1(2t+1) + 283\phi_0(2t) - 12\phi_0(2t-1) - 1161\phi_1(2t) \\
&\quad - 1288\phi_1(2t-1) - 32372\phi_2(2t) + 13520\phi_2(2t-1), \\
w_2(t) &= 2160\phi_2(2t+1) + 77\phi_0(2t) - 2\phi_0(2t-1) - 245\phi_1(2t) \\
&\quad - 320\phi_1(2t-1) - 8900\phi_2(2t) + 3320\phi_2(2t-1), \\
\psi_0(t) &= 164\phi_0(2t) + 28\phi_0(2t+1) + 28\phi_0(2t-1) + 115\phi_1(2t+1) \\
&\quad - 115\phi_1(2t-1) - 13200\phi_2(2t), \\
\psi_1(t) &= 80\phi_1(2t) - \phi_0(2t+1) + \phi_0(2t-1) + 37\phi_1(2t+1) + 37\phi_1(2t-1) \\
&\quad + 412\phi_2(2t+1) - 412\phi_2(2t-1), \\
\psi_2(t) &= 464\phi_2(2t) - 4\phi_0(2t) - 11\phi_1(2t+1) + 11\phi_1(2t-1) \\
&\quad - 112\phi_2(2t+1) - 112\phi_2(2t-1).
\end{aligned} \tag{3}$$

Система функций $M_{i,k}^L(x), k = 0, 1, \dots, r, i = 1, 2, \dots, 2^L$, удовлетворяет условиям (2) с носителями не более чем из двух шагов сетки и образует базис.

ДОКАЗАТЕЛЬСТВО теоремы следует из [7].

2. ПОСТРОЕНИЕ И ОБРАЩЕНИЕ БЛОКА ФИЛЬТРОВ

Аналогично, запишем базисные вейвлет-функции на уровне разрешения L в виде матрицы-строки, $\Psi^L = [M_{1,0}^L, M_{1,1}^L, M_{1,2}^L, \dots, M_{2^L,2}^L]$. Соответствующие коэффициенты вейвлет-разложения на уровне разрешения L будем собирать в вектор, $D^L = [D_1^{L,0}, D_1^{L,1}, D_1^{L,2}, \dots, D_{2^L}^{L,2}]^T$. Тогда с использованием обозначений для блочных матриц процесс получения C^L из C^{L-1} и D^{L-1} может быть записан как [5]:

$$C^L = [P^L | Q^L] \begin{bmatrix} C^{L-1} \\ D^{L-1} \end{bmatrix}. \quad (4)$$

Здесь блоки матрицы P^L составлены из коэффициентов масштабных соотношений для эрмитовых сплайнов 5-ей степени (1), тогда как блоки матрицы Q^L – из коэффициентов соотношений (3). Обратный процесс разбиения коэффициентов C^L на более грубую версию C^{L-1} и уточняющие коэффициенты D^{L-1} состоит в решении системы линейных уравнений (4). Разрешимость данной системы гарантирована линейной независимостью базисных функций. При этом для ускорения вычислений матрицу $[P^L | Q^L]$ можно сделать ленточной, изменив порядок неизвестных так, чтобы столбцы матриц P^L и Q^L перемежались (см. [5]).

2.1. Пример

Положим

$$\psi_1^0(x) = 0.922M_{1,0}^0(x), \psi_2^0(x) = 13.125M_{1,1}^0(x), \psi_3^0(x) = 147.537M_{1,2}^0(x),$$

$$\psi_{i-2}^L(x) = 0.236 \cdot 2^{L/2} M_{i/3,0}^L(x), \psi_{i-1}^L(x) = 2.476 \cdot 2^{L/2} M_{i/3,1}^L(x),$$

$$\psi_i^L(x) = 49.321 \cdot 2^{L/2} M_{i/3,2}^L(x), i = 3, 3 \cdot 2^L, L \geq 1;$$

$$\psi_{i-2}^L(x) = 2.226 \cdot 2^{L/2} M_{i/3,0}^L(x), \psi_{i-1}^L(x) = 10.999 \cdot 2^{L/2} M_{i/3,1}^L(x),$$

$$\psi_i^L(x) = 233.334 \cdot 2^{L/2} M_{i/3,2}^L(x), i = 6, 9, \dots, 3 \cdot 2^L - 3, L \geq 2.$$

Заметим, что $\psi_i^L(x)$ нормированы так, что $\|\psi_i^L(x)\|_{L_2(0,1)} = 1$ для $i = 1, 2, \dots, 3 \cdot 2^L$.

Для $x \in [0, 1]$, полагая на верхнем уровне разрешения $L = 5$, находим длину шага сетки $h = 2^{-5} = 1/32$. Рассмотрим в качестве тестовой функции пример Хартена [8]

$$f(x) = \begin{cases} \frac{1}{2} \sin(3\pi x), & x \leq \frac{1}{3}, \\ |\sin(4\pi x)|, & \frac{1}{3} < x \leq \frac{2}{3}, \\ -\frac{1}{2} \sin(3\pi x), & x > \frac{2}{3}. \end{cases}$$

Если аннулировать все вейвлет-коэффициенты, то получится некоторый сглаживающий многочлен 5-й степени $S^0(x)$, весьма незначительно отличающийся от МНК-решения (см. Рис. 5).

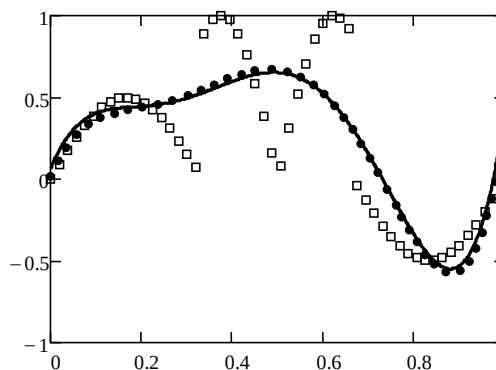


Рис. 5. Сравнение результатов вейвлет-синтеза значений сглаживающего многочлена 5-ой степени (сплошная линия) и МНК-многочлена 5-ой степени (точки), построенного по значениям функции Хартена (квадратики)

Результаты синтеза коэффициентов эрмитового сплайна 5-ой степени $S^5(x)$ при условии обнуления вейвлет-коэффициентов, по модулю меньших величины $0.61 \cdot h^{L/2}$, представлены на Рис. 6. Здесь сплошной линией обозначаются исходная функция и ее производная. При этом достигается коэффициент сжатия $K = 99/45 \approx 2$.

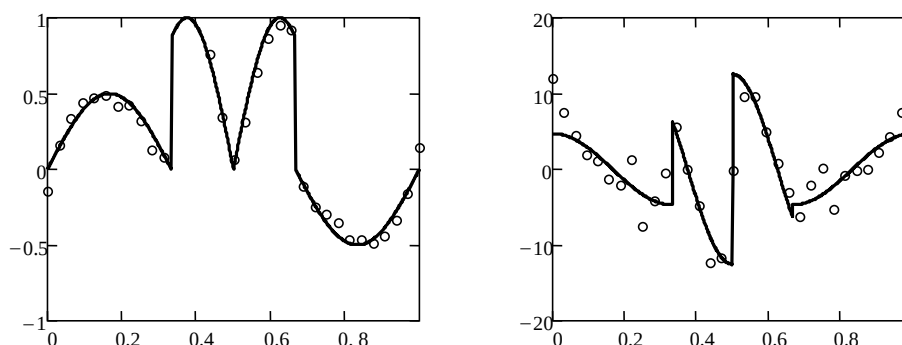


Рис. 6. Сравнение результатов синтеза узловых значений (кружочки) сплайна 5-ой степени (слева) и первой производной (справа) для случая функции Хартена

3. МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Мы выбрали для применения тензорный метод разложения [4], поскольку у множества сканов шоссе есть преобладающая длина в одном из направлений. Как обычно, мы запишем основные функции сплайна в форме двух матричных строк для направлений U и V соответственно,

$$\varphi_u^{L_1} = [N_{0,0}^{L_1}, N_{0,1}^{L_1}, N_{0,2}^{L_1}, N_{1,0}^{L_1}, N_{1,1}^{L_1}, \dots, N_{2^{L_1},2}^{L_1}]$$

и

$$\varphi_v^{L_2} = [N_{0,0}^{L_2}, N_{0,1}^{L_2}, N_{0,2}^{L_2}, N_{1,0}^{L_2}, N_{1,1}^{L_2}, \dots, N_{2^{L_2},2}^{L_2}]$$

Тогда одномерное вейвлет-преобразование может быть записано как:

$$C^{L_1} = P^{L_1} \cdot C^{L_1-1} + Q^{L_1} \cdot D^{L_1-1} \text{ для переменной } u \text{ и } C^{L_2} = C^{L_2-1} \cdot (P^{L_2})^T + D^{L_2-1} \cdot (Q^{L_2})^T$$

для переменной V , где вектора D^{L_1-1} и D^{L_2-1} – коэффициенты одномерного вейвлет-разложения. Пусть коэффициенты $C_{i,j}^{k_1,k_2}$ двумерного сплайна собраны в матрицу

$$C^{L_1,L_2} = \begin{bmatrix} C_{0,0}^{0,0}, & C_{0,0}^{0,1}, & C_{0,0}^{0,2}, & \dots, & C_{0,2^{L_2}}^{0,2} \\ C_{0,0}^{1,0}, & C_{0,0}^{1,1}, & C_{0,0}^{1,2}, & \dots, & C_{0,2^{L_2}}^{1,2} \\ C_{0,0}^{2,0}, & C_{0,0}^{2,1}, & C_{0,0}^{2,2}, & \dots, & C_{0,2^{L_2}}^{2,2} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ C_{2^{L_1},0}^{1,0}, & C_{2^{L_1},0}^{1,1}, & C_{2^{L_1},0}^{1,2}, & \dots, & C_{2^{L_1},2^{L_2}}^{1,2} \\ C_{2^{L_1},0}^{2,0}, & C_{2^{L_1},0}^{2,1}, & C_{2^{L_1},0}^{2,2}, & \dots, & C_{2^{L_1},2^{L_2}}^{2,2} \end{bmatrix}$$

При введенных обозначениях формула для аппроксимации поверхности запишется как:

$$S(u,v) = \varphi_u^{L_1} \cdot C^{L_1,L_2} \cdot (\varphi_v^{L_2})^T. \text{ Тогда для двумерного случая имеет место формула:}$$

$$C^{L_1, L_2} = P^{L_1} \cdot \left[C^{L_1-1, L_2-1} \cdot (P^{L_2})^T + E^{L_1-1, L_2-1} \cdot (Q^{L_2})^T \right] + \\ + Q^{L_1} \cdot \left[F^{L_1-1, L_2-1} \cdot (P^{L_2})^T + D^{L_1-1, L_2-1} \cdot (Q^{L_2})^T \right],$$

где $C^{L_1-1, L_2-1}, E^{L_1-1, L_2-1}, F^{L_1-1, L_2-1}, D^{L_1-1, L_2-1}$ – матрицы коэффициентов двумерного вейвлет-разложения. Последняя формула показывает, что двумерное вейвлет-разложение сводится к одномерному вейвлет-разложению для каждого столбца исходной матрицы данных C^{L_1, L_2} и получению при этом двух матриц промежуточных данных. Затем строки этих промежуточных матриц также подвергаются одномерному вейвлет-преобразованию – при этом получаем четыре итоговых матрицы и т.д.

Заметим, что, используя вейвлет-преобразования, основанные на сплайнах Эрмита, необходимо вычислить приближенные значений производных в узлах самой густой сетки с подходящей точностью (например, через ENO-схему [8]). С точки зрения сжатия количество коэффициентов вейвлета, данных таким образом по сравнению с методами, основанными на B -сплайн-вейвлет-преобразованиях, кратно возрастает. Однако, в результате принимая во внимание пренебрежение менее значимых коэффициентов вейвлета, этот подход может все еще быть конкурентоспособным.

Вышеизложенные алгоритмы были основанием для пакета программ для обработки данных лазерного сканирования. Результаты визуализации обработанных данных даны в Рис. 7-9.

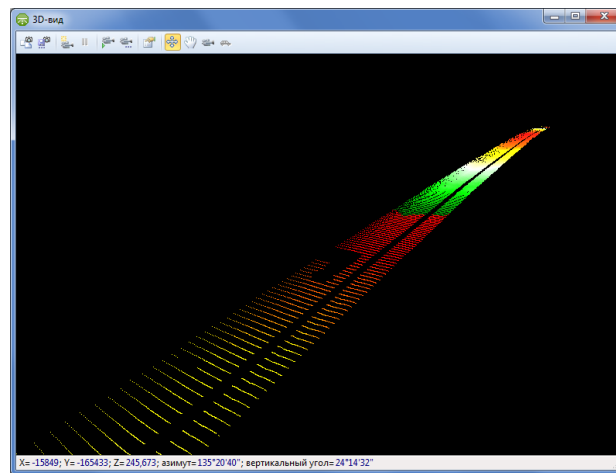


Рис. 7. Лазерные данные после предварительной фильтрации

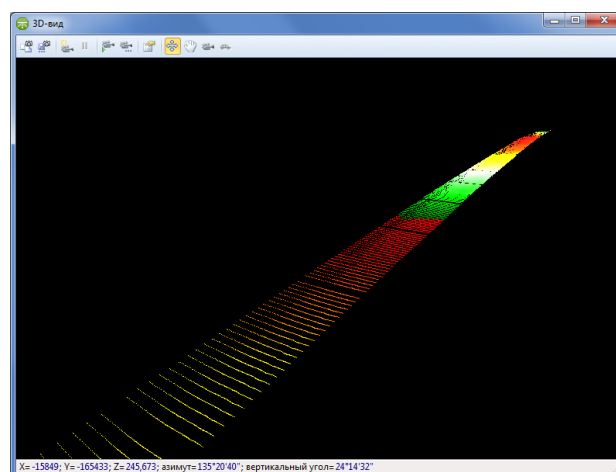


Рис. 8. Заполнение пропусков данных и формирование регулярных точек

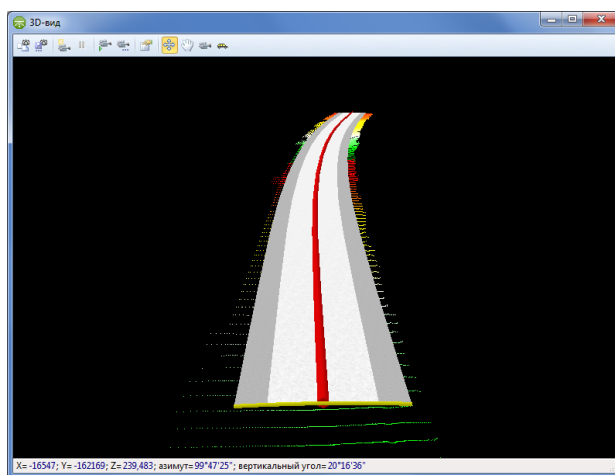


Рис. 9. Наложение запроектированной дороги на обработанные лазерные точки

Выводы: В этой статье мы предлагаем алгоритм, основанный на вейвлет-преобразовании Эрмита, чтобы обнаружить трещины и повреждения дорожного полотна. Кроме того, мы проектируем фильтр производных, необходимый в преобразовании. Числа и данные, следующие из экспериментов, показывают, что вейвлет-преобразование Эрмита – мощный инструмент в обнаружении трещин и повреждений дорожного полотна.

Мы полагаем, что гибкость мультимасштабного вейвлет-разложения Эрмита имеет потенциал, который будет использоваться все больше при обработке изображений и видеоматериалов. И мы ожидаем комбинацию обучающейся машины обнаружения трещин и повреждений дорожного тротуара, чтобы в будущем разрабатывать более интеллектуальную систему восстановления дороги.

Список литературы

1. Бекмуратов А. Т., Онопенко Г. А., Кудуев А. Ж., Шумилов Б. М., Эшаров Э.А. Вейвлет-преобразование и сжатие данных лазерного сканирования автомобильных дорог // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета, – 2011, № 4 (33), – С. 228-238.
2. Завьялов Ю. С., Квасов Б. И., Мирошниченко В. Л. Методы сплайн-функций. – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1980. – 352 с.
3. Кудуев А. Ж., Лаходынова Н. В., Шумилов Б. М., Эшаров Э. А. Вариационное трассирование автомобильных дорог с помощью нового типа эрмитовых кубических сплайн-вейвлетов // Вестник ТГАСУ. – 2011. - № 3 (32). - С. 176-183.
4. Малла С. Вейвлеты в обработке сигналов. Пер. с англ. – М.: Мир, 2005. – 671 с.
5. Столниц Э., ДеРоуз Т., Салезин Д. Вейвлеты в компьютерной графике: Пер. с англ. – Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2002. – 272 с.
6. Турсунов Д. А., Шумилов Б. М., Байгулов А. Н., Колупаева С. Н. Предварительная обработка материалов лазерного сканирования автомобильных дорог // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета, – 2011, №3 (32), – С. 184-191.
7. Шумилов Б. М., Кудуев А. Ж. Новый тип мультивейвлетов пятой степени, ортогональных многочленам пятой степени // Вестник ТГУ. Управление, вычислительная техника и информатика, №4 (21), 2012. - С. 108-116.
8. Aràndiga F., Baeza A., Donat R. Discrete multiresolution based on hermite interpolation: computing derivatives // Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation, 2004, v. 9, p. 263–273.
9. Boehler W., Marbs A. 3D Scanning Instruments, Proc. of the CIPA WG6 Int. 2002. Workshop on scanning for cultural heritage recording. – Режим доступа:
4. <http://www.isprs.org/commission5/workshop/> (дата обращения 12.01.2015), свободный. – Загл. с экрана. – Яз. англ.
10. Boissonnat J. D., Devillers O., Teillaud M., Yvinec M. Triangulations in CGAL, Proc. 16th Annu. ACM Sympos. Comput. Geom., 2000, pp. 11-18.
11. Han B. Approximation properties and construction of Hermite interpolants and biorthogonal multiwavelets, J. Approxim. Theory, Vol.110, 2001, pp. 18-53.
12. Strela V. Multiwavelets: Theory and Applications, PHD Thesis (Math.), Cambridge, Massachusetts, 1996, 99 p.
13. Yun H. C., Kim M. G., Lee J. S. Applicability Estimation of Mobile Mapping System for Road Management, Contemporary Engineering Sciences, Vol.7, 2014, pp. 1407-1414.

References

1. Bekmuratov A. T., Onopenko G. A., Kuduev A. Zh., Shumilov B. M., Esharov E. A. Veivlet-preobrazovanie i szhatie dannykh lazernogo skanirovaniya avtomobil'nykh dorog [Wavelet-transform and data compression of road laser scanning]. Vestnik of Tomsk State University of Architecture and Building. No. 4. 2011.Pp. 228-238. (In Russ.)
2. Zavyalov Y. S., Kvasov B. I., Miroshnichenko V.L. Methods of Spline Functions, Fizmatgiz, Moscow, 1980. 352 p. (in Russ)
3. Kuduev A. Zh., Lahodynova, N. V., Shumilov B. M., Esharov E. A. Variacionnoe trassirovanie avtomobil'nyh dorog s pomoshh'ju novogo tipa jermitovyh kubicheskikh splajn-vejvletov [Variation tracing of roads by means of new type Hermite cubic a spline-wavelets] Vestnik of Tomsk State University of Architecture and Building. No. 3. 2011.Pp. 176–183. (In Russ.)
4. Mallat S. A Wavelet Tour of Signal Processing. M: Mir,2005. 671 p. (transl. from Engl.)
5. Stollnitz E. J., DeRose T. D., Salesin D. H. Wavelets for Computer Graphic.Theory and Applications. Izhevsk: NITs «Regulyarnaya i khaoticheskaya dinamika», 2002. 272 p. (transl. from Engl.)
6. Tursunov D. A., Shumilov B. M., Baigulov A. N., Kolupaeva S. N. Predvaritel'naja obrabotka materialov lazernogo skanirovaniya avtomobil'nyh dorog [Preliminary data processing of roads laser scanning]. Vestnik of Tomsk State University of Architecture and Building. No. 3. 2011.Pp. 184–191. (In Russ.)
7. Shumilov B. M., Kuduev A. Zh. Novyi tip multiveivletov piatoi stepeni, ortogonal'nykh mnogochlenam piatoi stepeni [New type multiwavelets of the fifth degree orthogonal to quintic polynomials] Tomsk State University Journal of Control and Computer Science. 2012. № 4(21). P. 108–116. (In Russ.)
8. Aràndiga F., Baeza A., Donat R. Discrete multiresolution based on hermite interpolation: computing derivatives // Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation, 2004, v. 9, p. 263–273.
9. Boehler W., Marbs A. 3D Scanning Instruments, Proc. of the CIPA WG6 Int. 2002. Workshop on scanning for cultural heritage recording. Available at:
10. <http://www.isprs.org/commission5/workshop/> (accessed 12 January 2015).
11. Boissonnat J. D., Devillers O., Teillaud M., Yvinec M. Triangulations in CGAL, Proc. 16th Annu. ACM Sympos. Comput. Geom., 2000, pp. 11-18.
12. Han B. Approximation properties and construction of Hermite interpolants and biorthogonal multiwavelets, J. Approxim. Theory, Vol.110, 2001, pp. 18-53.
13. Strela V. Multiwavelets: Theory and Applications, PHD Thesis (Math.), Cambridge, Massachusetts, 1996, 99 p.
14. Yun H. C., Kim M. G., Lee J. S. Applicability Estimation of Mobile Mapping System for Road Management, Contemporary Engineering Sciences, Vol.7, 2014, pp. 1407-1414.

УДК 621.3

STATIC AND SEISMIC STABILITY ANALYSIS OF KUMTOR'S TAILINGS DAM

Ruslan Bekturovich Chukin, PhD candidate, researcher, Institute of Geomechanics National Academy of Science, Laboratory «Stability of Geotechnicals Objects», Kyrgyz Republic, 720017, Bishkek, O.Mederov str. 98, e-mail: rchukin@mail.ru

Kumtor gold mine is situated in the Kyrgyz Republic in Central Tien Shan Mountains at the altitude of 4000 meters in permafrost area. Construction and operation of the tailings dam started in 1995. In 1999 displacement of the dam to downstream side was detected. The dam height was 20 meters. Analysis of monitored data showed that displacement took place in ice rich loamy layer in the foundation on 4 meters depth. To stop this displacement they decided to excavate loamy layer beyond downstream and change it by construction shear key made of macro fragmental soil. The depth of shear was 5 meters. For the more the monitoring data showed that tailings dam continue to move on underlying soils. The additional geological investigation was done. It showed that more solid soil was located on the depth from 10 to 12 meters. The methodology of displacement stoppage was the same as previous. Worked out measures to stop the tailings dam displacement was accomplished in the period from 2006 to 2010. The goal of the research is to create numerical model in FLAC codes, forecast calculation of dam stability to 2016 when the dam height would be 42.7 meters, the dam seismic stability analysis with consideration of layered foundation.

Keywords: displacement, foundation, loamy layer, shear key, monitoring data, numerical modeling, back analysis, creep, assessment of seismic stability, soil condition, peak ground acceleration

АНАЛИЗ СТАТИЧЕСКОЙ И СЕЙСМИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ДАМБЫ
ХВОСТОХРАНИЛИЩА КУМТОР

Чукин Руслан Бектурович, науч. сотр., ИГиОН НАН КР, Лаборатория «Устойчивости Геотехнических Объектов», Кыргызская Республика, 720017, г. Бишкек, ул. О.Медерова 98, e-mail: rchukin@mail.ru

Золоторудное месторождение Кумтор расположено в КР в горах центрального Тянь-Шаня на высоте 4000 метров над уровнем моря в условиях вечной мерзлоты. Строительство и эксплуатация дамбы хвостохранилища началась в 1995 году. В 1999 году было обнаружено движение дамбы в сторону нижнего бьефа. Анализ данных мониторинга показал, что движение дамбы хвостохранилища происходит по слабому ледонасыщенному суглинистому прослою в основании на глубине 4 метров. Для остановки движения дамбы хвостохранилища было принято решение об экскавации слабого прослоя за низовым откосом и заменой его строительством упорного клина из крупнообломочного грунта. Глубина клина составила 5 метров. В последующем данные мониторинга показали, что дамба хвостохранилища продолжает двигаться, но уже по нижележащим грунтам. Были выполнены дополнительные инженерно-геологические изыскания, которые показали, что более прочные грунты находятся на глубине 10-12 метров. Методология остановки смещений осталась прежней, т.е. замена слабых грунтов на более прочные. Разработанные мероприятия по остановке смещений дамбы были реализованы в период с 2006 по 2010 годы. Целью данного исследования является создание численной модели в кодах FLAC, прогнозные расчеты устойчивости дамбы на 2016 год, когда высота дамбы составит 42,7 м, анализ сейсмической устойчивости дамбы с учетом слоистого основания.

Ключевые слова: смещения, основание, суглинистый прослой, упорный клин, данные наблюдений, численное моделирование, обратный анализ, ползучесть, оценка сейсмической устойчивости, грунтовый условия, пиковое ускорение на поверхности

INTRODUCTION

The tailings dam is located in the bed of Ara-Bel River. Water of the river was redirected around the tailings dam through upper bypass canal with returning to the former bed below the dam. The tailings dam was designed with filling method of wastes lying. Dam filling was started in 1995. The dam is raised by stages to the downstream side. The dam body is filled with macrofragmental soil. The upstream and downstream sides are formed with gradient 1:3. There is impervious screen with the length 100 meters which is lying along the upstream and the bottom of reservoir. It's made of polyethylene film of high density with thickness 1.5 millimeters. General view of the dam is shown in Figure 1.



Figure 1. Kumtor tailings dam

In 1998, holes for installation inclinometers were drilled. At that time maximum height of the dam was 20 meters. Data of field observations showed that dam was moving to downstream side. Allocation of horizontal offset showed that displacement was caused by ice rich loamy layer in the foundation. In order to stop displacement the decision was made to remove loamy layer beyond downstream side and change it by construction of shear key from macrofragmental soil. In 2003, works for arrangement of shear key were performed. At that time dam height was 24.7 meters. Trench for shear key with depth 5 meters and slope ratio 1:1 had a length about 20.5 meters. Shear key depth was determined on the basis of analysis of horizontal offsets with consideration for meter long incut in soil which had no any displacement. Cantledge with 5 meters height was dumped on the shear key. Soil for organization of shear key, cantledge and dam body was selected from one pit. In the following the data of field observations showed that the measures which had been done did not lead to stoppage of the dam displacement. Temporary group of experts from Canadian consulting firm BGC Engineering INC and Institute of Geomechanics and Development of Mineral Resources (IGDMR) was created to solve this problem. The following are results of IGDMR. Tailings dam numerical model was performed in FLAC codes as a creep model. Regulatory requirements acting in Kyrgyz Republic about assessment of stability based on the value of factor of safety. In this case the factor of safety was calculated after creep modeling had been finished.

NUMERICAL MODELING

Numerical modeling was performed using the program FLAC (Itasca 2011). The important stage of numerical modeling is selection of soil model, describing the relation between creep deformation and relaxation of stress. In the result of analysis of different models for description of rheological processes in soil, Norton's power law dependence was selected. Stress-strain analysis with consideration of rheological processes was based on the comparison of calculated displacements and monitoring data. Monitoring of displacement was made on the basis of inclinometers. Figure 2 (a) describes observed displacements according to inclinometer INC98-1 in period from 21.12.01 to 13.08.05.

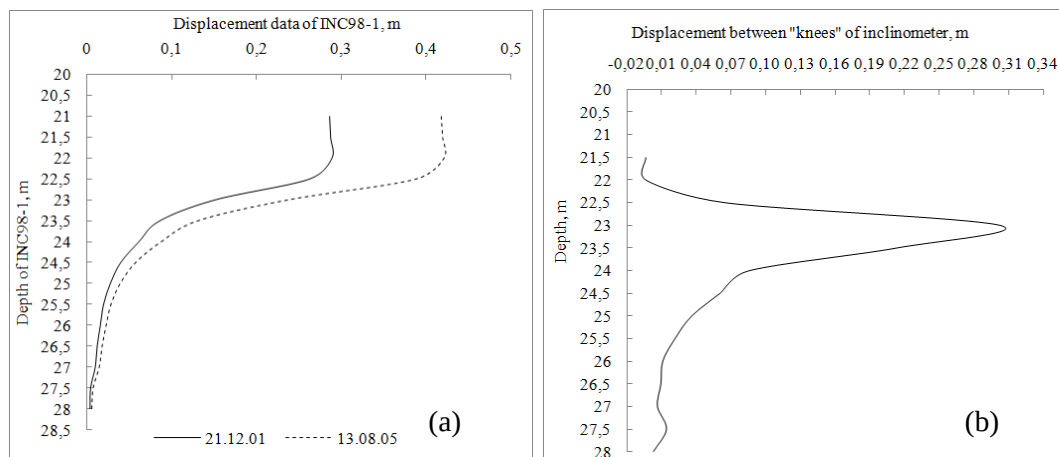


Figure 2. (a) INC98-1 inclinometer data; (b) allocation of deformation shift in loamy layer

The depth in meters from the dam crest is on vertical axis and total displacements in meters are on horizontal axis. The figure shows that the most intense displacements occur between 22 meters and 24 meters marks. Original ground level corresponds to 20 meters mark. Loamy layer has a various width from 6 to 10 meters. The largest deformation shift is observed in upper part of it within the limits of 2 meters. The roof of loamy layer is situated at a depth of 2 meters from ground surface. All shift indexes above this mark are virtually the same. That means that the dam body and two meters of natural soil above the loamy layer have lesser deformation shift. In order to find out on which depth and with what intensity deformation happens, schedule of inclinometer knees was built relative to each other and provided on Figure 2 (b). This figure shows that the largest deformation shift is registered at a depth from 2.5 to 4 meters (mark 22.5 - 24 meters). The most deformable layer has width about 1.5 meters. Below 4 meters (mark 24.0 meters) deformation shift drops evenly. Formation of rheological model is based on separation of calculated rheological layers within the limits of whole loamy layer with a capacity of 9 meters. In view of the fact that shifts in loamy layer occurred before installation of INC98-1, it is necessary to try to restore accumulated shifts from the beginning of the dam construction. Difference in shifts between layers defines by the value of deformation and this is the most important for assessment of resistance. Figure 3 provides restored shifts in separated layers of loamy layer on the basis of monitoring data. The results of layer shift approximation with coefficient of determination $R^2 = 0.995$ are also showed at Figure 3. Layer shift at the stage of the dam upbuilding during the period from 1999 to 2005 occur in a linear fashion. Model calibration was carried out by variation of rheological parameters A and n according to Norton's method. In this case n parameter is considered as constant and equal 3. The most exact approximation of the results was obtained by rheological model consists of six calculated layers which are provided on Figure 4.

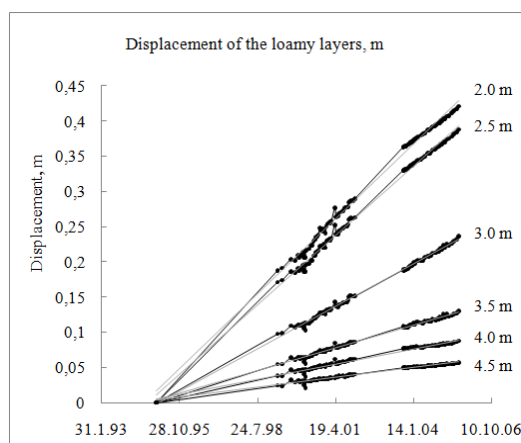


Figure 3. Horizontal displacement of loamy layers at depth from 2.0 to 4.5 meters based on INC98-1

Figure 5 displays comparison of calculated displacement and observation data according to INC98-1 to 2004 inclusively. The calculation data matched well with monitoring data obtained on basic shifting layers, situated at a depth 22.5, 23.0 and 23.5 meters. Calibration test of 2004 was associated with the fact that in 2008 shifts have some departure from linear fashion.

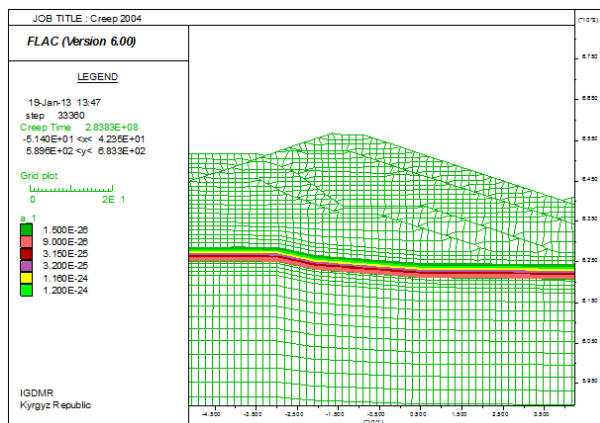


Figure 4. Calculated layers of dam foundation for 2004

The correction of A index in the middle layer in 2004 allowed reaching the optimal approximation. In view of the fact that the last model hadn't correction of A index, it can be believed that all the following calculations have prognostic character. The construction of the dam will be finished in 2016. Figure 6 displays the results of horizontal displacement forecast by layers according to INC98-1 for 2016 inclusively. Loamy layer, outspreading under the dam body and shear key of 2003 cannot be removed. The key feature in character of horizontal displacement allocation is that the shifts in loamy layer under the dam areas continue, and shifts in areas where it was removed stop. Figure 7 provides total horizontal displacement for the end of 2016. The largest horizontal offsets concentrated in the area where loamy layer cannot be removed. In this area total horizontal offsets to the end of 2016 are less than 80 centimeters. In the area where loamy layer was removed and shear key was built, horizontal offsets are less than 20 centimeters. It points to the fact that stopping measures for dam shifting caused by rheological processes in loamy layer are effective. The question how to calculate factor of safety for a model of geotechnical object with rheological processes remains open. For evaluation of overall stability we use the following method. The main differential characteristic from early performed calculation of dam stability is that now we take into account alteration of soils strength properties for loamy layer from deformation

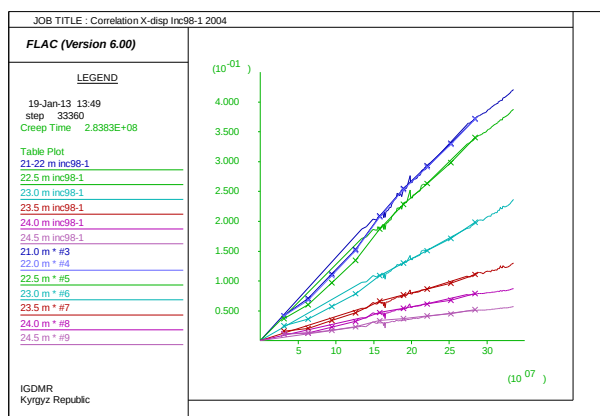


Figure 5. Comparison of numerical results with monitoring data according to INC98-1 for 2004

shift value, obtained as a result of rheological process modeling. In other words, stability of the dam is evaluated with consideration of time effect. The basis of coefficient of stability calculation has two principal points [5]:

- If a structure is a subject to continuous rheological processes, then the moment of beginning of stability loss will be defined not by time rheological processes duration, but formation of surface of failure, along which soil reached critical deformation;
- As rheological processes of deformation shift in various points of structure are various, overall stability of structure shall be calculated on the basis of deformation shift distribution with determination of areas where deformation reached limit values.

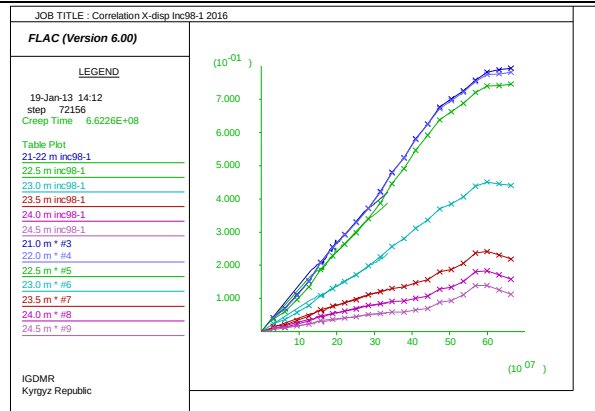


Figure 6. Forecast results of horizontal displacements of the layers for 2016

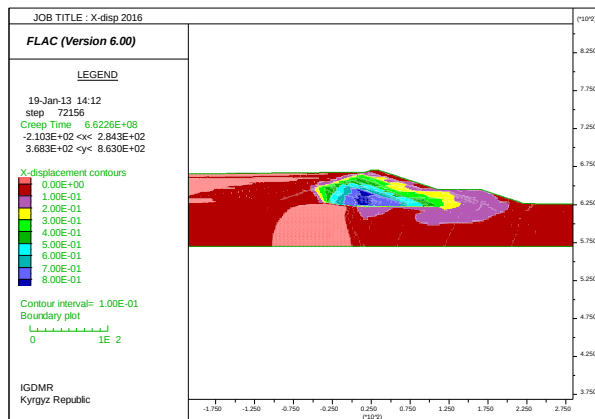


Figure 7. Horizontal displacement for the end of 2016

Zaretskiy points out that for soils there is a critical strain of form alteration [3]. On the basis of experiments with sand clay for Nurekskaya dam strain intensity was about 14%. Maslov pointed out that upon achievement of deformation shift about 13-16 %, cohesive soil does not resist shifting anymore. This circumstance for assessment of resistance upon calculation of creeping was realized as follows. If it's necessary to evaluate stability of dam in certain period of time, then we define the area in loamy layer, in which the amount of deformation reached limit value. The limit value of deformation shift is 13%. This value was selected as the smallest among all values provided in literary sources. It is accepted that this area doesn't resist to shifting. In this area strength properties cohesion and friction angle are set to zero. Special function was developed in FISH programming language for exact area separation where soil doesn't resist shifting and maximum deformation reached value of 0.13. Figure 8 (a) provides picture of maximum deformation shifts for 2016. The largest deformation shifts concentrated in loamy layer. Figure 8 (b) as an example, describes friction angle distribution for the same geometry after the function was used. After that we used standard procedure for factor of safety calculation proposed by Dawson and Roth 1999. The minimum factor of safety value is 1.36 for 2016 dam body. Note that shear-strain rate contours doesn't have exit to free surface and doesn't form closed region.

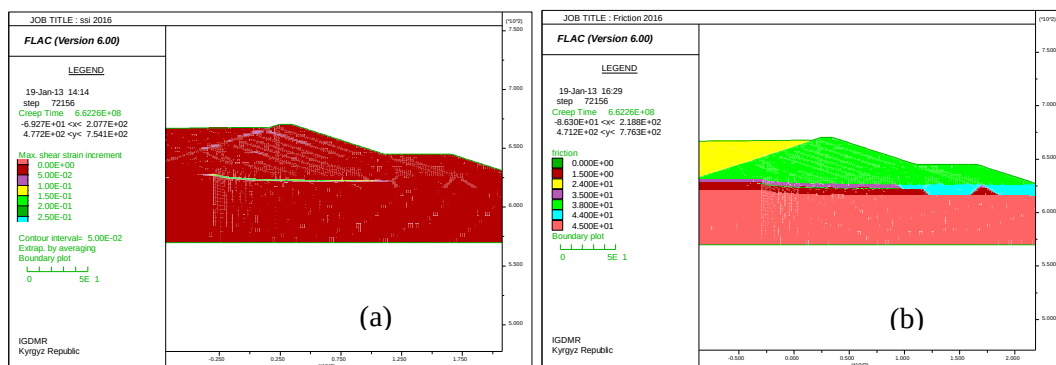


Figure 8. (a) Maximum deformation shifts; (b) friction angle distribution

Kyrgyz Republic is a seismic active country. Seismic stability assessment of the dam was based on dynamic theory [8]. It was made on the basis of calculated deformations analysis. The limit state of the dam is characterized by

the presence of damage (vertical crest displacement, cracks etc.) which can lead to disturbance of the dam with following overflow of the pulp [9]. We selected two criteria of seismic stability. The first criterion is vertical dam crest displacement. Vertical crest displacement during earthquake must not exceed reserve between the crest and the level of the water in upstream. The second criterion is connected with shear-strains. This criterion is based on comparison of limit shear-strains and shear-strains which evolving in dam body during earthquake. The formation of surface of failure is related with the increase of plastic shear-strain increments to value 2 – 5 % [7]. Slope failure occurs when surface of failure cross the dam body and has an exit to slope face. Thus, for overflow of the pulp this exit should be on upstream under the water level. The earthquake motion is considered to occur when the reservoir level is at fool pool. Pore-pressure calculation is important part, it determine pore-pressure distribution on the upstream side of the dam and in the soils corresponding to the reservoir elevation. Figure 9 displays the pore-pressure distribution and phreatic surface location through the dam and foundation at steady state. The area where the dam was built according to the confirmed “Map of seismic zoning of Kyrgyz Republic” classified as zone with 8 points of intensity and repeatability

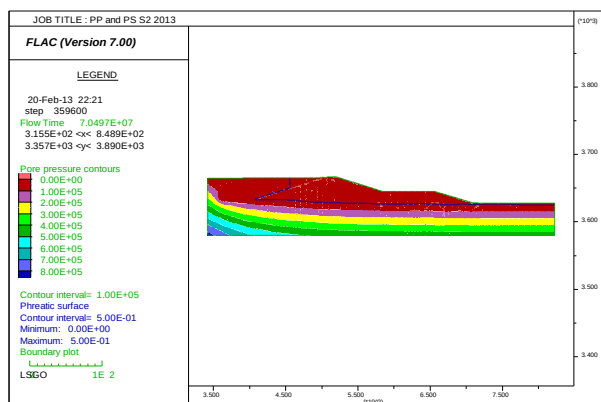


Figure 9. Pore-pressure distribution and phreatic surface

1 earthquake per 500 years. In the reports on feasibility study of the project there is an analysis of Kumtor mine seismic ground motion. This analysis based on methodology of evaluation of such factors as location of active faults and their parameters and distance from these faults and construction site. As a result peak ground acceleration for seismic analysis has a value 0.3g [1]. For understanding the influence of weak ice rich loamy layer on seismic stability the modeling of the foundation was made [2]. On the first stage the deconvolution analysis that is performed to obtain the appropriate input motion was made without weak layer [6]. On the second stage weak layer was set. In dynamic simulation the strong motion of Kobe (Japan) earthquake was used. It has duration 40.88 seconds and several peaks that make it acceptable for dynamic analysis. The soil conditions of the dam foundation lead to dynamic amplification [4]. Peak ground acceleration increased from 0.3g to 0.34g. Also the character of frequencies was changed. The Figure 10 displays acceleration time histories on the surface

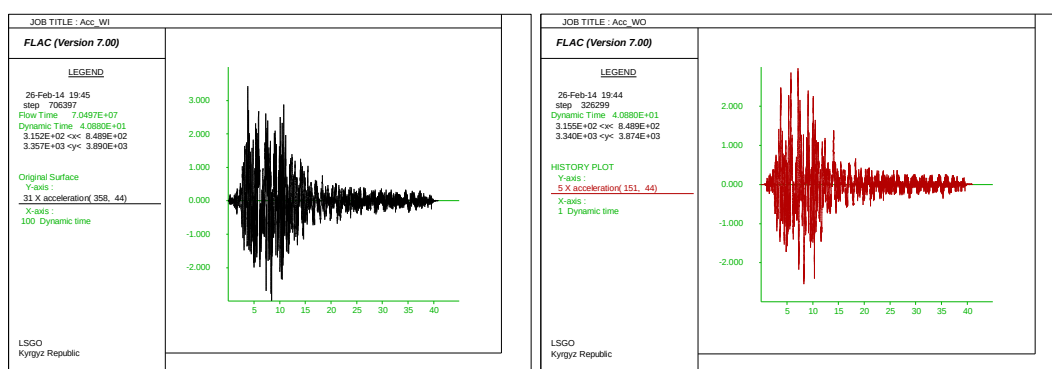


Figure 10. Acceleration time histories on the surface of the foundation

with (black line) and without (red line) weak loamy layer. The Figure 11 displays power spectrum of accelerations in three different locations of the model. For the better reading power spectrum were remade from FLAC to Excel. Red line indicates power spectrum of input Kobe acceleration. The dominant frequency is approximately 0.6 Hz, the highest frequency component is less than 8 Hz, and the majority of the frequencies are less than 6 Hz. The blue line is a power spectrum of acceleration on foundation surface. The highest frequency is 0.6 Hz and the second peak is 3.6 Hz. The black line is power spectrum of acceleration on the crest of the dam. The highest frequency is 0.6 Hz and the second peak is 2.8 Hz. Displacement of the dam after 40.88 seconds is primarily concentrated along upstream slope. This is shown in the Figure 11. The maximum displacement is 50 centimeters. Downstream side has a less value of the displacement due to the shear key efficiency.

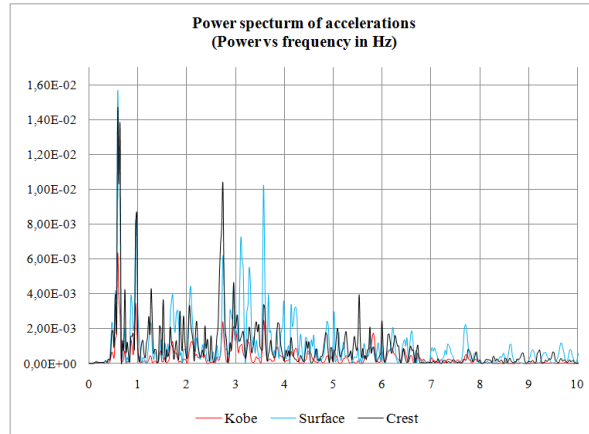


Figure 10. Power spectrum of accelerations

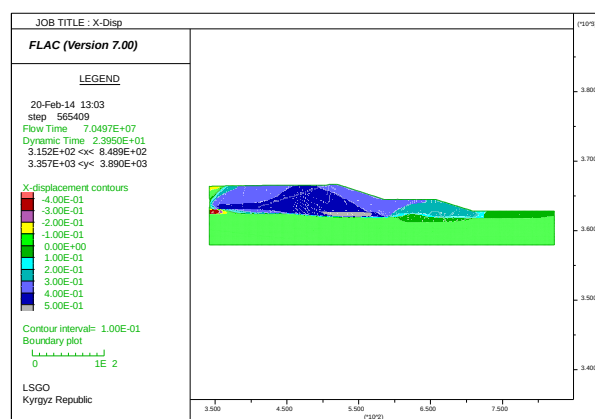


Figure 11. Horizontal displacement contours

Figure 12 shows the plot of horizontal (green line) and vertical (blue line) displacements of the crest.

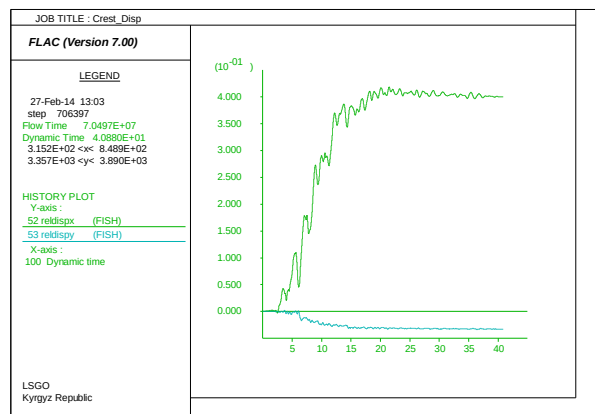


Figure 12. Crest dam displacement

The maximum value of horizontal crest displacement is 42 centimeters and vertical 3.3 centimeters. The value of maximum shear-strain occurred during seismic loading is stored with special FISH function. The Figure 13 displays the maximum shear-strain increment contours after 40.88 seconds. The maximum value of shear-strain is 50% in weak loamy layer. This level of deformations shows that loamy layer reached the limits and it doesn't resist shifting anymore. Calculation showed that the condition of slope failure, when the formed surface of failure crosses the dam body and has an exit on slope face did not happen. None of the selected criteria of dam failure took place. Seismic stability of the dam was confirmed.

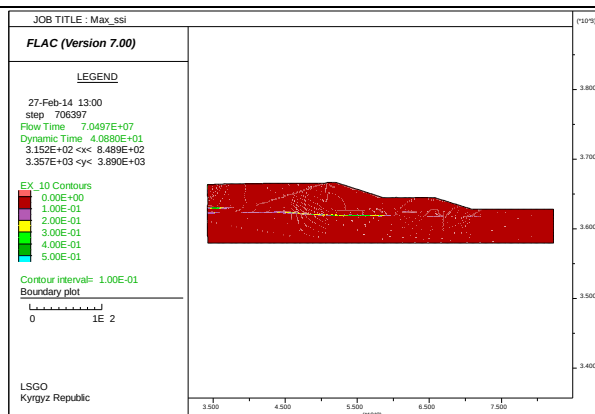


Figure 13. Maximum shear-strain increment contours after 40.88 seconds of seismic loading

Results: Numerical model of the dam was created with consideration of rheological processes and displacement monitoring data. Good correlation between monitoring data and calculated displacement was achieved. Forecast stability analysis to 2016 with factor of safety calculation to 42.7 dam height has been done. Seismic stability analysis based on dynamic theory including layered foundation was accomplished. The results of numerical calculation and last displacement monitoring data confirm the efficiency of the measures that were made and also provide seismic stability.

References

1. C. Lomnitz and E. Rosenblueth (1976): *Seismic Risk and Engineering Decisions* [Сейсмический Риск и Инженерные Решения], New York, USA.
2. International Commission on Large Dams (ICOLD) [Международная Комиссия по большим Дамбам] (1995): *Tailings Dams and Seismicity* [Дамбы Хвостохранилищ и Сейсмичность], Bulletin 98, 21-43 pp.
3. J.K. Zaretskiy and V.N. Lombardo (1983): *Static and Dynamic of Soil Dams* [Статика и Динамика Грунтовых Дамб], Moscow, USSR.
4. K.Ishihara (2006): *Soil Behaviour in Earthquake Geotechnics* [Поведение Грунтов в Геотехнике Землетрясений], Tokyo, Japan.
5. L. Suklje (1976): *Rheological Aspects of Soil Mechanics* [Реологические Аспекты Механики Грунтов], London, UK.
6. Seed, H. Bolton, and I. M. Idriss (1970): *Soil Moduli and Damping Factors for Dynamic Response Analysis* [Модуль Грунта и Факторы Демпфирования для Анализа Динамического Отклика], California, USA.
7. Seed, H. B., and I. Idriss (1969): *Influence of Soil Conditions on Ground Motion During Earthquakes* [Влияние Грунтовых Условий на Движение Земной Поверхности во время Землетрясения], Journal of Geotechnical Engineering Division, ASCE, Vol. 95, pp. 99-137, California, USA.
8. SNiP of Kyrgyz Republic [СНиП Кыргызской Республики] 20-02:2009, *Earthquake Engineering: Seismic Design Codes* [Сейсмостойкое строительство: Нормы проектирования].
9. Ye.N. Bellendir, D.A. Ivashintsov, D.V. Stefanishin, O.M. Finagenov, S.G. Shulman (2003): *Probabilistic Methods of Assessment of Reliability of Soil Hydro-Engineering Structures* [Вероятностные Методы Оценки Надежности Грунтовых Гидро-Инженерных Сооружений], St. Petersburg, Russia Federation.

УДК 34..06.:656.826:656.136

ОЦЕНКА РАБОТЫ ВСПОМОГАТЕЛЬНОЙ ТОРМОЗНОЙ СИСТЕМЫ СЕДЕЛЬНОГО АВТОПОЕЗДА С ПОЛУПРИЦЕПОМ

Омуров Жыргалбек Макешович, доцент, КГТУ им.И.Раззакова, Кыргызстан, 720044, г.Бишкек, пр.Мира, 66, e-mail: omurov66@mail.ru

Цель статьи- получить результаты и оценить работу вспомогательной тормозной системы седельного автопоезда марки MAN TGS с полуприцепом «ФРЮЕХАУФ-ТФ34Т13РВА» по требованиям ГОСТ путем проведения экспериментальных исследований в горных условиях на перевале Тоо-Ашуу. Экспериментальные исследования показали, что вспомогательная тормозная система полностью соответствует требованиям ГОСТ и обеспечивает движение со скоростью $V=30\pm 2$ км/час на уклоне 8% протяженностью 12 км.

Ключевые слова: тормозной путь, критическая скорость, занос, опрокидывание, транспортный поток, криволинейное движение, математическая модель, интенсивность движения.

EVALUATION OF THE AUXILIARY BRAKE SYSTEM OF THE TRACTOR TRAIN WITH SEMITRAILER

Omurov Jyrgalbek Makeshovich, associate KSTU named after I.Razzakova, Kyrgyzstan, 720044, c.Bishkek, Mira 66, e-mail: omurov66@mail.ru

The aim of paper is to get the results and evaluate the work of the auxiliary brake system of the tractor train of model MAN TGS with semitrailer "Freyhauf TF34T13RBA " according to GOST, by experimental studies in the mountains on the Too-Ashu. Experimental studies showed that the secondary braking system is fully compliant with the Standards and provides motion at a speed of $V = 30 \pm 2$ km / h on a slope of 8% of the length of 12 km.

Keywords: braking distance, the critical speed, skid, overturning transport stream, curvilinear motion, Mathematical models, traffic.

Результаты проведенных экспериментальных исследований по оценке работы вспомогательной тормозной системы седельного автопоезда марки MAN TGS с полуприцепом «ФРЮЕХАУФ-ТФ34Т13РБА» по требованиям ГОСТ, показали, что эта система полностью соответствует требованиям ГОСТ и обеспечивает движение со скоростью $Q = 30 \pm 2$ км/ч на уклоне 7% протяженностью 6 км.

Влияние динамического воздействия жидкого груза на режим движения при торможении на ровных участках, тормозные пути приведены в таблице 1.

Таблица 1.

Влияние динамического воздействия жидкого груза на режим движения при торможении на ровных участках, тормозные пути

Этапы эксперимента	Тормозной путь автопоезда с автоцистерной, на 100% заполненной водой,(м)	Тормозной путь автопоезда с автоцистерной, на 95% заполненной водой,(м)
1	23.5	25.1
2	23.8	26.2
3	23.1	25.5
Среднее значение	23.46	25.6

Сравнительный анализ тормозных путей показал, что при автоцистерне заполненной водой на 95%, тормозной путь увеличивается на 9.1%.

Критические скорости с учетом влияния динамического воздействия жидкого груза на режим движения, криволинейные движения радиусом 35м на ровных участках приведены в таблице 2.

Таблица 2.

Динамическое воздействие жидкого груза на режим движения при торможении на ровных участках, тормозные пути

Этапы эксперимента	Тормозной путь автопоезда с автоцистерной, на 100% заполненной водой,(м)	Тормозной путь автопоезда с автоцистерной, на 95% заполненной водой,(м)
1	23.5	25.1
2	23.8	26.2
3	23.1	25.5
Среднее значение	23.46	25.6

Сравнительный анализ тормозных путей показал, что при автоцистерне заполненной водой на 95%, тормозной путь увеличивается на 9.1%.

На рис.1-4 представлены кривые, отражающие следующие зависимости:

- средняя скорость, обеспечивающая устойчивое движение автопоезда (учитываются условия заноса, опрокидывания и динамического воздействия жидкости) (кривая 1).
- средняя скорость потока при максимальной интенсивности движения (кривая 2);
- средняя скорость потока при принятой нами минимальной интенсивности движения (230 единиц тракторного потока) (кривая 3).

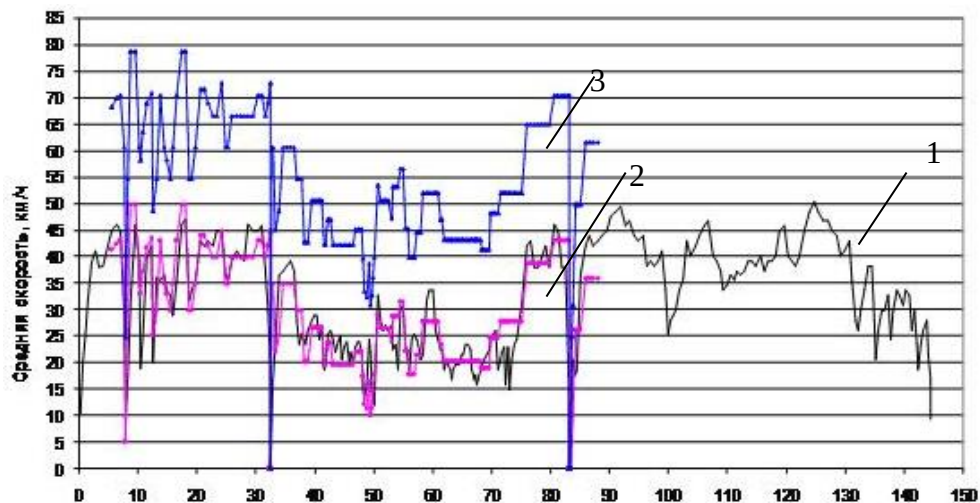


Рис.1. На направлении Бишкек - Ош по сухому покрытию

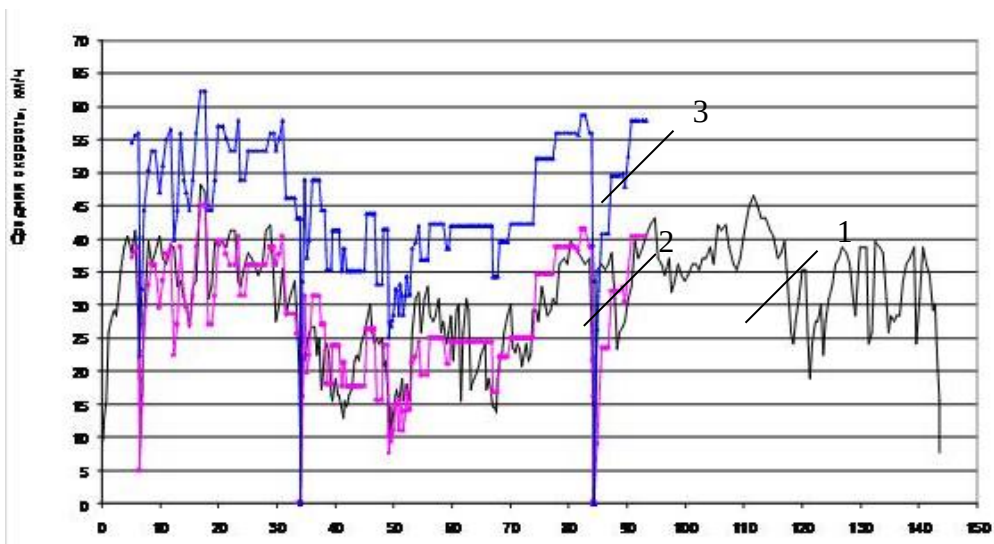


Рис.2. На направлении Бишкек - Ош по мокрому покрытию

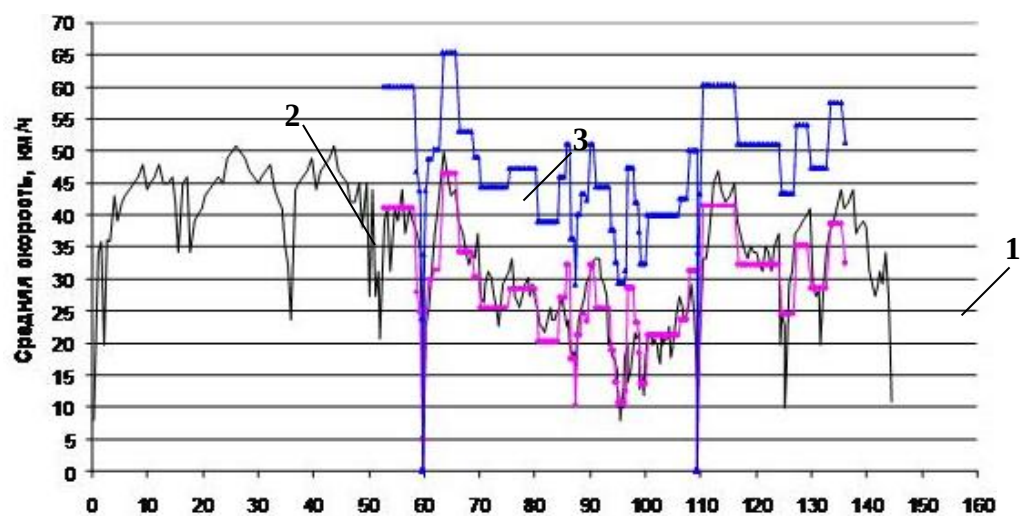


Рис.3. На направлении Ош - Бишкек по сухому покрытию

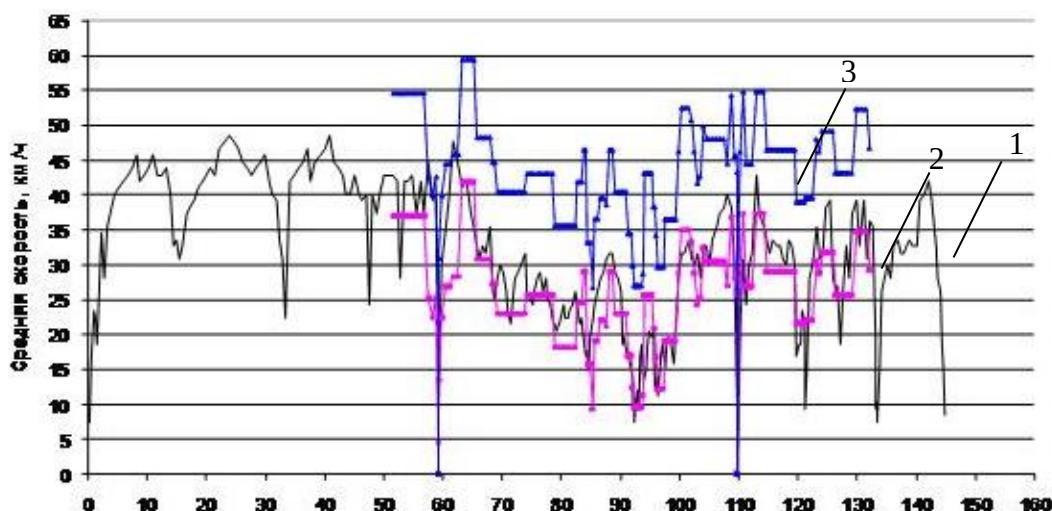


Рис.4. На направлении Ош - Бишкек по мокрому покрытию

Анализ зависимостей показывает, что значения средних скоростей при устойчивом движении автопоезда и максимальной интенсивности движения близки и выбирается меньшая из них. При уменьшении интенсивности движения средняя скорость устойчивого движения становится главным критерием, определяющим движение автопоезда. Тем самым подтверждается важность учета условия устойчивости при заносе и опрокидывании, а также динамического воздействия жидкости, которые были определены решением математической модели.

Выводы: анализ зависимостей показывает, что значения средних скоростей при устойчивом движении автопоезда и максимальной интенсивности движения близки и выбирается меньшая из них. При уменьшении интенсивности движения средняя скорость устойчивого движения становится главным критерием, определяющим движение автопоезда.

Список литературы

1. Антонов Д.А. Теория устойчивости движения многоосных автомобилей. - М.: Машиностроение, 1978 г.
2. Литвинов А.С. Теория эксплуатационных свойств: Учебник для вузов по специальности «Автомобили и автомобильное хозяйство» – М., Машиностроение, 1989 г.
3. Бабков В.Ф. Дорожные условия и безопасность движения. - Москва: Транспорт, 1982 г.

References

1. Antonov DA The theory of stability of motion of multi-car. M.: Mechanical Engineering, 1978
2. Litvinov AS The theory of operational properties: Textbook for High Schools specialty "Automobiles and automobile industry" - M., Mechanical Engineering, 1989
3. Babkov VF Road conditions and traffic safety. - Moscow: Transport, 1982.

УДК: 535.321.54

ИЗУЧЕНИЕ ТРАНСПОРТНЫХ СВОЙСТВ МНОГОСЛОЙНЫХ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК (МУНТ)

Омарбекова А.О., докторант Казахского Национального Технического Университета им. К.Сатпаева и Эколь Сентраль Нантес, Франция, alnuraomarbekova@yahoo.com

Орузбаева Г.Т., к.т.н., доцент Кыргызского Государственного Технического Университета им. И.Раззакова, gul_talg@mail.ru

Смагулов Д.У., д.т.н., профессор Казахского Национального Технического Университета им. К.Сатпаева, smagulov061@mail.ru

В настоящей работе изучались физические характеристики многослойных углеродных нанотрубок (МУНТ), которые в основном определяют уникальные свойства наноуглеродных композиционных материалов. Ключевым параметром, используемым для оценки перспектив их применения в микроэлектронных устройствах, является электропроводность углеродных нанотрубок.

Для исследований физических характеристик многослойных углеродных нанотрубок (МУНТ) был выбран самый доступный и простой метод исследований. Это достаточно информативный метод изучения зависимости электрического сопротивления листов нанотрубок от температуры. В результате было обнаружено, что электропроводность комплекса наноуглеродных листов увеличивается с увеличением температуры.

Ключевые слова: многослойные углеродные нанотрубки, температура, электрическое сопротивление, полупроводник, нанокompозитные материалы, наносистемы.

STUDY OF TRANSPORTATION PROPERTIES OF MULTIWALLED CARBON NANOTUBES (MWNT)

Omarbekova A.O., Ph.D student of Kazakh National Technical university named after K.Satpayev and Ecole Centrale Nantes, France, alnuraomarbekova@yahoo.com

Oruzbaeva G.T., PhD (Engineering), Associate Professor at Kyrgyz State Technical University named after I.Razzakov, gul_talg@mail.ru

Smagulov D.U., doctor of technical sciences, professor at Kazakh National Technical university named after K.Satpayev, smagulov061@mail.ru

In the work physical characteristics of multiwalled carbon nanotubes (MWNT), which mainly determine the unique properties of nanocarbon composite materials were researched. The key parameter, used to estimate the prospects of their applications in microelectronic devices, is the electrical conductivity of carbon nanotubes.

For researches of physical characteristics of multiwalled carbon nanotubes (MWNT) was chosen the most accessible and primitive method of investigations. It is enough informative method of studying the dependence of electrical resistance of nanotube sheets on temperature. As a result, it was found out that the dependence of electrical conductivity of a complex nanocarbon sheets increase with increasing the temperature.

Key words: multiwalled carbon nanotubes, temperature, electrical resistance, semiconductor, nanocomposite materials, nanocarbon, nanosystems.

Introduction. High chemical, mechanical and thermal stability of nanocomposites, based on carbon nanotubes (CNTs), makes them one of the most promising materials in nanoelectronics. They have already showed their advantages, as elements of electronic systems such as cold field emitters [1-4], super capacitors [5], solar cells [6], nanoelectromechanical systems [7], sensors [8], and other devices.

Methods of production of CNTs, their electronic, emission, sorption and mechanical properties have been considered in detail to review and monographs [1, 9-21].

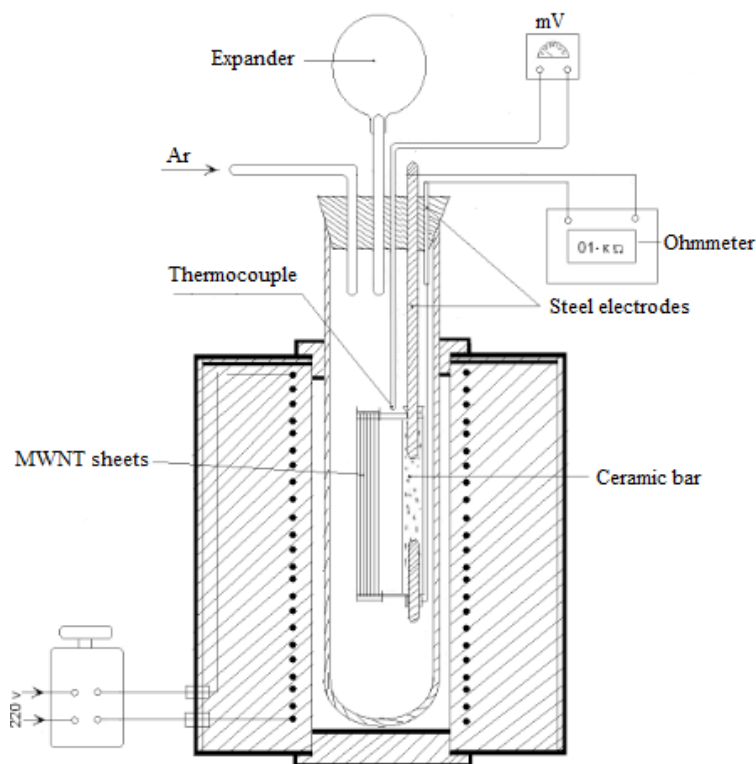


Figure 1. An experimental setup for studying electrical resistance of nanocarbon structures.

The scientists from the nanolaboratory at K.I.Satpayev KazNTU in cooperation with the scientists from the University of Texas, Dallas, developed the technology of synthesis of a carbon nanotube “forest”. Such carbon nanotube “forests” can be used to draw nanocarbon structures in the form of threads, sheets and ribbons with orientation along the direction of unwinding. Such nanocarbon structures are planned to be used to produce nanocomposites including hybrid polymer nanocomposite materials.

The most accessible and simplest method of investigations is a rather informative method of studying the dependence of electrical resistance of nanotube sheets on temperature.

Experimental technique. To measure the electrical resistance of carbon nanotubes the laboratory setup was made (Fig. 1). The system of carbon sheets was fixed on 2 metal electrodes installed at a distance of 60 mm. Copper or steel electrodes were separated from each other by a ceramic bar. This assembly was first placed in a quartz tube sealed at the bottom. Glass tubes with cocks for supply of the protective gas (Ar), connectors of the expander (a rubber ball), two outputs for connecting an ohmmeter and the ends of the thermocouple for connecting a millivoltmeter to measure temperature were mounted through the plug on the top. The quartz tube-reactor assembly was placed in the furnace.

Experimental results. Experimental studies carried out with copper electrodes in the air environment showed that at high temperatures copper easily oxidized, which caused errors in the results of measurements (Fig. 2).

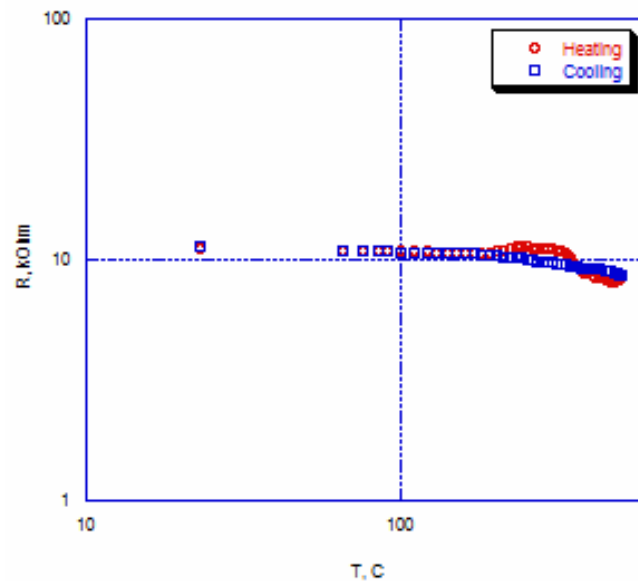


Figure 2. Temperature dependence of the electrical resistance of CNT sheets in the air environment.

Figure 3 shows the results of measurements of electrical resistance of carbon nanotube sheets in the argon atmosphere with steel electrodes.

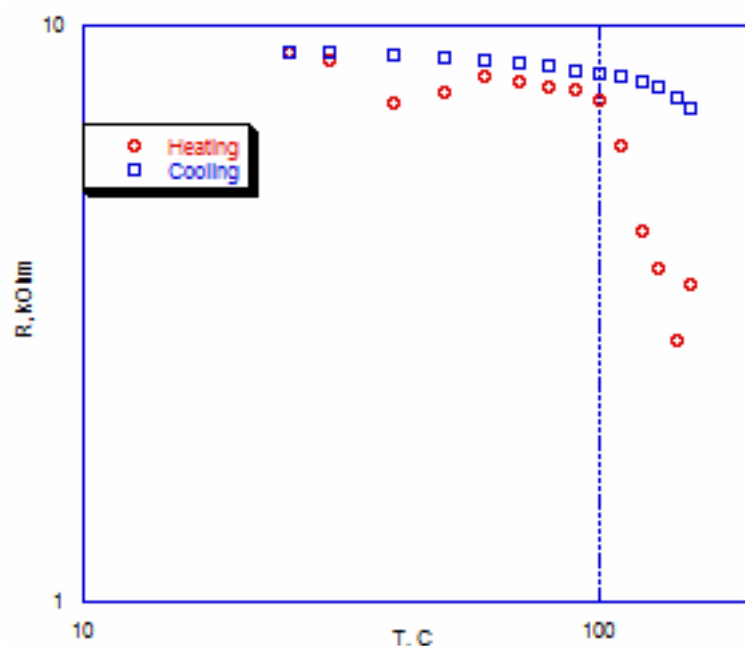


Figure 3. Temperature dependence of the electrical resistance of CNT sheets in the argon environment

The electrical resistance of carbon nanotube sheets decreases with the increase in temperature. Nonuniform decrease in the electrical resistance when heated is apparently caused by the influence of electromagnetic fields created by alternating currents passing through the nichrome winding of the furnace. This result is confirmed by the variation of the electrical cooling after switching off of the furnace, when there are no alternating electromagnetic fields. The electrical resistance of the nanocarbon system gradually increased to the former level.

To eliminate the influence of electromagnetic fields a steel reactor was made, which served as a protective shield from the effects of electromagnetic fields during the experiment. The limiting temperature of the experiment was 200°C because of the rubber plug mounted in the reactor. The results are presented in Figure 4. In this case the curves of temperature dependence of electrical resistance during heating and cooling are practically the same, which confirms the assumption about the influence of electromagnetic fields on physical properties of nanotube complexes.

The temperature dependence of the resistance of sheets of nanocarbon in all the experiments can be classified as non-metallic. The resistance of a complex of nanotube fibers decreased from 11.5 kilohms (at room temperature) to 8.5 kilohms (at 500°C) (Fig. 2). The resistance of fibers varied from experiment to experiment because of the different width of carbon nanotube strips. In the other case (Fig. 5), the resistance decreased from 9.06-7.63 kilohms (at room temperature) to 3.55-6.11 kilohms (at temperatures of 150°C-200°C).

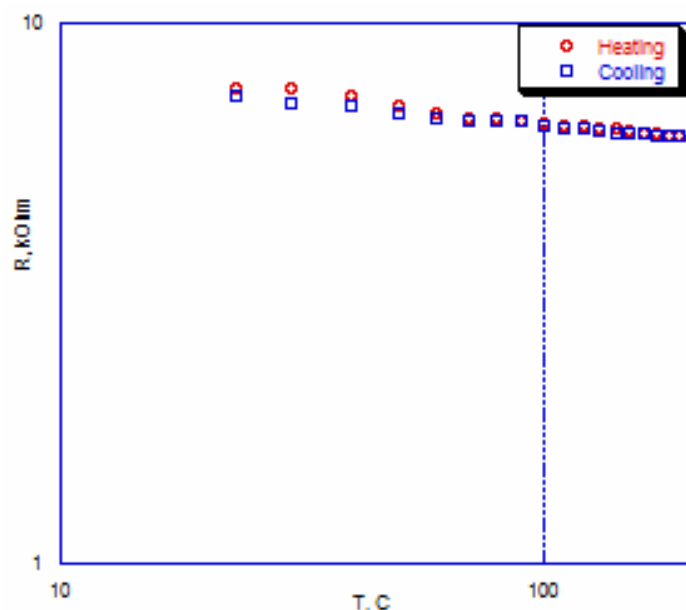


Figure 4. Temperature dependence of the electrical resistance in the argon environment

Fig.5 shows the results of measurement of electrical resistance of sheets of nanocarbon of the same length as a function of their width. This enables us to estimate the density of nanocarbon sheets.

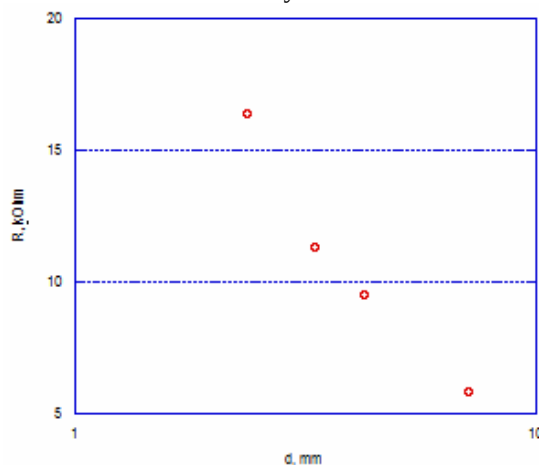


Figure 5. The dependence of electrical resistance of sheets of carbon nanotubes on their width.
The length of strips is 66 mm.

Conclusions. It has been established that the electrical conductivity of a complex of nanocarbon sheets increased with increasing temperature. The influence of electromagnetic fields on the properties of complex nanocarbon

fibers was observed. It is necessary to carry out a more detailed study of physical properties of nanocarbon complexes and individual nanotubes obtained in real conditions using modern scientific instruments for studying nanosystems.

References

1. Eletsii A.V. Uspekhi Phys. Nauki 172 401 (2002) [Eletsii A V Phys. Usp. 45 369 (2002)]
2. Shakir M.I. et al. Nanotechnology 17 R41 (2006)
3. De Jonge A.N., Bonard J.N. Proc. R. Soc. London A 362 2239 (2004)
4. Cheng Y, Zhou O C.R. Phys. 4 1021 (2003)
5. Futaba D.N. et al. Nature Mater. 5 987 (2006)
6. Kamat P.V. Nano today 1 (4) 20 (2006)
7. Jang J E et al. Appl. Phys. Lett. 87 163114 (2005)
8. Lucci Met al. Sensors Actuators B 111 ± 112 181 (2005)
9. Dresselhaus M S, Dresselhaus G, Eklund P C Science of Fullerenes and Carbon Nanotubes (San Diego: Academic Press, 1996)
10. (Dt Heer W A et al. In Fullerenes and Fullerene Nanostructures (Eds H Kuzmany et al.) (Singapore World Scientific, 1996) p. 215)
11. Ebbesen TW et al. Nature (London) 382 54 (1996)
12. Langer L et al. Phys. Rev. Lett. 76 479 (1996)
13. Langer L et al. J. Mater. Research 9 927 (1994)
14. Chauvet O et al. Phys. Rev. B 52 R6963 (1995)
15. Langer L et al., in Physics and Chemistry of Fullerenes and Derivatives (Eds H Kuzmany et.) (Singapore World Scientific, 1995) p/ 565)
16. Saito R, Dresselhaus M S, Dresselhaus G Physical Properties of Carbon Nanotubes (London:ImperialCollege Press,1998)
17. Dresselhaus M S, Dresselhaus G, Avouris P (Eds) Carbon Nanotubes: Synthesis, Structure, Properties, and Applications (Berlin:Springer,2001)
18. Fischer JE,inCarbon Nanomaterials (Ed.YGogotsi) (Boca Raton, Fl.:CRC/Taylor &Francis,2006) p.41
19. Loiseau A et al. (Eds) Understanding Carbon Nanotubes: From Basics to Applications (Berlin:Springer,2006)
20. Rotkin S.V., Subramoney S. (Eds) Applied Physics of Carbon Nanotubes: Fundamentals of Theory, Optics and Transport Devices (Berlin: Springer, 2005)
21. Ebbesen T W (Ed.) Carbon Nanotubes: Preparation and Properties (Boca Raton, Fl.: CRC Press, 1997)

УДК.: 622.233

ОБЗОР И АНАЛИЗ ДРОБИЛЬНЫХ МАШИН

Халов Р.Ш., ст. преп., КГТУ им. И.Раззакова, Кыргызстан, 720044, г.Бишкек, пр. Мира, 66,,e-mail: rass777kg@mail.ru

В этой статье сделаны обзор и анализ конструкций дробильных машин и способы разрушения, измельчения горных пород с целью получения нерудных строительных материалов (гравия, щебня) требуемых размеров

Ключевые слова: дробильная машина, щебень, щековые, конусные и валковые дробилки, кубовидный щебень, ударное разрушение, центробежно – ударная дробилка, щебенемастичный асфальтобетон

REVIEW AND ANALYSIS CRUSHERS

R. Sh. Khalov, Art. Rev., KSTU. I.Razzakova, Kyrgyzstan, 720044, Bishkek, Mira ave., 66, e-mail: rass777kg@mail.ru

Paper reviews and analyzes designs of crushing machines and methods of destruction, crushing rocks to produce non-metallic construction materials (such as gravel, crushed stone) of desired size

Keywords: crusher, gravel, jaw crushers, cone and roll crushers, cube-shaped rubble, impact fracture, centrifugal - impact crusher.

Дробильная машина

Дробильные машины предназначены для измельчения горных пород с целью получения нерудных строительных материалов (гравия, щебня) требуемых размеров, идущих на изготовление цементобетонных и асфальтобетонных конструкций, а также балластных слоев.

Для строительства инфраструктуры необходимо дробление пород и каменных материалов. Дробильная машина уменьшает размер больших камней и материалов до минимального размера для строительства плотин, зданий, дорог и т.д. Существуют различные типы дробилок, которые используются для измельчения:

- Щековые
- Конусные
- Роторные
- Дробилки валковые
- Дробилки молотковые
- Центробежно-ударные дробилки

Процессы дробления и измельчения издавна широко применяются в производственной деятельности человека. Необходимость значительного подъема производительности труда в технике дробления и обогащения полезных ископаемых в свою очередь ставит новые важные задачи:

- повысить производительность дробилок,
- сократить число стадий переработки,
- повысить качество и увеличить выход полезного продукта дробления,
- снизить энергоемкость и др.

Исходный материал в дробильных машинах разрушается под воздействием внешних механических сил: раздавливания, раскалывания, удара, излома и истирания. Примеры показаны на рис. 1.

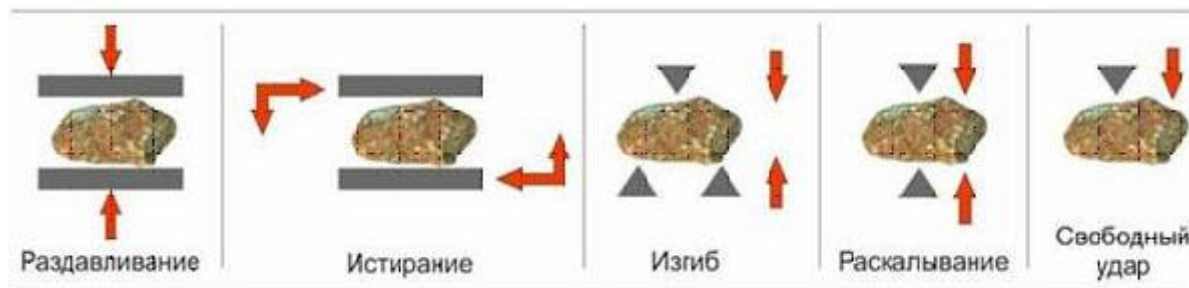


Рис. 1.

В зависимости от крупности кусков переработанной породы различают дробление крупное, среднее и мелкое. Для получения товарного размера материала (до 20, 40, 70 мм) дробление обычно осуществляется в несколько стадий, подразделяемых на первичную, вторичную и окончательную. При крупном (первичном) дроблении максимальный размер кусков продукта дробления d_{max} составляет 200—250 мм, при среднем (вторичном) — 70—125 мм, при мелком (окончательном) — 20—70 мм.

При получении щебня на дробилках, работающих на изгиб и сжатие внутри получаемых каменных зерен создается напряжение. Напряжение ведет к образованию невидимых трещин, которые впиваются из воздуха влажность, а при многочисленных переходах погоды через 0° разрушают щебень и в целом – дорожное полотно, что приводит к ухудшению качества строительных материалов.

Щековые, конусные и валковые дробилки, работающие по принципу раздавливания, во многих случаях не могут в полной мере удовлетворить современные требования.

Производимая в данное время в КР продукция не соответствует требованиям мирового рынка.

Для получения дорожной поверхности, соответствующей всем характеристикам, присущим смесям щебнемастичного асфальтобетона (ЩМА), в обязательном порядке необходимо применение высококачественных материалов, одним из условий которого является использование кубовидного щебня. Главное преимущество кубовидного щебня по сравнению с лещадным - его применение имеет более высокие показатели и физико-механические характеристики дорожного покрытия. Такой щебень требуется для приготовления асфальтобетонных смесей верхнего слоя дорожного покрытия. Плотность дорожного покрытия возрастает, показатели сдвигоустойчивости повышаются. Напротив, применение плоских и удлиненных заполнителей (зерен пластинчатой и игловатой формы) снижает прочность и повышает расход цемента, а также ухудшает морозостойкость бетона. Кубовидный щебень высоко ценится на рынке. Во многих регионах спрос на него превышает предложение, обеспечивая производителю устойчивый сбыт.

Кубовидный щебень в основном получают способом последовательного дробления «камень о камень», который упрочняет породу, разрушая ее по слабым местам.

Материалом дробления для строительства в основном являются каменно – песчаные материалы. Камни Кыргызстана отличаются повышенной твердостью (от 2000 кг/см² до 3000кг/см²), что предъявляет дополнительные требования при создании камнедробильных машин.

Состав обрабатываемого пласта на камнеобрабатывающих предприятиях Кыргызстана состоит из 70-80% камней и 20-30% песка и глины [5]. Из-за этого возникает проблема получения песка искусственным методом за счет мелкого дробления щебня крупностью 10-20 мм. Для этого используются конусные дробилки

мелкого дробления. Но они конструктивно не могут обеспечить достаточный выход продукции до состояния песка, который составляет 1-5 мм. Причиной этому является большой зазор между подвижными и неподвижными конусами, так как уменьшение зазора может привести к заклиниванию дробилки. На горно-обогатительных комбинатах используются шаровые мельницы, которые позволяют дробить руду до состояния пика крупностью до 0,1-1 мм. Но они отличаются дороговизной и их применение для получения песка невыгодно.

В последние годы появились дробилки динамического действия, которые начали поставлять на мировой рынок шведская фирма BARMAC, а также Российское АО ООТ ТИТАН [4,6]. По утверждению фирмы, полный ряд дробилок включает технологию дробления породы по породе, что практически резко изменило отрасль переработки минерального сырья.

Такой способ увеличивает производительность работ, не требует затрат на устройство фундамента. Он отличается низкими затратами на обслуживание и ремонт, простотой конструкции, способностью изменять размер дробимого материала. С его помощью получается кубический размер дробленого материала, возможно дробление практически всех типов пород, обеспечивается высокое качество конечного продукта, отвечающего мировым стандартам. Дробилки подобного типа производят третью и четвертую стадию дробления. Дробилка эффективно работает при производстве продуктов для асфальтового покрытия, при бетонных работах или при производстве специального песка. Она осуществляет дробление материалов широкого диапазона и производит дробление твердых и в том числе абразивных пород [5,6].

Высокая скорость ударного разрушения, достигаемая в дробилках за счет эффекта удара породы по породе, улучшает показатели по уровню шума и размеру частиц. Она не требует большой влажности подаваемого материала и тем самым облегчает задачу грохочения при минимальных затратах.

Для выполнения всех этих работ требуется дробильное оборудование. Для приобретения такого оборудования из – за рубежа необходимы большие финансовые средства.

Кафедра «Метрология и стандартизация» КГТУ им. И.Раззакова проводит работы по научно – техническому обоснованию новой конструкции дробилки центробежно – ударного действия для финишного дробления горной массы. Разрушение породы достигается за счет разгона дробимого материала до высокой скорости и удара его об облицованную той же породой камеру. Разрушение “порода о породу” обеспечивает высокую эффективность дробления, значительно улучшается качество конечной продукции. Увеличивается производительность при низкой удельной энергоемкости, уменьшается износ узлов дробилки. Основные технические параметры дробилки – производительность 100 т/час, скорость соударения частиц породы ~80 – 100 м/с.

Экспериментальное исследование проводится на производственном участке ОсОО "Керамик" (рис. 2). Основными элементами эксперимента являются: роторная дробилка центробежно-ударного действия, сортировочные сита, транспортер, загрузочное устройство для загрузки материала и дозатор для регулирования расхода загружаемого материала.

В первой части эксперимента в качестве характеристик процесса дробления принимаются следующие параметры: пропускная способность (производительность) ротора при данной мощности дробилки - Q_p ; степень дробления - i , при разной производительности - Q_{mp} и при разных скоростях транспортера V_{mp} ; оптимальная производительность дробилки.



Рис. 2. Центробежно-ударная дробилка

В ходе эксперимента производится регистрация следующих параметров: массового расхода загружаемого материала Q_{mp} (т/час) при постоянной скорости транспортера V_{mp} , напряжения в сети и силы тока, потребляемой двигателем при холостом и рабочем режимах, времени длительности одного цикла.

Отличительной особенностью предлагаемой конструкции дробилки в том, что разрушаемый материал разгоняется до скорости соударения, обеспечивающей гарантированное разрушение, и соударяется о породу, которая также разрушается. Этим частично исключается контакт породы с механическими частями дробилки и устраняется их износ. Данная конструкция дробилки по техническому уровню соответствует лучшим образцам, представленным на мировом рынке. В республике и странах Средней Азии аналогичное оборудование не выпускается. После испытаний на промышленном объекте и доработки элементов конструкции опытного образца можно наладить серийный выпуск дробилки для горнорудных предприятий, заводов по переработке нерудных материалов. На (рис. 3) представлена кинематическая схема центробежно-ударной дробилки, состоящей из асинхронного электродвигателя 1, ротора 6, подшипникового узла 5, ведущего шкива 2, клиноременной передачи 3, ведомого шкива 4.

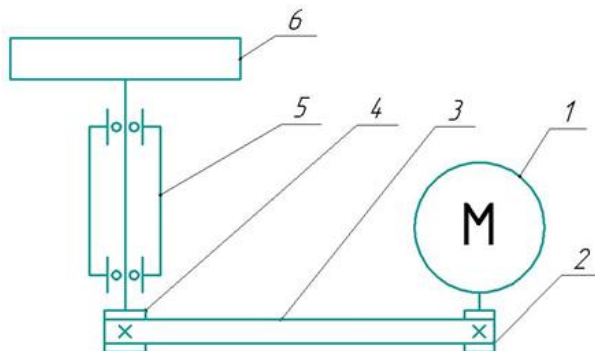


Рис. 3. Кинематическая схема центробежно-ударной дробилки.

Проводятся работы по научно-техническому обоснованию, изготовлению, наладке и доводке узлов экспериментальным исследованием конструкции центробежно-ударной дробилки. Разработана конструкторская документация, выполнены необходимые расчеты элементов конструкции, дробилка изготовлена на опытном производстве Института машиноведения НАН КР, проведены предварительные испытания.

Технические характеристики

Таблица 1.

Модель	Оборотность крыльчатки (об/мин)	Макс. зернистость впуска (мм)	Мощность (кВт)	Вес (Т)	Время обработки (Т/Час)	Габаритный размер (мм)
PCL-600	2000-2600	30	2×30	5,6	10-20	2500×1600×2260

Преимущества:

1. Конструкция простая - относительно низкая эксплуатационная себестоимость.
2. Коэффициент дробления высокий - экономия энергии.
3. Обладает функцией мелкого дробления и крупного измельчения.
4. Малое воздействие из-за содержания влаги в материалах примерно до 8%.
5. Пригодна для дробления материалов средней твердости.

В результате теоретических и экспериментальных исследований центробежно – ударных дробилок можно предположить, что создание таких дробилок выгодно. Они обладают большой мощностью и имеют при этом более высокий к.п.д. по сравнению с конусными и молотковыми дробилками. Кроме этого, центробежно-ударные дробилки имеют меньший уровень вибраций, что позволяет создать мобильное дробильное оборудование. Поэтому создание таких дробилок актуально и перспективно.

Выводы

При выполнении работы были поставлены и решены следующие основные задачи:

1. Проведен анализ конструкций дробильного оборудования и обоснования области внедрения центробежно-ударной дробилки;
2. Разработана методика и схема экспериментальных исследований центробежно-ударной дробилки;
3. Определены экспериментальные характеристики и их использование для оценки методик расчета центробежно – ударных дробилок.

Список литературы

1. Аверченко Е.А. Новая конструкция мельницы самоизмельчения. Горный журнал, 1998, №8, 58-59с.
2. Алимов О.Д. Исследование процессов разрушения горных пород при бурении шпуров., Изд. Томского университета, 1966, 89с.
3. Алимов О.Д., Абдраимов С. Основы теории прессов с механизмами переменной структуры. Фрунзе, изд-во Илим, 1988, 293с.
4. Андреев С. Е., Перов В. А., Зверевич В. В. Дробление, измельчение и грохочение полезных ископаемых. М., Недра, 1980, 414 с.
5. Арш Э.И., Виторт Г.К., Черкасский Ф.Б. Новые методы дробления крепких пород. Киев, 1966, 160с.
6. Барон Л.И., Веселов Г.М., Коняшин Ю.Г. Экспериментальные исследования процессов разрушения горных пород ударом. М., Изд. АН. СССР, 1962, 220с.

References

1. Averchenko EA New design autogenous mill. Mining Journal, 1998, №8, 58-59s.
2. Alimov OD Investigation of the processes of destruction of rocks during drilling holes., Univ. Tomsk University, 1966, 89s.
3. Alimov OD, Abdraimov C. Fundamentals of the theory of presses with variable structure mechanisms. Frunze, Ilim Publishing House, 1988, 293s.
4. Andreev SE, Perov VA, Zverevich VV crushing grinding and screening of minerals. M., Nedra, 1980, 414 p.
5. Arches EI, Vitort GK, Cherkassky FB New methods for crushing hard rock. Kiev, 1966, 160с.
6. Baron LI, Veselov GM, Konyashin YG Experimental Study of rock breaking blow. M., Ed. Academy of Sciences. USSR, 1962, 220с.

УДК 621. 791. 92: 669. 018. 25: 629.463 (575.2)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ НАПЛАВЛЕННЫХ ДЕТАЛЕЙ ДЛЯ ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ ГП “КЫРГЫЗ ТЕМИР ЖОЛДОРУ”

Орозбаев А.А., Белекова Ж.Ш., аспиранты КГТУ им. И. Раззакова, Кыргызстан, 720044, г. Бишкек, пр. Мира 66, e-mail: akjol1986_86@mail.ru

Цель работы – выявить эффективность восстановления изношенных деталей наплавкой, а также выбор оптимальной сварочной проволоки для восстановления изношенных деталей грузового вагона. Для этого были применены пять разных сварочных проволок. Определение на износ проводили с помощью испытательной машины MillertestG75-07. Максимальную износостойкость показывает сварочная проволока FD 240 KOA.

Ключевые слова: износостойкость, наплавка, сварочная проволока, плотность, масса, объем, пикнометр.

DETERMINATION OF WEAR RESISTANCE BUILT-UP WELDING PARTS FOR FREIGHT CARS SE "KYRGYZ TEMIR JOLDORU"

Orozbaev A.A., Belekova Zh. Sh., KSTU named after I. Razzakov, Kyrgyzstan, 720044, Bishkek e-mail: akjol1986_86@mail.ru

The Purpose - to determine the effectiveness of the restoration of worn parts by built-up welding, as well as the selection of the optimum welding wire to restore worn-out parts of freight cars. To this five different welding wires were applied. The determination of the wear test was conducted by using the machines Millertest G75-07. The welding wire FD 240 KO A shows maximum wear.

Keywords: wear resistance, surfacing, welding wire, density, mass, volume, pycnometer.

На вагоноремонтных заводах собирались много корпусов букс (рис. 1), подвергающий на износ опорной поверхности и трущихся челюстей. Применять наплавку с сварочной проволокой считается один из основным методом для восстановления изношенных деталей корпусов букс. При восстановлении не должен выходить за ремонтный допуск диаметр посадочного отверстия (250мм) под подшипники. Поэтому необходимо восстанавливать наплавкой без последующей механической обработки посадочного отверстия изношенных корпуса букс.

Можно наплавлять опорных поверхностей в свободном состоянии, не принимая специальных мер по предотвращению деформации корпуса букс, потому что процесс наплавки не вызывает деформацию корпуса.

Для продления срока использования корпусов букс и тем самым сократить издержки на приобретение новых корпусов букс необходимо организовать участков восстановления наплавкой изношенных поверхностей.

Экономия эксплуатационных расходов железной дороги (вагонного депо) за счет снижения издержки на приобретение новых изделий считается эффектообразующим фактором восстановления наплавкой изношенных поверхностей корпусов букс.



Рис.1. Корпус букс грузового вагона

В данной статье приведены результаты исследований наплавленной поверхности стали марки S 235 (15Л), которое используется для корпуса букс грузового вагона. Для того чтобы, сравнить и определить оптимальную сварочную проволоку наплавлены образцы из пяти разных сварочных проволок.

Материалы и методика экспериментов

Подготовка образцов. Наплавляли на стали марки S 235 следующие сварочные проволоки (рис. 2) в сварочном цехе Института Сварки и Технологии металлов при Техническом Университете Клаусталь (Германия):

1. FD 600 OA
2. SG 3
3. FD 240 K OA
4. ED – FK 1
5. FD 400 OA

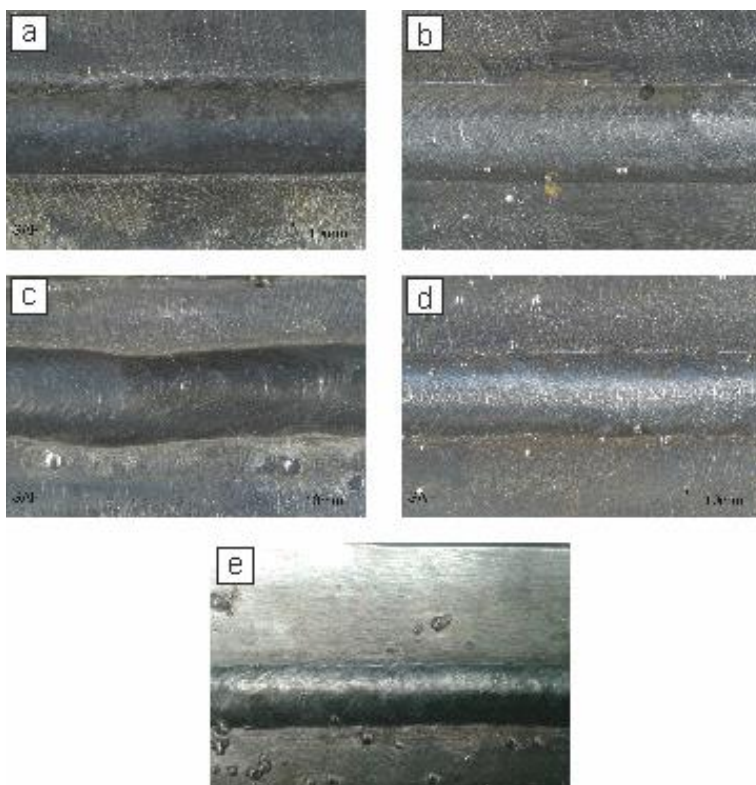


Рис. 2. Наплавленные образцы для испытания: *a* – с сварочной проволокой FD 600 OA, *b* – с сварочной проволокой FD 600 OA, *c* – с сварочной проволокой FD 600 OA, *d* – с сварочной проволокой FD 600 OA, *e* – с сварочной проволокой FD 600 OA.

Для проведения испытания на износ и определение плотности были разрезаны образцы. Размер образца, включая наплавленный слой, был $25,5 \times 12,7 \times 9,53$ мм. Из каждого вида сварочной проволоки изготовлено 4 образца. В качестве подложки для противостоящий к образцу использовали сталь марки S235 и Неопрен.

Определение плотности наплавленного слоя. Плотность определяли с помощью пикнометра и водой.

Испытания на износ. Испытание на износ проводили на испытательной машине Millertest по американскому ГОСТу G75-07 (Рис. 3).

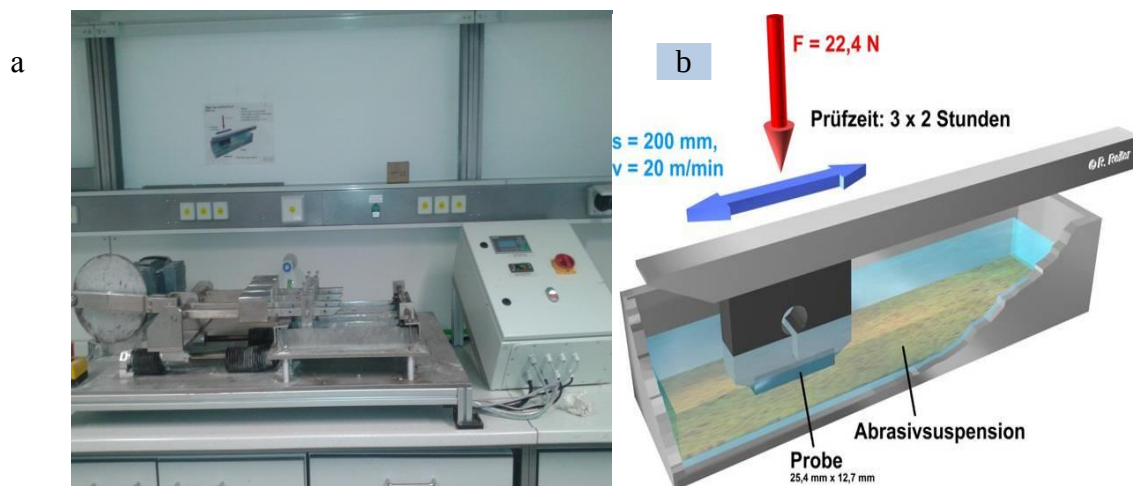


Рис. 3. Испытательная машина Millertest G75-07: а – общий вид, б – параметры и принцип работы.

Образец, закрепленный держателем движется в течении шести часов по горизонтальной плоскости внутри смеси оксида алюминия Al_2O_3 и воды. Измеряли массу образца каждые 2 часа.

Результаты и их обсуждение

В таблице 1. представлены экспериментальные данные определения плотности наплавленных образцов.

Таблица 1

Образец	Температура воды, °C	Плотность воды, $г/см^3$	Масса пикнометра, гр	Масса пикнометра с водой, гр	Масса образца, гр	Масса пикнометра с образцом, гр	Масса пикнометра с водой и образцом, гр	Плотность, $г/см^3$
FD 600 OA	22	0,99	94,29	195,46	11,89	106,18	205,80	7,67
SG 3	22	0,99	94,29	195,26	8,77	103,07	203,11	9,43
FD 240 K OA	22	0,99	94,29	195,45	8,27	102,57	202,67	7,79
ED –FK 1	22	0,99	94,29	195,45	9,30	103,60	203,54	7,65
FD 400 OA	22	0,99	94,29	195,44	9,31	103,61	203,55	7,74

На рисунках 4 по 13 представлены величины износа по объему и по массе наплавленных образцов. Для всех видов сварочных проволок пробы 1и 2 в качестве подложки использовали Неопрен. А для пробы 3 и 4 сталь марки S 235.

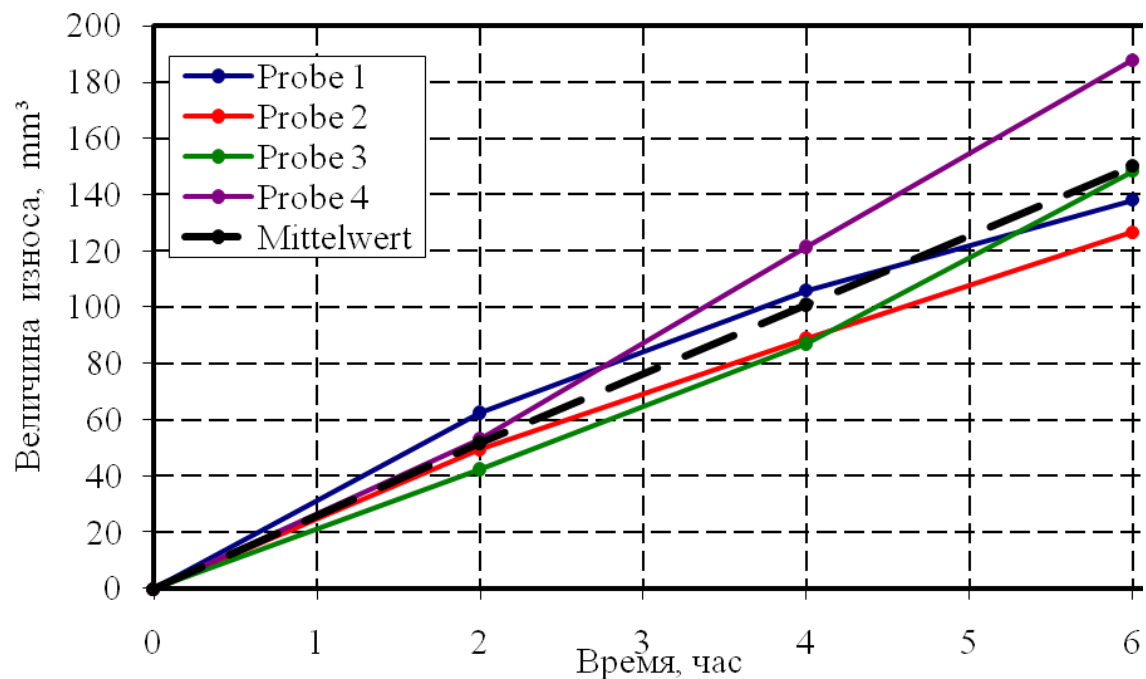


Рис. 4. Результаты испытания на износ по объему наплавленных образцов с сварочной проволокой FD 600 ОА.

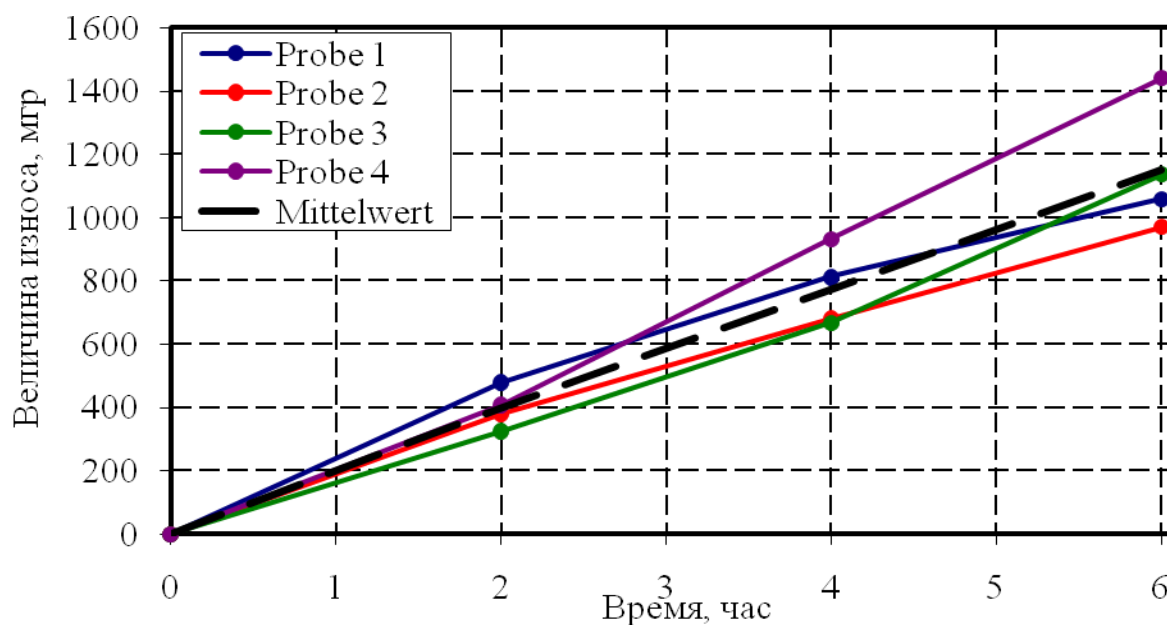


Рис. 5. Результаты испытания на износ по массе наплавленных образцов с сварочной проволокой FD 600 ОА.

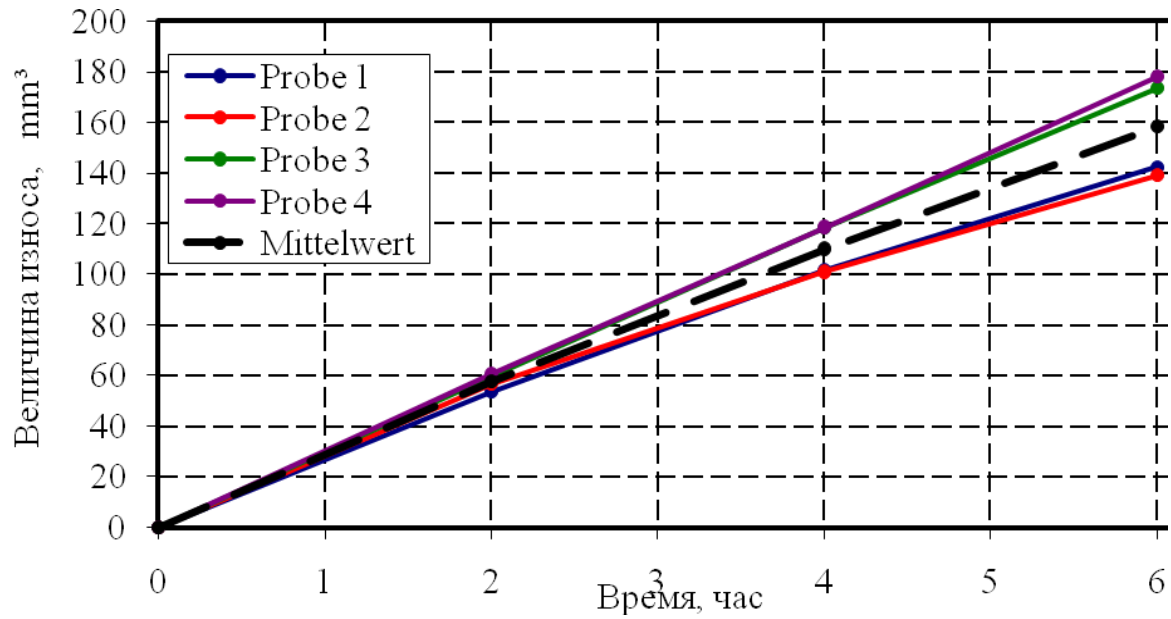


Рис. 6. Результаты испытания на износ по объему наплавленных образцов с сварочной проволокой SG 3

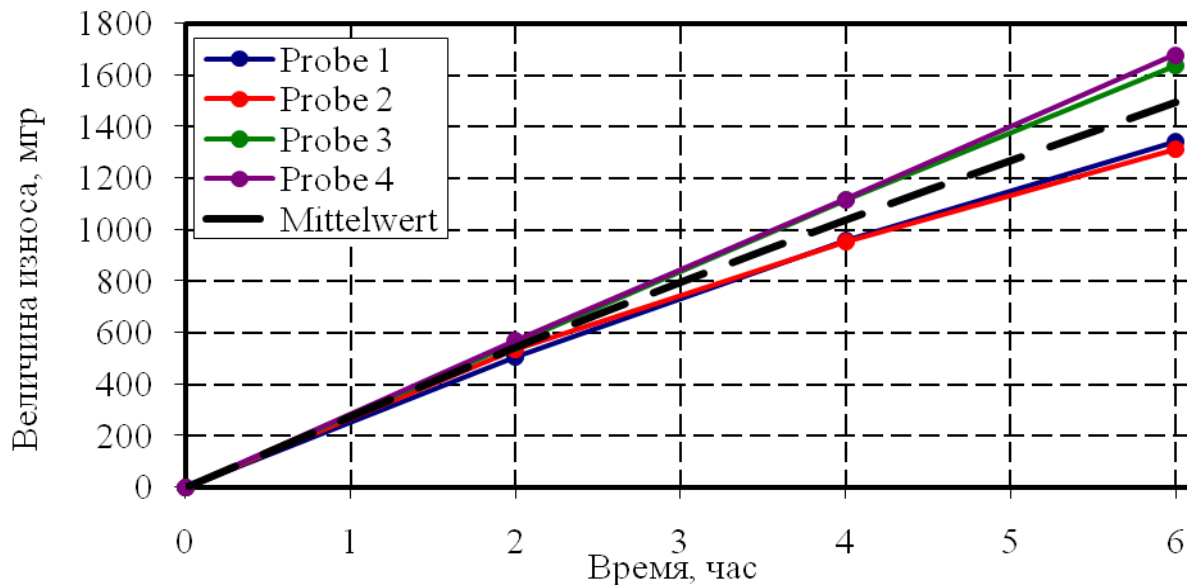


Рис. 7. Результаты испытания на износ по массе наплавленных образцов с сварочной проволокой SG 3

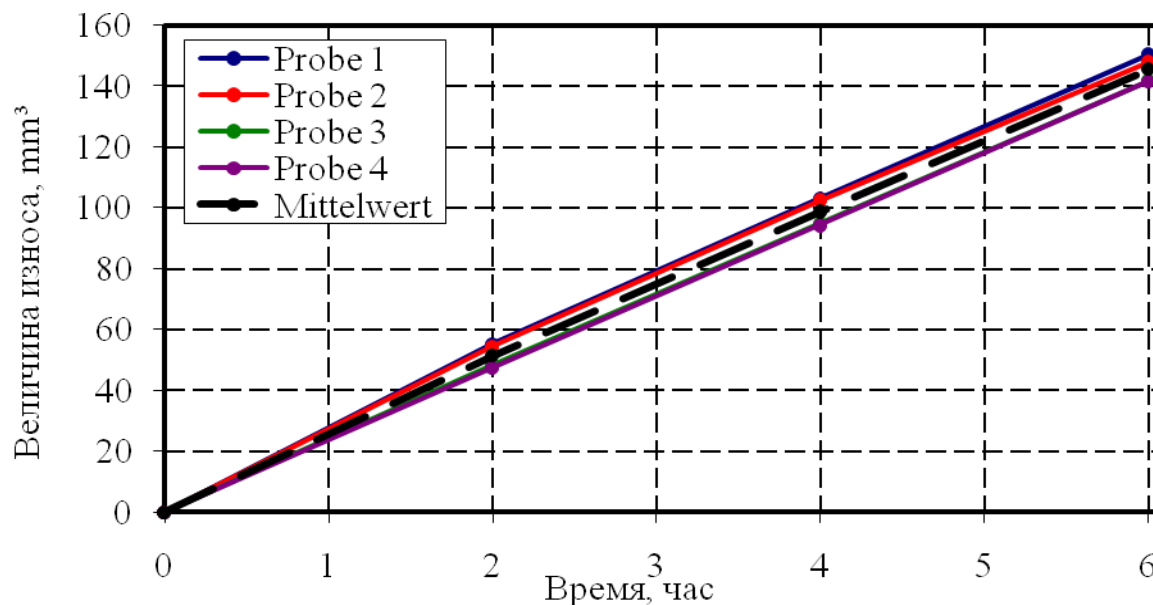


Рис. 8. Результаты испытания на износ по объему наплавленных образцов с сварочной проволокой FD 240 КОА.

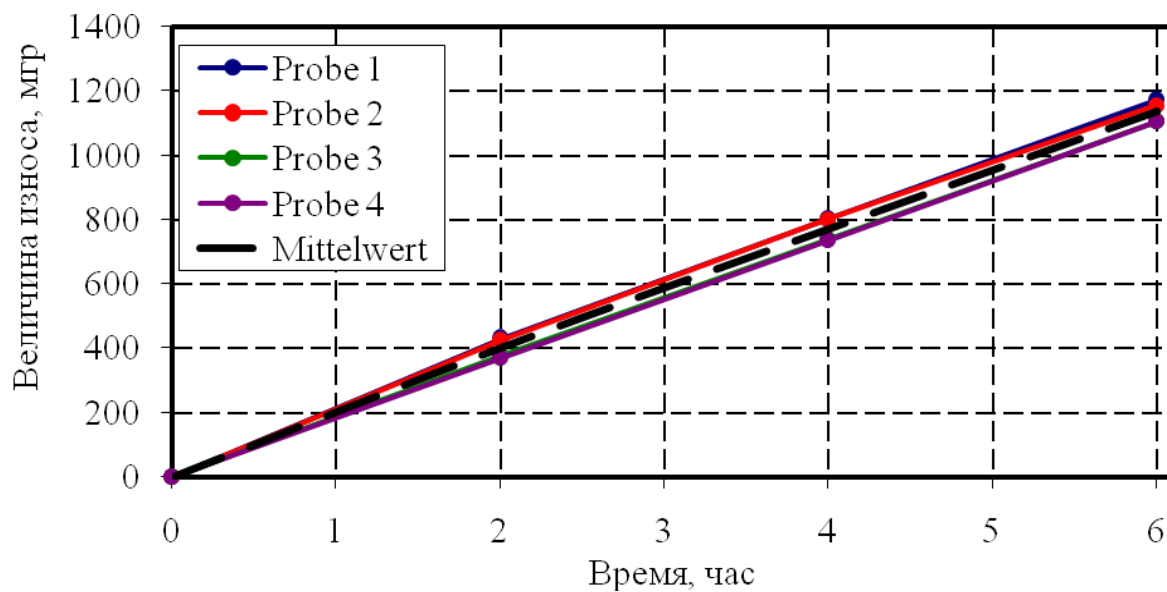


Рис. 9. Результаты испытания на износ по массе наплавленных образцов с сварочной проволокой FD 240 КОА.

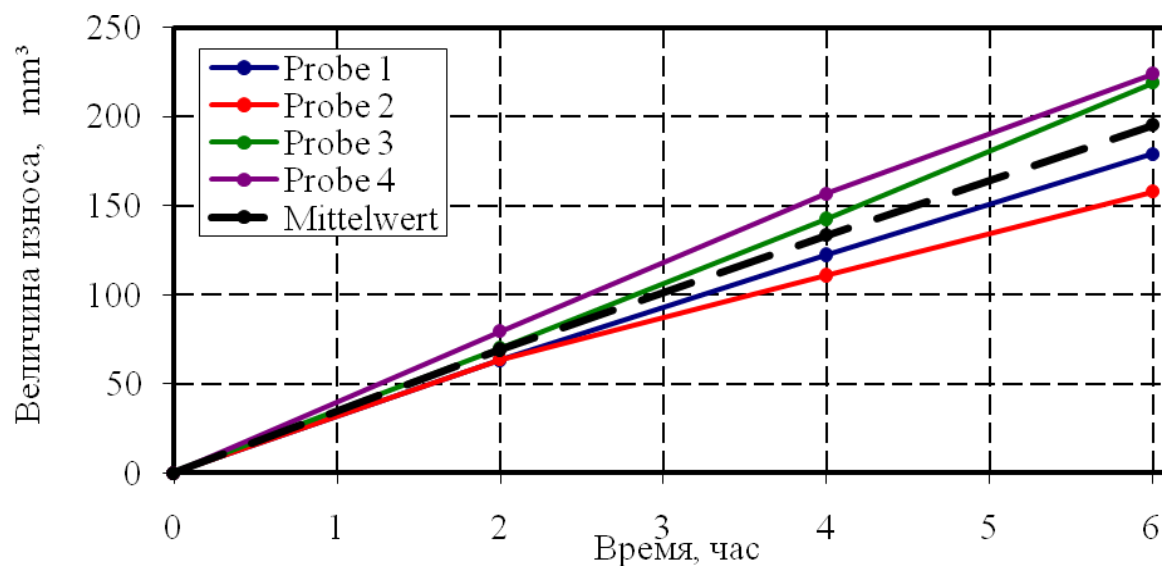


Рис. 10. Результаты испытания на износ по объему наплавленных образцов с сварочной проволокой ED-FK 1.

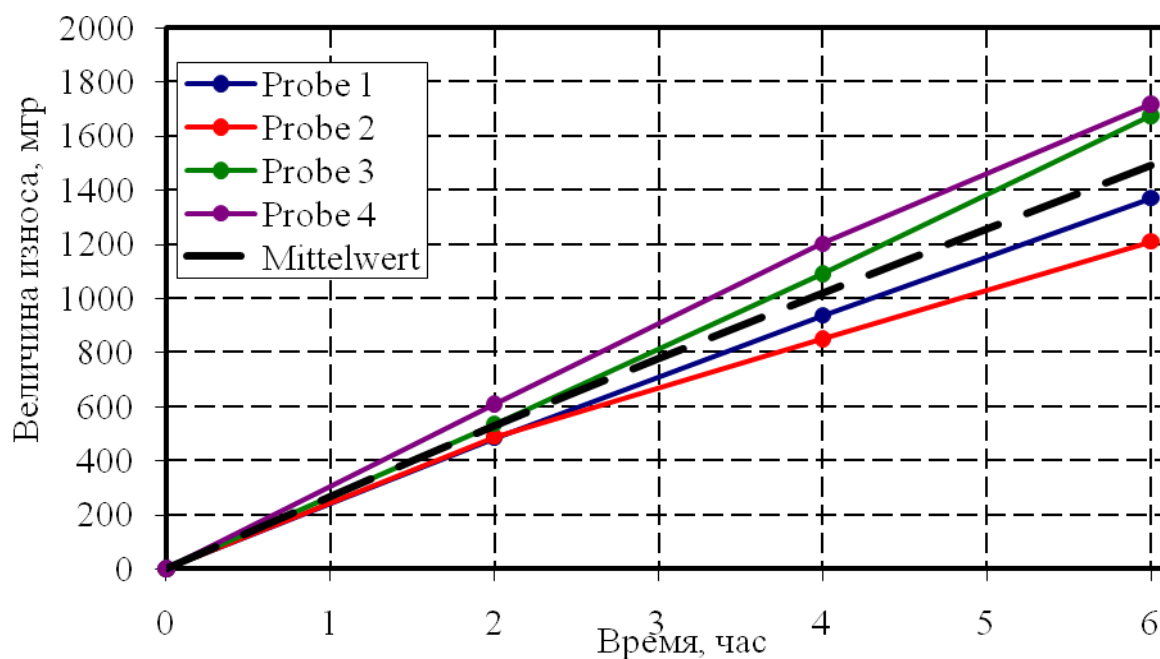


Рис. 11. Результаты испытания на износ по массе наплавленных образцов с сварочной проволокой ED-FK 1.

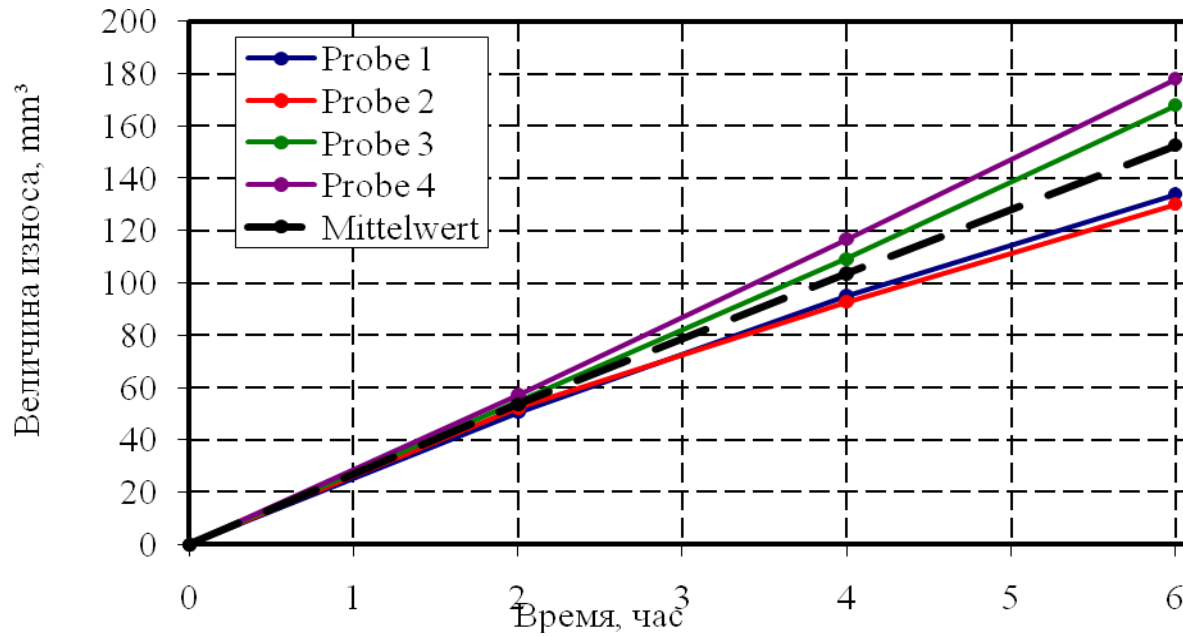


Рис. 12. Результаты испытания на износ по объему наплавленных образцов с сварочной проволокой FD 400 ОА.

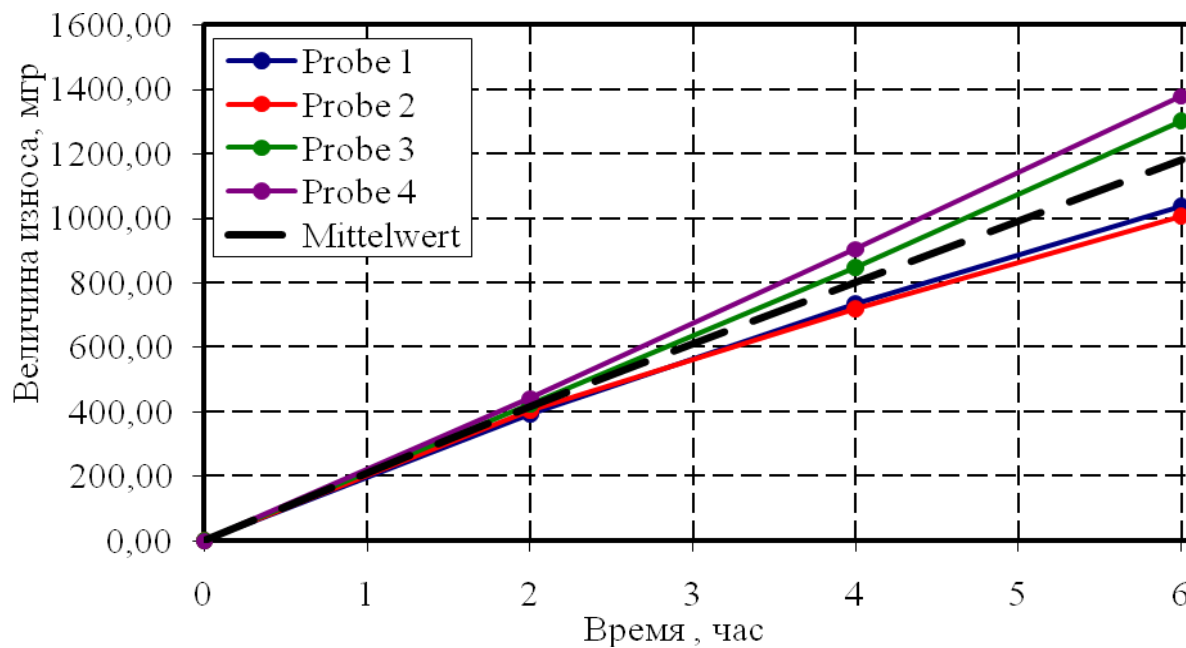
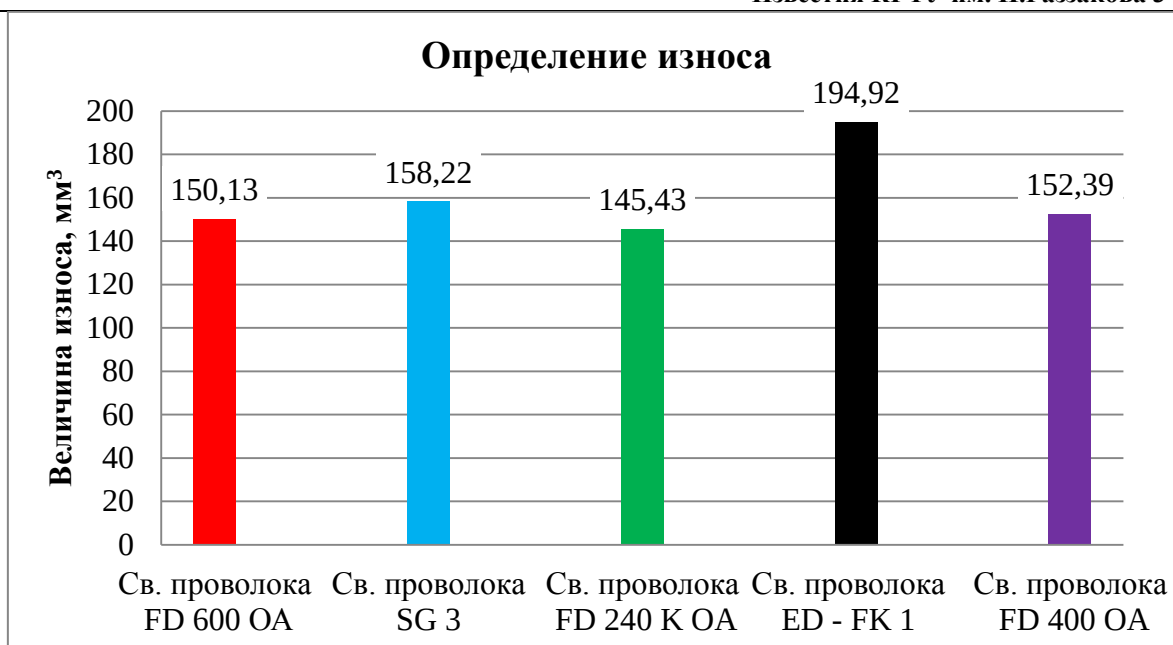


Рис. 13. Результаты испытания на износ по массе наплавленных образцов с сварочной проволокой FD 400 ОА.

На рис. 14 приведена график сравнительной величиной износа по объему наплавленных образцов. Как видно из графика образец с сварочной проволокой FD 240 КОА показал максимальную износостойкость.

**Вывод**

Наплавленный образец с сварочной проволокой FD 240 KOA показал максимальную износостойкость. В связи с этим мы предлагаем Государственному предприятию «Кыргыз Темир Жолдору» использовать данную сварочную проволоку для восстановления изношенных корпуса буксы.

Список литературы

1. Кузнецов С.А. Технология ремонта автотранспортных средств. Учебное пособие – Кемерово: КузГТУ, 2006.-186с.
2. Ремонт сваркой и износостойкой наплавкой корпуса буксы. Технология инструктория. Ти 05-02-Б-2010. Москва 2010
3. P. Guempel. “RostfreieStaehle”, http://kakapo.ub.tu-clausthal.de:8080/DB=1/SET=6/TTL=9/MAT=/NOMAT=T/CLK?IKT=1008&TRM=%3C&cvtourl%3E_Renningen-Malmsheim, expert-Verl., 2001
4. K. Schilling, J. Gollner, T. Ryspaev, R. Reiter, V. Wesling. “Optimization of the welding process of high alloyed steels and improvement of corrosion behaviour of welded joints”, Materials and Corrosion 2005, 56, No. 3, pp. 174-184.

References

1. Kuznetsov SA The technology of repair vehicles. Tutorial - Kemerovo KuzGTU, 2006.-186s.
2. Repair welding and surfacing wear-resistant the housing axle box. The technology instruction. Ti-B 05-02 2010. Moscow 2010
3. P. Guempel. “RostfreieStaehle”, http://kakapo.ub.tu-clausthal.de:8080/DB=1/SET=6/TTL=9/MAT=/NOMAT=T/CLK?IKT=1008&TRM=%3C&cvtourl%3E_Renningen-Malmsheim, expert-Verl., 2001
4. K. Schilling, J. Gollner, T. Ryspaev, R. Reiter, V. Wesling. “Optimization of the welding process of high alloyed steels and improvement of corrosion behaviour of welded joints”, Materials and Corrosion 2005, 56, No. 3, pp. 174-184.

УДК:621.791.011:669.715

ОПТИМИЗАЦИЯ СВАРОЧНЫХ РЕЖИМОВ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ (AL-MG-SI) МАРКИ 6082T6 В МИГ (МЕТАЛЛ ИНЕРТ ГАЗ) СВАРКЕ

Белекова Ж.Ш., Орозбаев А.А., аспиранты КГТУ им. И. Раззакова, Кыргызстан, 720044, г. Бишкек, пр. Мира 66, e-mail : jyldyza.88@mail.ru

Цель статьи- провести сравнительные исследования по режимам сварки алюминиевых сплавов (Al-Mg-Si) марки 6082T6. Авторами рассмотрена четыре разные параметры сварки на установке EWM-coldArc.

Предложен оптимизированный режим сварки в среде защитного газа МИГ, а именно новейшего метода сварки EWM-coldArc. В ходе сварочных работ со сплавом (Al-Mg-Si) марки 6082T6 были оптимизированы такие параметры как: напряжение, сила тока, скорость подачи проволоки и скорость сварки.

Ключевые слова: алюминий сплав, параметры сварки, оптимизация сварки, напряжение, сила тока, скорость подачи проволоки, скорость сварки.

OPTIMIZATION OF WELDING MODES OF ALUMINIUM ALLOYS (AL-MG-SI) OF MODEL 6082T6 MIG (METALLINERT GAS) WELDING.

Belekova Zh. Sh., Orozbaev A. A., KSTU named after I. Razzakov, Kyrgyzstan, 720044, Bishkek
e-mail: jyldyza.88@mail.ru

Purpose of article- is to conduct comparative researches on the modes of welding of aluminum alloys (Al-Mg-Si) of the model 6082T6. Authors examined four different welding parameters on EWM-coldArc. Proposed optimized the welding mode with inert gas MIG, actually the newest method of welding with EWM-coldArc. During welding with an alloy (Al-Mg-Si) with modes 6082T6 was optimized parameters such as voltage, current, wire feed speed and welding speed.

Keywords: aluminum alloy, welding parameters, optimization of welding voltage, current, wire feed speed, welding speed.

Технология сварки алюминия и его сплавов достаточно многообразна, виды сварки перечислены выше и имеют ряд особенностей. К числу основных особенностей сварки алюминия и его сплавов любым из перечисленных методов относятся: необходимость удаления окисной пленки с поверхности свариваемых изделий, тщательная подготовка под сварку, предварительный подогрев и др. Для алюминия и его сплавов применяют практически все промышленные способы сварки плавлением. К основным методам сварки относятся: ручная дуговая сварка покрытыми электродами (ММА), аргонодуговая сварка неплавящимся вольфрамовым электродом с подачей присадочной проволоки (TIG), плазменная сварка, полуавтоматическая сварка в защитном газе – бывает как минимум четырех разновидностей (импульсная полуавтоматическая сварка, традиционная полуавтоматическая сварка, полуавтоматическая сварка с управляемым массопереносом на инверторном источнике питания, полуавтоматическая сварка на источниках питания типа ВД-306ДК с комбинированной вольтамперной характеристикой). Другие виды сварки алюминия и его сплавов, такие как автоматическая сварка под слоем флюса и газовая сварка применяются значительно реже и рассматриваться не будут. Каждый способ сварки имеет свои особенности, которые необходимо учитывать для наиболее эффективного их использования при изготовлении изделий различного назначения. Целью данной работы является сравнение результатов сварки в среде защитного газа и нахождение оптимального режима сварки.

Материалы и методика экспериментов

В данной работе были использованы в качестве основного свариваемого материала листы алюминиевого сплава (Al-Mg-Si) марки 6082T6 аналог российского сплава (АД35) с толщиной 6 мм и в качестве сварочной проволоки AW-ALMg 4,5 с диаметром 1,2 мм. В таблице 1 приведены химические составы основного материала и сварочной проволоки.

Табл. 1. Химический состав основного металла и сварочной проволоки (масс %)
AlSi1MgMn6082T6(основной материал)

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti
0,7-1,3	0,5	0,1	0,40-1,0	0,6-1,2	0,25	0,2	0,1

AW-ALMg 4,5(проволока)

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Zr
0,25	0,40	0,05	0,9	4,9	0,15	0,25	0,15	0,15

Сварочные работы на сплаве AlSi1MgMn 6082T6 были выполнены на установке Института сварки и разделительных технологий металлов (ISAF TU Clausthal, Germany) с использованием сварочной установки EWM 551 alphaQ (рис.1), которая позволяет провести сварку/наплавку металлических материалов как в режиме EWM-coldArc так и в режиме EWM-forceArc.



Рис.1. Сварочная установка ISAFc техникой EWM

В качестве защитного газа был применен VarigonHE30 (He 30%+Ar70%) с объемом потребления 15 л/мин. Способ сварки EWM ColdArc. Параметры процесса сварки приведены в таблице.2.

Табл. 2. Параметры сварки и технологии для сварочных работ.

№	Напряжение [V]	Сила тока [A]	Скорость подачи проволоки [м/мин]	Скорость сварки [м/мин]
1	21	227	11	0,7
2	21	227	11	0,6
3	21	227	11	0,5
4	21	227	11	0,4

На рис.2 показаны сварочные работы, полученные в соответствии со сварочно-технологическими параметрами из табл.2. Из параметров можно отметить, что изменяя скорость сварки, был достигнут оптимальный режим для сплава 6082Т6. Остальные параметры не изменялись. Как видно из данного рисунка, параметры сварки образца №1 дают не качественный сварной шов, что можно заметить и в образцах №2 и №3, так как на лицевой стороне шов получился а на оборотной стороне сплав не переплавился (не провар), что говорит о не лучшем качестве сварного шва. Лучший сварной шов видно на образце №4, из рисунков можно заметить и оборотную сторону сварного шва.

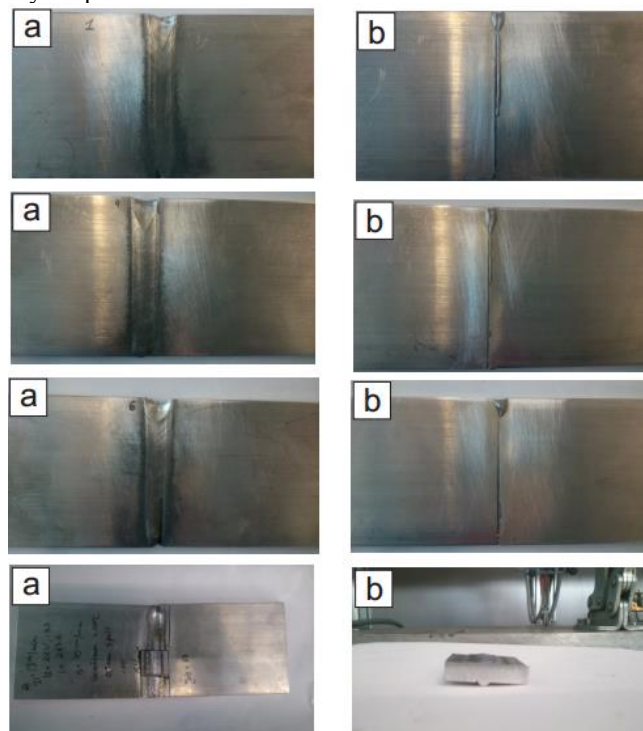


Рис.2. Сварные швы на сплаве AlSi1MgMn6082Т6: а) лицевая сторона; б) оборотная сторона

Выводы. Результаты показывают оптимальный режим сварки в образце №4. Уменьшение скорости сварки показывает более ровный и качественный шов сварки. При сварке алюминиевых сплавов (Al-Mg-Si) марки 6082T6 рекомендуется уменьшить скорость подачи проволоки. Как показано выше, тонколистовые конструкции предъявляют к сварочному оборудованию и технологии особые требования при сварке – прочность сварных соединений и ограниченное тепловложение. Таким требованиям в полной мере соответствует оборудование с технологией coldArc. При сварке легких материалов (алюминия, магния) рекомендуется сваривать с технологией EWM-coldArc.

Список литературы

1. <http://www.unimetllc.com/articles/overview6k>
2. <http://www.goodwill-ru.com>
3. P. Guempel. "RostfreieStaeble", Renningen-Malmsheim, expert-Verl., 2001
4. K. Schilling, J. Gollner, T. Ryspaev, R. Reiter, V. Wesling. "Optimization of the welding process of high alloyed steels and improvement of corrosion behaviour of welded joints", Materials and Corrosion 2005, 56, No. 3, pp. 174-184.
5. Интернет страница фирмы FroniusInternationalGmbH: http://www3.fronius.com/new/new_developments.pdf.

References

1. <http://www.unimetllc.com/articles/overview6k>
2. <http://www.goodwill-ru.com>
3. P. Guempel. "RostfreieStaeble", Renningen-Malmsheim, expert-Verl., 2001
4. K. Schilling, J. Gollner, T. Ryspaev, R. Reiter, V. Wesling. "Optimization of the welding process of high alloyed steels and improvement of corrosion behaviour of welded joints", Materials and Corrosion 2005, 56, No. 3, pp. 174-184.
5. Website of the company FroniusInternationalGmbH: http://www3.fronius.com/new/new_developments.pdf.

УДК 621. 888. 6: 699.841

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РЕЗИНОМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ОПОР ДЛЯ ЗАЩИТЫ ОТ ВРЕДНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ КОЛЕБАНИЙ

Аскарбеков Руслан Нуркожоевич, аспирант КГТУ им.И.Раззакова, 720044, Кыргызстан, г. Бишкек, пр. Мира 66, e-mail: askarbekovu@gmail.com

Цель статьи – выявить эффективность использования резинометаллических опор для систем сейсмо- и виброизоляции зданий и сооружений. А также использование данных типов опор для виброизоляции оборудования, транспортных машин, устройств и т.п. В работе приводятся результаты экспериментов с использованием вибростенда (страна изготовитель ФРГ) и виброметра (страна изготовитель РФ). Были изготовлены макет здания из металлической квадратной трубы, сваренные между собой для жесткого соединения. Рассматривается изменение частоты колебаний в зависимости от расположения датчиков, преобразователей сигналов на макете. Они установлены в разных частях, как по высоте, так и по всему объему макета. Все поступающие сигналы обрабатываются модулем, который затем передается через порт RS432 на системный блок ПК. Программное обеспечение Vibroscope позволяет обработать сигнал частотой 0,4 сек и вывести в виде графика на монитор и различать сигналы по специальным световым маркерам. Диапазон измерений от 10-1000 Гц, на графиках рассматривается частота колебаний от времени.

Ключевые слова: вибрация, колебания, резинометаллические опоры, виброметр, частота и амплитуда колебаний, макет

USING OF RUBBER METAL ELEMENTS FOR PROTECTION FROM HARMFUL EFFECTS OF FLUCTUATIONS

AskarbekovRuslanNurkojoevich, PhD student of KSTU named after I.Razzakov, 720044, 66 Mir ave, Bishkek, Kyrgyzstan, e-mail: askarbekovu@gmail.com

The purpose of the article - to identify the effectiveness of the use of rubber metal elements for seismic and vibroisolation of systems buildings and structures. Using of these types of elements for vibration isolation equipment, transport vehicles, devices, etc. In the paper presents the results of experiments using the shaker (country manufacturer Germany) and vibrometer (country manufacturer of RF). Were made layout of the building from the metal square tube

and are welded together for a rigid connection. This article explains how to depend on the change oscillation frequency also according the location of the sensors, signal converters on the layout. The sensors are installed in different parts at different heights of the layout. All incoming signals are processed by the module, which is then transmitted through an RS432 to the system block of PC. The software Vibroscope allows to process signal frequency of 0.4 seconds, and output as a graph on the monitor and to distinguish between signals with a special marker light. Measuring range 10-1000 Hz, in the graphs considered the oscillation frequency over time.

Keywords: vibration, fluctuations, rubber metal elements, vibrometer, the frequency and amplitude of the oscillations, the layout

Защита зданий и других инженерных сооружений от вредного воздействия колебаний является на данный момент актуальной задачей. Источниками колебаний могут быть и сейсмическая волна в грунте и вибрация техногенного характера (железная дорога, магистраль, строительные машины и т.п.). Существующие санитарные и строительные нормы и правила не дают четкого представления защиты от колебаний в жилых домах и в промышленных зданиях. При наличии колебаний грунта или вибрации в нем, возникают колебания в железобетонных конструкциях зданий, которое сопровождается шумом. Воздействие вибрации и шума на организм человека является опасным в зависимости от продолжительности, частоты и амплитуды вибрации, а также от характера воздействия. Проектировщики и инженеры предлагают все новые и новые методы защиты от вредного воздействия шума, вибрации, колебаний в здании. Проверенная временем и оказавшаяся более пригодным для защиты зданий от вредных воздействий колебаний в мире, является резинометаллические опоры (РМО), используемые в Японии, США, Германии и во многих развитых странах [2,4].

Резинометаллическая опора располагается под основанием несущих колонн здания. РМО воспринимает вес всего здания и при знакопеременных горизонтальных перемещениях грунта, позволяет за счет упругих свойств резины перемещаться без особых разрушений друг относительно друга нижний и верхний пластины опоры, а значит и само здание относительно фундамента в заранее рассчитанных пределах [5].

Для определения эффективности применения таких опор в лаборатории кафедры «Механика и промышленная инженерия» КГТУ был проведен эксперимент. В эксперименте был создан макет здания и макет РМО в масштабе 1:10.

Макет здания изготовлен из квадратной сваренной трубы между собой (рис. 1) для жесткого соединения. Макет изготовлен из двух уровней, расстояние между колоннами 0,6 м (что соответствует 6 метрам в реальных условиях) высота первого и второго уровней по 0,3 м (3 метра) каждая, профиль трубы: 0,04х0,03 м, толщина 0,003 м, изготовлен из стали 3, масштаб подобран 1:10. Вес макета 33 кг.

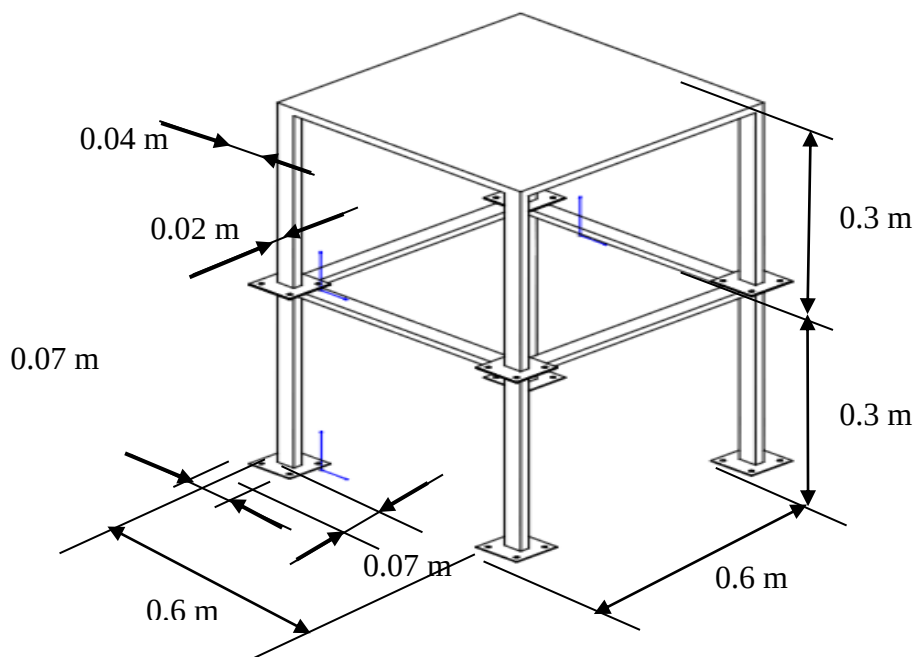




Рис. 1. Геометрические данные макета здания (каркасного типа).

Резинометаллические опоры (рис. 2) изготовлены из резиновой вальцованной смеси ИВБЗ 6190, ТУ 2512-046-00152081-2003, твердостью 50 ед. по Шору. Геометрия резинового слоя: высота 0,04 м, диаметр 0,04 м, металлические пластины диаметром 0,06 м и толщиной 0,004 м.

В резиновом слое имеется шейка, для увеличения возможных перемещений в горизонтальном направлении, а также для устойчивости резинового слоя при осадке от веса конструкции. Высота углубления 5 мм.

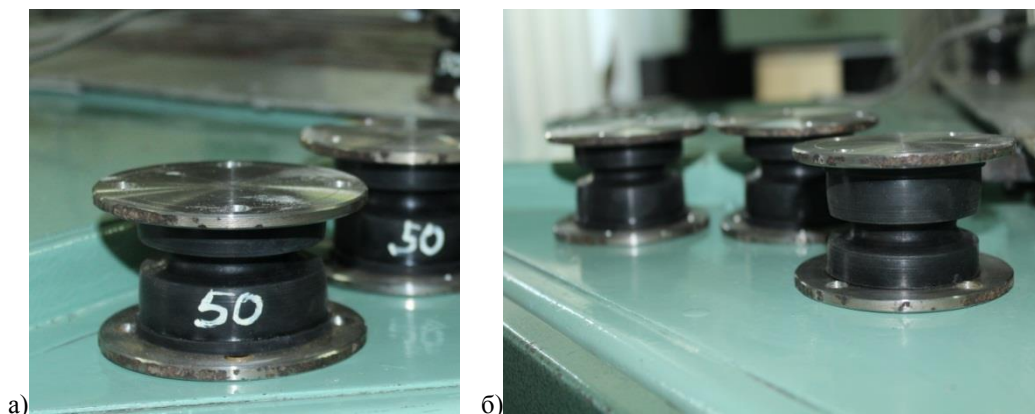


Рис. 2. Общий вид резинометаллических опор.

Источником колебаний является вибростенд (рис. 4), оборудованный тремя электромоторами мощностью 400 Вт, частота вращения вала электродвигателя от 0 до 200 Гц, амплитуда колебаний от 0,008 до 0,04 м.

Изменяется амплитуда колебаний с помощью специального вала, а частота регулируется с помощью тумблера, который установлен на пульте управления вибростенда. На верху вибростенда находится столешница размерами 0.6x0.6м, в котором имеются пазы для крепления к нему объекта или макета. Колебания в вибростенде возникают по трем осям X, Y, Z и направления их приведены на рисунке 3.

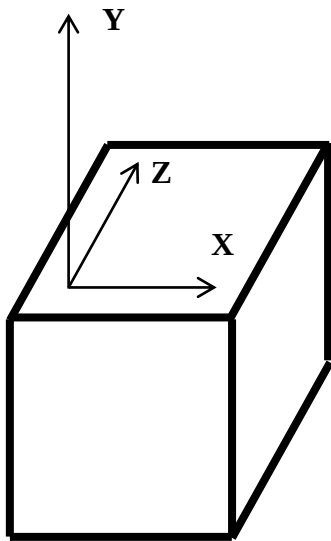


Рис. 3. Направление осей при вибрации столешницы.



Рис. 4. Вибростенд.

Для измерения вибрации, возникающие в макете здания, использовалась станция технической диагностики СТД 2060 (рис. 5), российского производства. Данное устройство состоит из модуля обработки сигнала, датчиков-преобразователей сигналов и программного обеспечения. Сигналы обрабатываются частотой 0,4 секунды по шести каналам преобразователей и различаются при выводе на монитор разными световыми маркерами.



Рис. 5. Внешний вид СТД 2060 и подключение ее к компьютеру.

Преобразователи крепятся с помощью болтов к объекту исследования и подсоединяются к компьютеру через провод, длиной 1,5м. По каналу RS 432 и специальный декодер сигналы поступают на компьютер, в котором воспроизводятся через программное обеспечение на монитор. Имеется также функция записи на видео развитие частоты колебаний от времени.



Рис. 6. Подключение STD 2060 к датчикам и крепление датчиков на макет здания.

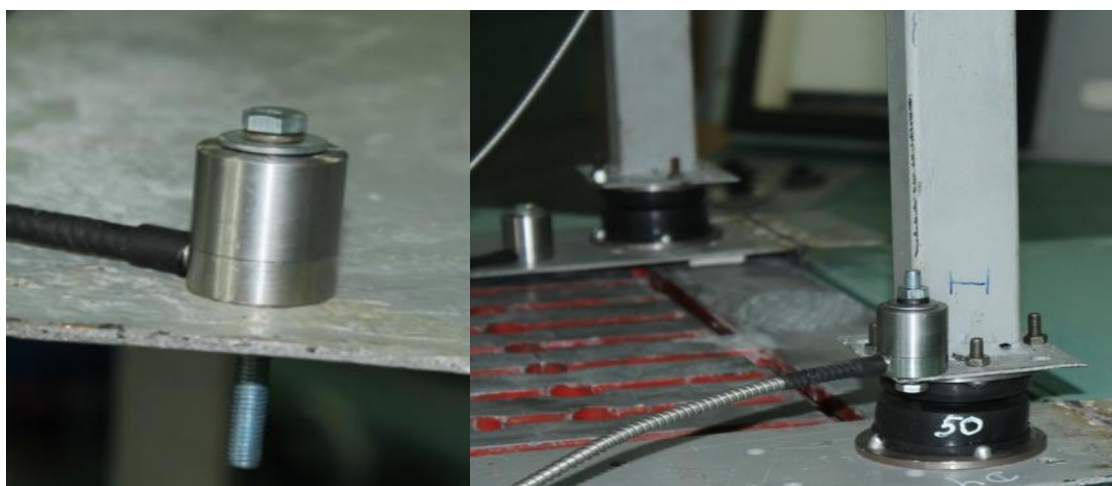


Рис. 7. Датчики, преобразователи сигнала, закрепленные на конструкции.

Резинометаллические опоры находятся под воздействием статической нагрузки от веса конструкции и за счёт собственных колебаний упругого (резинового) слоя будут гасить колебания распространяющегося от основания до верхней точки конструкции [5]. РМО установлены под колоннами 4 шт. и между соединениями первого и второго уровней макета здания (4 шт.) рис. 6.

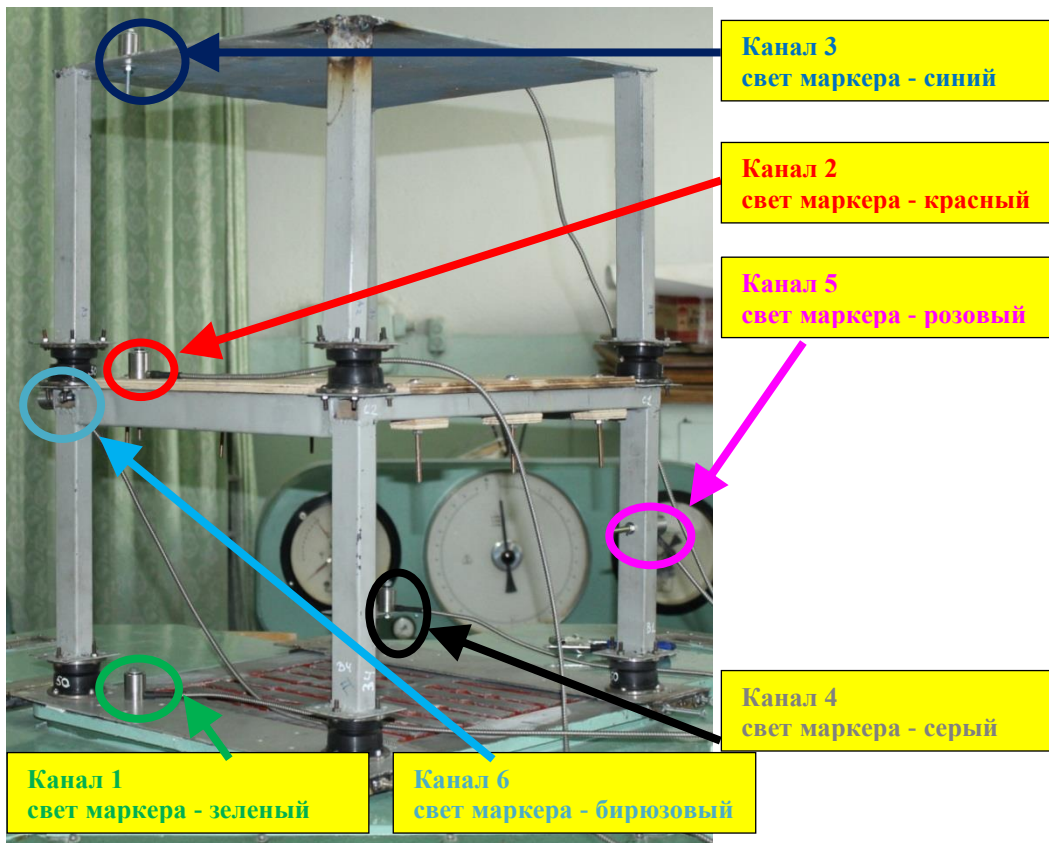


Рис. 8. Схема подключения датчиков

В металлических пластинах РМО имеются заранее проделанные отверстия для крепления ее к объекту защиты и основанию. Крепление РМО к макету осуществили с помощью болтов диаметром 0,006 м, а крепление к подошвам – заклепками. В свою очередь подошвы закреплены к столешнице вибростенда болтами через специальные пазы. Таким образом, макет закреплен жестко к вибростенду через РМО.



Рис. 9. Пульт управления вибростендом

Скорость колебаний столешницы подается постепенно через специальный пульт управления. Амплитуда колебаний заранее установлена и равна на каждой оси 0,016 м. Температура при проведении эксперимента была комнатной и равнялась 22 градусам по Цельсию. Возникающий шум при работе электродвигателей не измерялся. Схема расположения датчиков СТД 2060 приводятся на рисунке 8.

Датчик Канала 1, свет маркера зеленый установлен на самой столешнице и замеряет ее частоту колебаний. Далее Канал 2 свет маркера красный замеряет колебания на верху первого уровня макета, т.е. показывает разницу между частотами колебаний на столешнице и конструкции защищенной РМО. Канал 3 свет маркера синий замеряет колебания на верху второго уровня макета и показывает разницу частоты колебаний между первыми двумя и соответственно частоту колебаний при использовании РМО в межуровневом соединении. Используемых РМО 8 шт., датчики расположены так чтобы уловить разницу частоты колебаний при разных уровнях соединении РМО.

Канал 4 свет маркера серый установлен на основании колонны сразу после крепления к РМО и замеряет колебания после крепления РМО, канал 5 свет маркера розовый, показывает колебания в середине

колонны, тем самым показывая распространение колебаний от уровня к уровню здания. Канал 6 свет маркера бирюзовый показывает колебания в межуровневом соединении перед креплением к РМО (в отличие от Канала 2).

Далее внизу приведем графики, записанные при помощи специального программного обеспечения в зависимости частоты колебаний от времени. На графике получены 6 разных кривых и различаются по свету маркера. Свет маркера соответствует каналу, распределение светов указано на рисунке 8. Возбуждаемая вибростендом частота колебаний, нарастает постепенно и соответствует временной шкале и также приводится на рисунке.

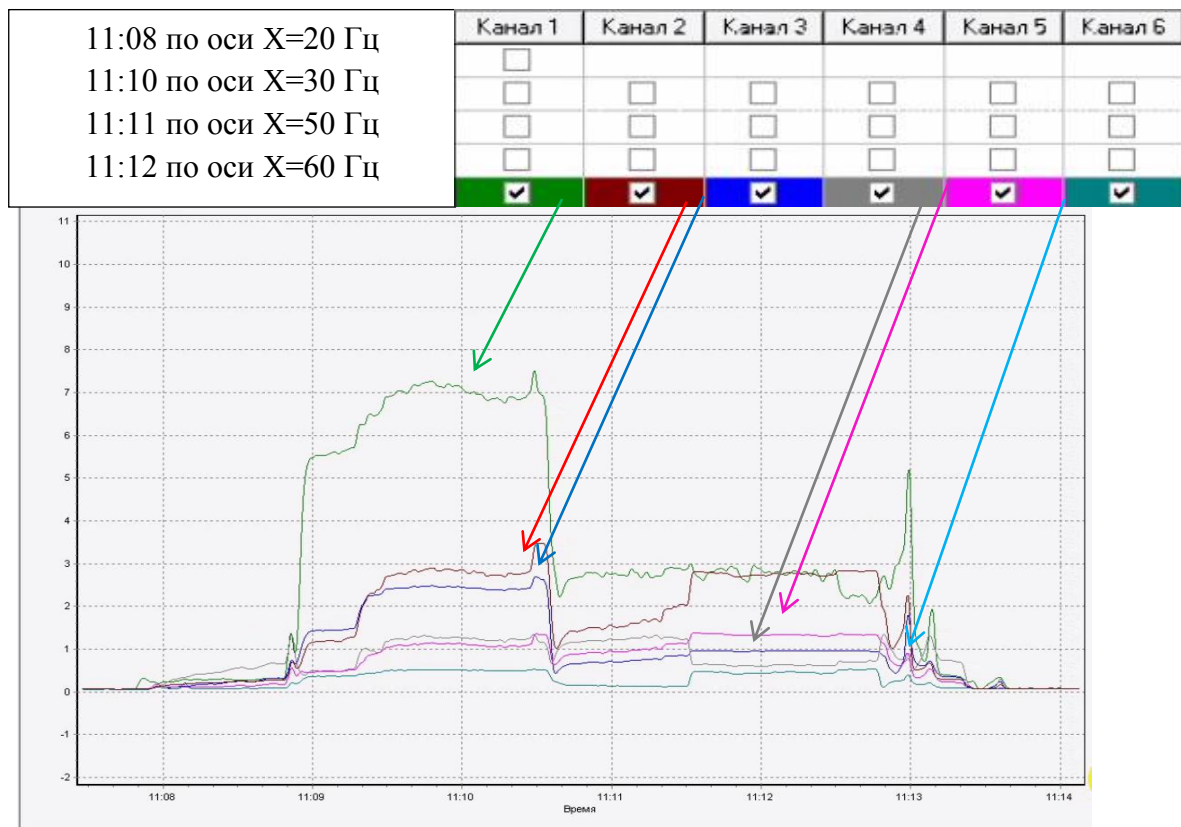


Рис. 10. Амплитуда колебаний =16 мм, резина твердостью 50 по Шору

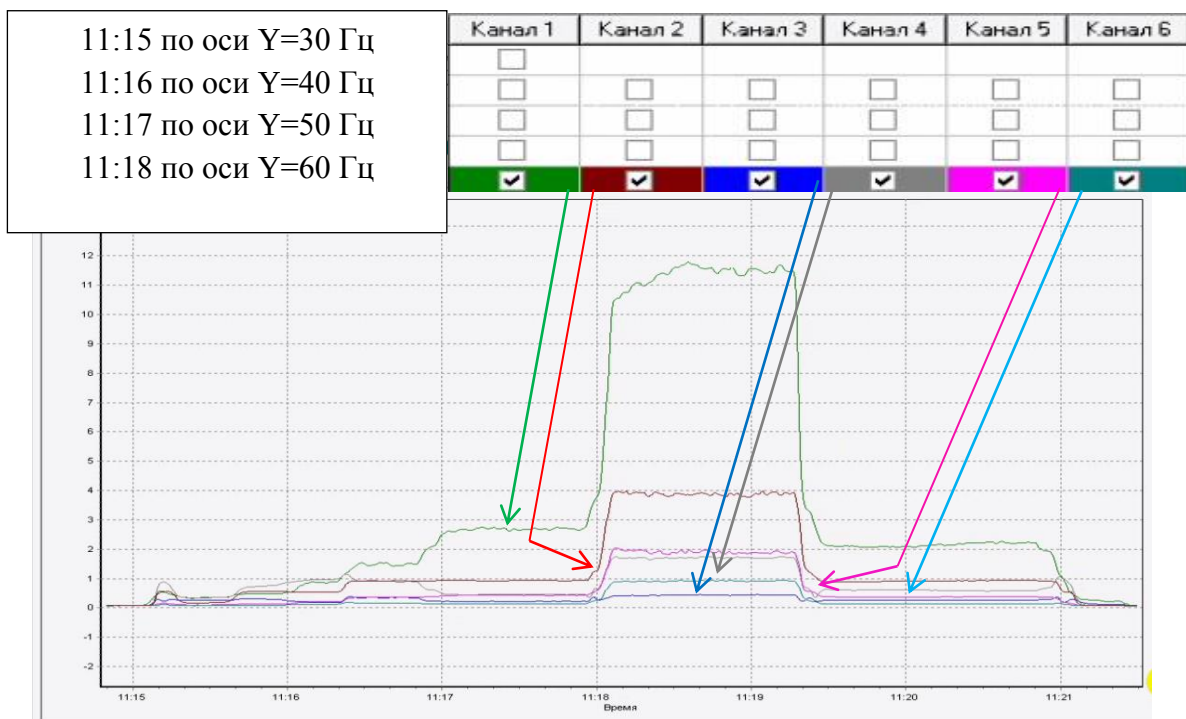


Рис. 11. Амплитуда колебаний =16 мм, резина твердостью 50 по Шору

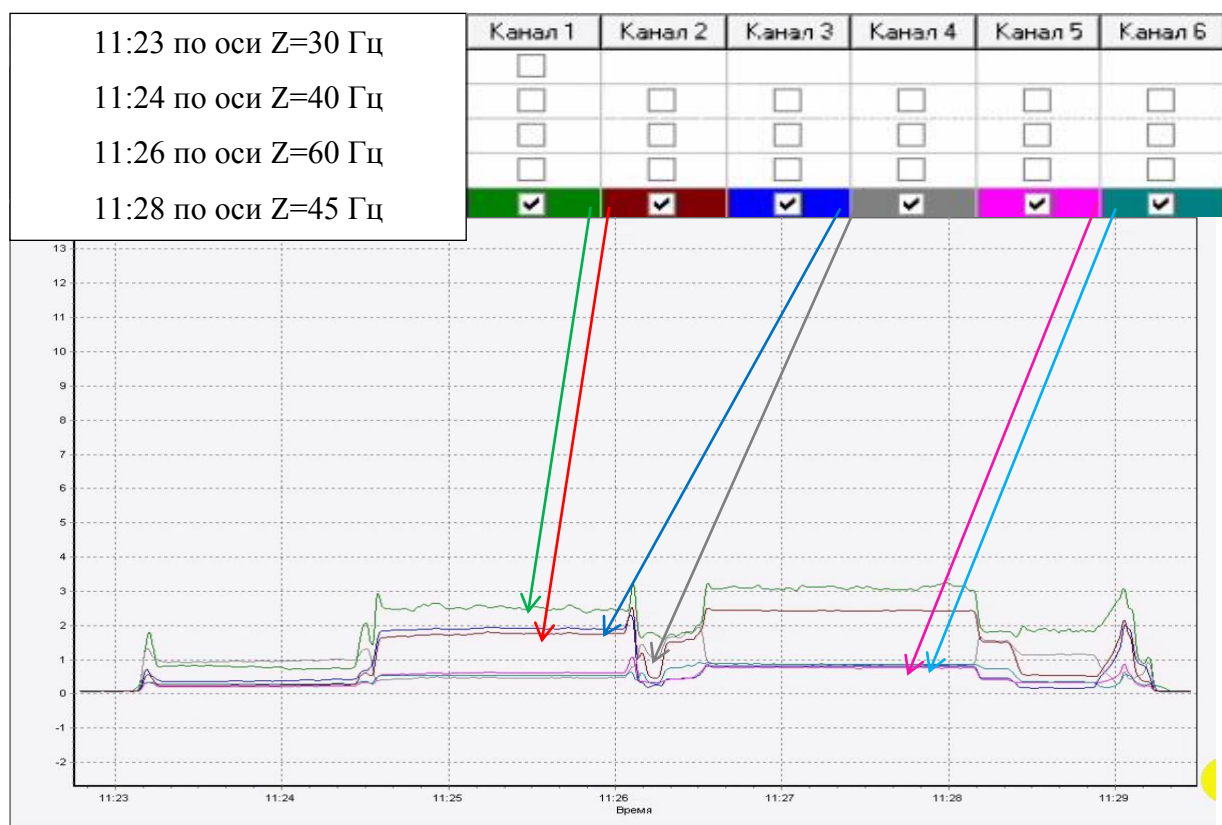


Рис. 12. Амплитуда колебаний =16 мм, резина твердостью 50 по Шору

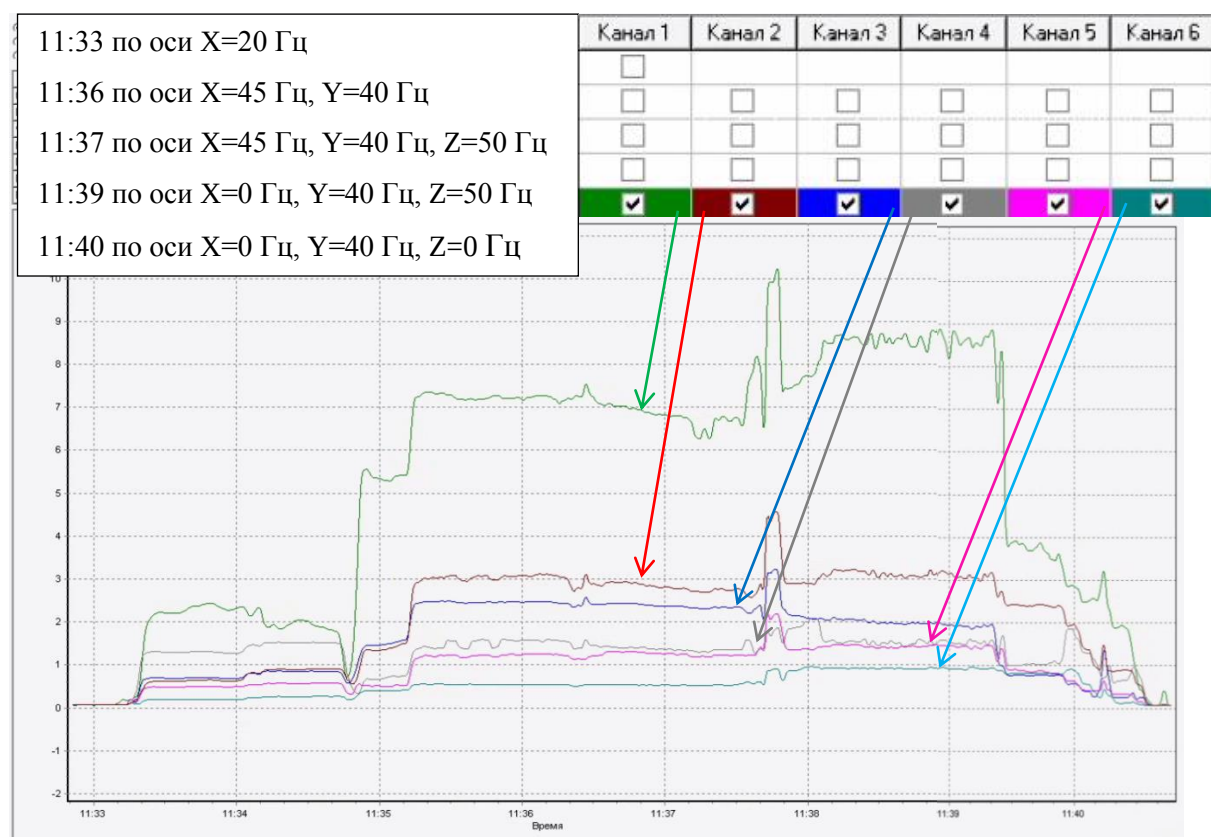


Рис. 13. Амплитуда колебаний =16 мм, резина твердостью 50 по Шору

На приведенных графиках видно разница между зеленым, красным и синим маркером, это отображается разница между частотами колебаний макета с использованием резинометаллических опор. На рисунке 10 видно, что частота колебаний столешницы вибростенда достигает 7Гц, а на верху первого уровня

Далее рассмотрим изменение частоты колебаний зафиксированные на конструкции, полученные тем же способом в тех же условиях, но уже при другой амплитуде колебаний. Изменение амплитуды колебаний, размах колебаний продемонстрирует уже другое влияние на макет здания и работу макетов РМО. Скорость подачи колебаний на столешнице также нарастает постепенно.

Колебания по оси X, амплитуда колебаний $A=16, 20, 24$ мм.

Частота колебания фиксируemos, Гц

Частота вращения вала вибростенда, Гц

Legend:

- $A=16$
- $A=20$
- $A=24$
- $A=16; 50; 7$
- $A=20; 50; 7,5$
- $A=24; 50; 4,5$
- $A=16; 40; 5,5$
- $A=20; 40; 6$
- $A=24; 50; 3,2$
- $A=16; 50; 3$
- $A=20; 50; 2,2$
- $A=24; 50; 2,5$
- $A=16; 40; 1,5$
- $A=20; 30; 2$
- $A=24; 40; 1$
- $A=16; 30; 0,2$
- $A=20; 30; 3,5$
- $A=24; 30; 0,8$
- $A=16; 0; 0$
- $A=20; 0; 0$
- $A=24; 0; 0$

ТРАНСПОРТ И МАШИНОСТРОЕНИЕ

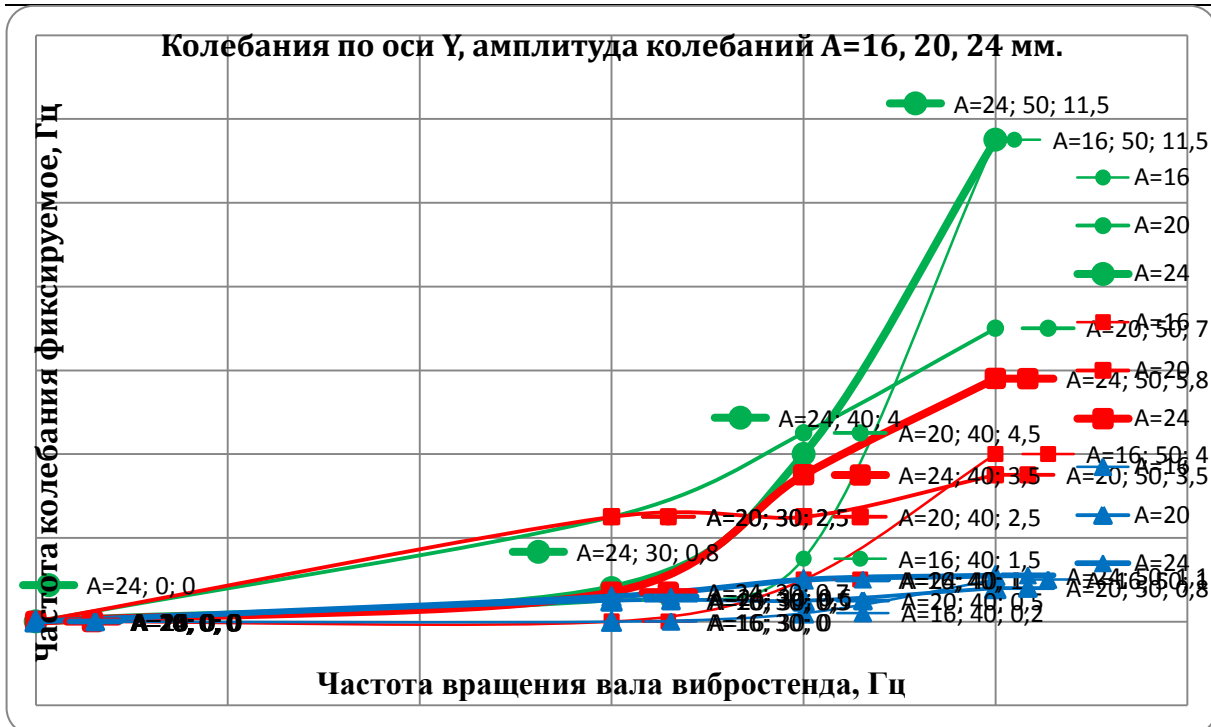


Рис. 14, б) Изменение амплитуды колебаний, вибрация происходит по направлению оси Y

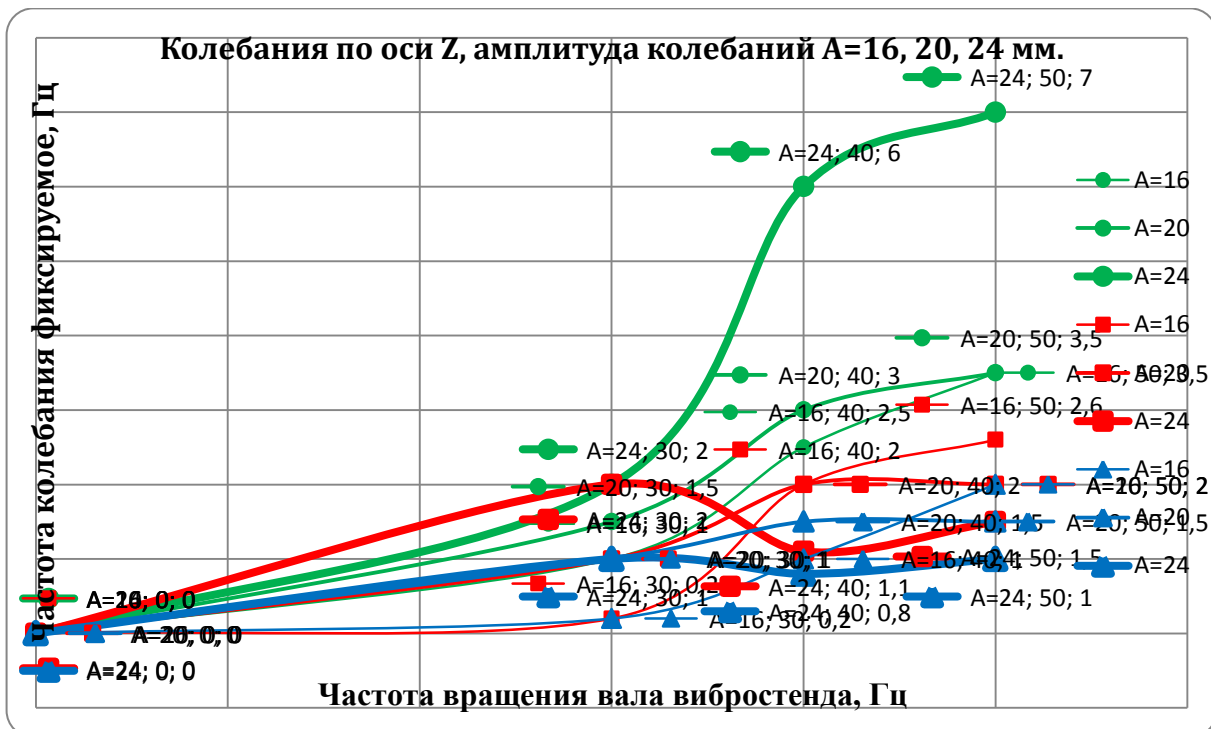


Рис. 14, в) Изменение амплитуды колебаний, вибрация происходит по направлению оси Z

Здесь на рисунке 14 приводится изменение амплитуды колебаний равное 16 мм, 20 мм и 24 мм. Зеленым светом и отмеченные круглым маркером приводятся также данные с Канала 1, что установлено на столешнице вибростенда. Амплитуда равное 24 мм на столешнице показывает как видно из рисунка максимальное значение колебание 7 Гц, тогда как при амплитуде 16 и 20 мм частота колебаний равна 3,5 Гц.

В остальных случаях для датчиков Канала 2 и 3, красного (маркер квадрат) и синего (маркер треугольник) светов при амплитуде равное 24 мм показывает значение меньше, чем при амплитудах 16 и 20 мм, которые имеют между собой разницу в $\frac{1}{2}$ Гц. Здесь приводятся диаграммы отдельно по осям, как направляются источники вибрации - оси координат указано на рисунке 3.

Расположение кривых похожа друг на друга в независимости от оси, и максимальная частота соответствует максимальной амплитуде колебаний на столешнице – Канал 1, свет зеленый. По другим кривым

Каналу 2 и 3 света красные и синие можно сказать что, наоборот с увеличением амплитуды уменьшается и фиксируемая частота колебаний.

Из полученных результатов видно эффективность использования подобных слоистых эластомерных виброизоляторов – резинометаллические опоры. За счет упругой энергии в резиновом слое РМО гасит колебаний, а металлические элементы служат для крепления и распределения нагрузки от веса объекта [4]. На этих экспериментах имитировалась лишь единовременное колебание, вынужденное, когда колебания от источника к объекту передается по нарастающей в течении короткого промежутка времени (здесь оно равно 5 мин.). В частности имитируются сейсмические колебания и ее влияние на здания и сооружения, или же можно представить как вынужденные колебания при резонансе, аварийном колебании машин и оборудования. При других обстоятельствах время воздействия колебаний на объект можно рассматривать до 60-90 мин.

Естественно продолжительность воздействия колебаний на объект изменить все приводимые в работе диаграммы, результаты и графики.

Используемые на данный момент резинометаллические элементы служат в качестве защитных систем сейсмо- и виброизоляции. Пассивная система виброзащиты, а именно дискретная, основанная на применении резинометаллических элементов, эластомерных слоистых виброизоляторов, позволяет при проектировании несущих конструкций здания иметь более прогнозируемую расчётную схему, а также имеется возможность производить замену вышедших из строя элементов. Немаловажным фактором в условиях действующей рыночной конкуренции, способствующим более интенсивному использованию дискретных систем виброзащиты является их значительно меньшая стоимость по сравнению с системами с распределёнными параметрами жёсткости и существенно большая долговечность. Поэтому применение упругих виброизоляторов является одним из наиболее распространённых методов виброзащиты.

При возникновении колебаний, вибрационного воздействия в здании и сооружениях это автоматически распространяется и на людей и остальные предметы находящиеся внутри. Негативное воздействие вибрации, проявляющееся в виде развития различных патологий, стоит на втором месте (после пылевых) среди профессиональных заболеваний [1]. При воздействии вибрации тело человека рассматривается как сочетание масс с упругими элементами, имеющими собственные частоты, которые для плечевого пояса, бедер и головы относительно опорной поверхности (положение "стоя") составляют 4 ~ 6 Гц, головы относительно плеч (положение "сидя") - 25 - 30 Гц. Для большинства внутренних органов собственные частоты лежат в диапазоне 6 - 9 Гц. Однако, развитие вибрационных патологий зависит не только от частоты, но и амплитуды колебаний, продолжительности воздействия, места приложения и направления оси вибрационного воздействия, демпфирующих свойств тканей, явлений резонанса и других условий. При этом существенное значение имеет индивидуальная чувствительность. Вредное действие вибрации усиливают шум, охлаждение, переутомление, значительное мышечное напряжение, алкогольное опьянение и др.

Список литературы

1. ГОСТ 31319-2006 (ЕН 14253:2003) Вибрация. Измерение общей вибрации и оценка ее воздействия на человека. Требования к проведению измерений на рабочих местах
2. ГОСТ Р 52892-2007. Вибрация и удар. Вибрация зданий. Измерение вибрации и оценка ее воздействия на конструкцию.
3. Дашевский М.А., Моторин В.В., Мамажанов М.А. Виброзащита крупнопанельных зданий. Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века №10/2004. - Режим доступа: <http://www.stroinauka.ru/d26dr3035m0.html>.
4. Ормонбеков Т.О., Бегалиев У.Т. и др. Применение тонкослойных резинометаллических опор для сейсмозащиты зданий в условиях территории Кыргызской Республики. Б.: «Учкун», 2005-215 с.
5. Аскарбеков Р.Н., Рабидинова Ж.Д. Деформирование резинометаллического амортизатора при сжатии // Бишкек: Известия КГТУ им. И.Раззакова 29/2013, Изд-во: «Техник», 2013, 143-147 стр.

References

1. The GOST 31319-2006 (EN 14253: 2003) Izmereniye obshchey vibratsii i otsenka yeye vozdeystviya na cheloveka. Trebovaniya k provedeniyu izmereniy na rabochikh mestakh.[Vibration. The measurement of whole-body vibration and evaluation of human exposure. Requirements for measurement at the workplace]
2. GOST R 52892-2007. Vibratsiya i udar. Vibratsiya zdaniy. Izmereniye vibratsii i otsenka yeye vozdeystviya na konstruktuyu..[Vibration and shock. Vibration of buildings. Measuring vibration at and assessment of its impact on the structure.]
3. Dashevsky M.A., MOTORIN V.V., Mamazhanov M.A. Vibrozashchita krupnopanelynykh zdaniy. Stroitel'nyye materialy, oborudovaniye, tekhnologii XXI veka №10/2004. - Rezhim dostupa: [Vibroprotection large-panel buildings. Building materials, equipment, technologies of XXI century №10 / 2004. - Mode of access:] <http://www.stroinauka.ru/d26dr3035m0.html>.
4. Ormonbekov T.O., Begaliyev U.T. et al. Primeneniye tonkosloynnykh rezinometallicheskih opor dlya seysmozashchity zdaniy v usloviyakh territorii Kyrgyzskoy Respubliki. B.: «Uchkun», 2005-215 s..[The use of thin-rubber supports for seismic protection of buildings in the territory of the Kyrgyz Republic. B. : "Uchkun" 2005-215 p]
5. Askarbekov R.N., Rabidinova J.D. Deformirovaniye rezinometallichesкого амортизатора pri szhatii. [Deformation of rubber-metal shock absorber under compression] // Bishkek News KSTU. I. Razzakova 29/2013, Publ: "Technique", 2013, pp 143-147.

ВЫБОР ПОДВИЖНОГО СОСТАВА НА РЕГУЛЯРНЫХ МАРШРУТАХ В ГОРОДСКОМ СООБЩЕНИИ

Г.Е.Абдураева, Карагандинский государственный университет им. Е.А. Букетова, г. Караганда

В статье проанализированы критерии выбора пассажирского подвижного состава на городских маршрутах. Приводится описание методики расчета основных параметров маршрутов городского пассажирского транспорта. Определены основные положения по распределению подвижного состава между маршрутами транспортной сети. Определены задачи повышения качества перевозочных услуг.

Ключевые слова: городские пассажирские перевозки, маршруты, подвижной состав, пассажиропоток, городской пассажирский транспорт, автобусы, интервал движения.

The article analyzes the criteria for the selection of passenger rolling stock on city routes. Of the methodology for calculating the basic parameters of urban passenger transport routes is described. The basic provisions for the allocation of rolling stock between the lines of the transport network. The tasks to improve the quality of transportation services are defined.

Keywords: urban passenger's transport, routes, rolling stock, passenger, urban passenger transport, buses, range of motion.

В целях совершенствования организации городских пассажирских перевозок и рационального применения различных видов транспорта, а также выбора типа подвижного состава для условий конкретных населенных пунктов разработан и используется ряд методик.

Эти методики позволяют рассчитывать основных параметров маршрутов городского пассажирского транспорта, а также, потребности в подвижном составе по критерию равенства спроса на перевозки их обеспечению пассажирскими местами и распределения его по маршрутам.

Профессором Д.С. Самойловым предлагается выбирать подвижной состав по методике, суть которой состоит в следующем. Получают данные о пассажирообороте по маршрутам перевозок и определяют расчетным путем среднюю вместимость подвижного состава. График распределения объема перевозок по маршрутам совмещают со шкалой вместимости подвижного состава так, чтобы средняя расчетная вместимость совпадала со средним пассажиропотоком на маршруте. В основу закладывают критерии необходимых маршрутных интервалов минимальных и максимальных. Затем, исходя из средних величин пассажиропотока на маршруте и средней вместимости, а также среднего интервала определяют границы пассажирооборота, осваиваемого подвижным составом с этой средней вместимостью.

По этой методике находят основной тип подвижного состава. Далее, если есть необходимость, дополнительно находят вместимость подвижного состава для осуществления перевозок на других маршрутах, расположенных на границах минимальных и максимальных интервалов. В результате расчетов получают второй, третий тип подвижного состава - до тех пор, пока не будут ликвидированы все разрывы границ удельного пассажирооборота.

Данная методика предоставляет возможность распределить подвижной состав между маршрутами по их удельному пассажирообороту и определить количество подвижного состава.

Предполагается, что для городов 1-й и 2-й групп возможно использование различных видов транспорта, а в городах 1 - 4-й групп населенности (табл. 1) основная масса перевозок должна выполняться подвижным составом средней вместимости 65 - 90 пассажирских мест.

Удельный вес подвижного состава малой вместимости не должен превышать 20% и должен уменьшаться с ростом численности населения города, при этом должна увеличиваться доля подвижного состава большой вместимости.

Для городов 5-й группы целесообразно использовать только микроавтобусы; автобусы разной вместимости рекомендуются для городов 4-й и 3-й групп населенности. В данном случае определяющим является значение пассажирооборота.

Таблица 1. Расчеты вместимости подвижного состава для городов разных групп населенности (методика проф. Д.С. Самойлова).

Группа городов	Численность населения, тыс. чел.	Средняя вместимость единицы подвижного состава, мест
1	Свыше 1000	120-130

2	От 500 до 1000	90-100
3	От 250 до 500	75-80
4	От 100 до 250	65-70
5	От 50 до 100	45-50

В зависимости от числа пассажиров, проезжающих по наиболее пассажиронапряженному перегону маршрута за 1ч. в одном направлении, выбирают автобусы из табл. 1. Указанные соотношения между интенсивностью пассажиропотока и вместимостью используемых автобусов предлагается рассматривать как примерные.

В общем случае необходимо руководствоваться сохранением приемлемого для пассажиров интервала движения автобусов $t_u = 1... 12$ минут и затратами на эксплуатацию автобусов. Эти затраты возрастают пропорционально пассажироместимости автобуса, но при их повышении требуется меньшее число автобусов, в связи с чем затраты для автобусов различных типов различны. Поэтому выполняют экономические расчеты, сопоставляя три варианта: исходный (согласно приведенным рекомендациям) и два конкурирующих (автобусы меньшей и большей пассажироместимости).

Если обобщить практические рекомендации по распределению подвижного состава между маршрутами транспортной сети, существующие в настоящий момент, то их можно определить в следующих основных положениях:

1. Чем равномернее пассажиропоток по длине маршрутов, тем меньшим количеством подвижного состава можно освоить заданные объемы при лучшем качестве транспортного обслуживания. Поэтому распределение подвижного состава по маршрутам в действующих транспортных сетях городского пассажирского транспорта общего пользования должно основываться на данных натурных обследований пассажиропотоков, быть неразрывно связано с составлением и корректированием маршрутной системы, с регулированием пассажиропотоков во времени путем раздвижки времени начала и окончания работы предприятий и другими приемами.

2. Распределение подвижного состава по маршрутам должно быть таким, чтобы расчетный маршрутный интервал между автобусами находился в пределах $t_{u\min} \leq t_p \leq t_{u\max}$. Максимальный интервал ограничивается допустимыми затратами времени пассажиров на ожидание транспорта; минимальный интервал ограничивается пропускной способностью лимитирующих точек транспортной сети, условиями обеспечения надежной регулярности и безопасности движения. Регулирование величины расчетного интервала движения производят соответствующим выбором вместимости подвижного состава, обслуживающего маршрут. Для увеличения интервалов, когда они по расчету получаются меньше $t_{u\min}$, на маршруты с интенсивным движением нужно, направлять подвижной состав большей вместимости. Для уменьшения интервалов, когда они по расчету превышают $t_{u\max}$, на маршруты с интенсивным движением нужно, нужно назначать подвижной состав небольшой вместимости.

3. Если внутри расчетного часового интервала наблюдаются резкие колебания пассажиропотоков, то их нужно снять регулировочными мероприятиями: усилением движения за счет концентрации подвижного состава маршрута на его отдельных участках, отправки части автобусов в укороченные рейсы и т.д. Если это удастся, то за расчетный пассажиропоток маршрута можно принимать его средний или эквивалентный пассажиропоток, если нет - то максимальный пассажиропоток наиболее загруженного участка, хотя это и связано со снижением коэффициента наполнения.

4. Принципы пропорционального распределения подвижного состава по маршрутам не учитывают ряда особенностей пассажиропотоков влияющих на эффективность работы городского пассажирского транспорта общего пользования (ГПТОП): характер перевозок (трудовые, культурно-бытовые), среднюю длину поездок в разные периоды суток, место маршрутов в транспортной системе города (основные, вспомогательные) и т.д.

5. На маршруты с большой неравномерностью пассажиропотоков по часам дня целесообразно назначать подвижной состав меньшей вместимости, а на маршруты с равномерным пассажиропотоком по часам дня – подвижной состав большей вместимости. Для регулирования наполнения подвижного состава по часам дня целесообразно обслуживать маршруты двумя типами подвижного состава разной вместимости, но с близкими динамическими характеристиками. При этом подвижной состав малой вместимости назначают для обслуживания перевозок в течение всего периода движения, а подвижной состав большей вместимости - в часы пик. В часы спада нагрузки на маршруте автобусы большой вместимости можно заменить на меньшие автобусы, высвобождающиеся на других маршрутах. [1].

Переходя к общей оценке существующих методов расчета потребного количества автобусов на маршрутах в городском сообщении, следует отметить следующее. В основном все вышеперечисленные методы приемлемы для ситуаций, когда использующиеся марки подвижного состава были немногочисленными. В современных условиях, когда этот вопрос в некоторых городах Казахстана стоит особенно остро, нет методов, которые аргументированно позволили бы рассчитать количество потребного подвижного состава на маршрутах в системе городского пассажирского транспорта общего пользования с учетом большого количества перевозчиков разных организационных форм собственности и разнообразие марок. В основном все

существующие методы ориентированы на расчет количества одинаковых автобусов на маршруте. По экономическим и инженерным соображениям такой способ считается удобным для расчетов. На практике ситуация на городских автобусных маршрутах может существенно отличаться от запланированных рекомендаций. Кроме того, как показывают исследования, у пассажиров есть свои предпочтения к определенным классам автобусов, которые не учитываются в данных методиках [2].

В этой связи возникает настоятельная необходимость в разработке уточненного метода выбора автобусов разной вместимости на маршруте в городском сообщении с учетом необходимости повышения качества перевозочных услуг (минимум времени на поездку пассажиров). Этот метод может позволить решить следующие задачи:

- привести в соответствие спрос и предложения на рынке городских автобусных пассажирских услуг;
- получить рациональный результат;
- получить универсальность расчета независимо от количества марок для любого городского маршрута.

Таким образом, несмотря на наличие в прошлом и настоящем ряда исследований в этой области, продолжает оставаться актуальной задача выбора на регулярных маршрутах в городском сообщении автобусов, которые обеспечили бы улучшение одного из главных показателей качества предоставляемых услуг - снижение затрат времени на поездки.

Список литературы

1. Блатнов М. Д. Пассажирские автомобильные перевозки: Учебник — 3-е изд., перераб. и доп. — М.: Транспорт, 1981. — 222 с.
2. Гудков В.А. Технология, организация и управление пассажирскими автомобильными перевозками: Учеб. Для вузов / В.А. Гудков, Л.Б. Миротин; под ред. Л.Б. Миротина. - М.: Транспорт, 1997. - 254 с..
3. И.В. Спирин. Организация и управление пассажирскими автомобильными перевозками. М. Академия. 2010 – 400с.

References

1. Blatnov M.D Passenger road transport: Tutorial - 3rd ed., Rev. and add. - M.: Transport, 1981. - 222 p.
2. Gudkov VA Technology, organization and management of road passenger transport: Proc. For schools / VA Gudkov, LB Mirotin; Ed. LB Mirotin. - M.: Transport, 1997. - 254 ..
3. IV Spirin. Organization and management of road passenger transport. M. Academy. 2010 - 400с.

УДК: 656.072.5:629.341

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ АНАЛИЗА ПАССАЖИРОПОТОКОВ В ГОРОДСКИХ АВТОБУСНЫХ МАРШРУТАХ

Г.Е.Абдураева, Карагандинский государственный университет им. Е.А. Букетова, г. Караганда

В статье обосновано совершенствование организации городских автобусных перевозок путем расширения информационного обеспечения по пассажиропотокам. Описаны методы обследования пассажиропотоков, их виды и распределение по направлениям. Приведены результаты обследования пассажиропотоков автобусных маршрутов г. Караганды. Определены основные технико-эксплуатационные показатели автобусов на маршруте.

Ключевые слова: пассажиропоток, транспортные средства, пассажирский транспорт, пассажиры, маршрут, методы изучения пассажиропотоков.

The article justifies the improvement of the organization of urban bus transport by expansion of information software for passengers. Methods of examination of passenger flow are described, also their types and allocation by direction. Provided results are taken from bus routes of city Karaganda. Basic technical and operational parameters of buses are determined .

Keywords: passenger flow, vehicles, passenger transport, passengers, the route, the methods of studying passenger flow.

Упорядоченное движение транспортных средств на дорожно-транспортной сети называется транспортным потоком, а движение пассажиров соответственно пассажиропотоком. Процесс обмена пассажирами между точками зарождения и погашения корреспонденций пассажиров, осуществляемый по дорожно-транспортной сети, называют пассажироперевозками. [1].

Для организации эффективного транспортного обслуживания пассажиров необходимо систематически получать информацию о пассажиропотоках. В зависимости от преобладающих целей получения информации обследования пассажиропотоков делятся на два класса. К первому относятся обследования, направленные на выявления транспортных потребностей населения, ко второму – связанные с совершенствованием действующей системы транспортного обслуживания.

Обследования транспортных потребностей дают сведения о закономерностях формирования спроса на пассажирские перевозки, а также информацию об уровнях удовлетворения спроса населения на поездки при существующей системе транспортного обслуживания. Эти обследования в соответствии с целевым назначением разделяются на обследование передвижений, поездок, пассажиропотоков и наполнений подвижного состава.

Большую роль при организации движения пассажирского транспорта играет учет неравномерности распределения пассажиропотоков во времени и по отдельным участкам действующих маршрутов. Поэтому для формирования оптимальной или рациональной маршрутной сети, равно как и для эффективного использования подвижного состава (ПС) и обеспечения высокого уровня обслуживания пассажиров, необходимо знать направления, размеры и степень неравномерности пассажиропотоков. [2].

Для выявления пассажиропотоков, распределения их по направлениям, сбора данных об изменениях пассажиропотоков во времени проводят обследования (рис 1.)

По виду обследования могут быть отчетно-статистическими, натурными и автоматизированными.

Отчетно-статистический метод применяется при анализе данных о выручке от перевозки пассажиров на маршрутах и проданных билетах. Систематический анализ методом отчетных данных о проданных билетах и выручке не только не исключает периодического проведения натурных обследований пассажиропотоков, но и является основой для их организации. Натурные обследования проводятся табличным, анкетным, талонным, счетно-табличным и глазомерным методами.

Методы автоматизированного учета числа входящих в салон транспортного средства и выходящих из него пассажиров на остановочных пунктах разделяются на неконтактные и контактные методы.



Рис. 1. Методы изучения пассажиропотоков

К неконтактным методам относятся методы, основанные на использовании фотоэлектрических приборов. При входе (выходе) в транспортное средство пассажир пересекает световой пучок лучей, падающих на фотодатчик. Электрические импульсы от фотодатчиков поступают в блок дешифровки направления движения (вход, выход), а затем соответственно в регистр входящих и выходящих пассажиров. Блок цифровой индикации переносит данные о числе вошедших и вышедших пассажиров на остановочных пунктах маршрута на перфоленту. Этот метод обеспечивает необходимую точность только при раздельном входе пассажиров. К сожалению, это трудно обеспечить на городских маршрутах особенно в часы «пик».

Контактный метод наполнений транспортных средств предполагает учет входящих и выходящих пассажиров по их воздействию на контактные ступеньки, связанные с дешифраторами. Дешифраторы в зависимости от последовательности воздействия на ступеньки определяет число входящих (выходящих) пассажиров и посылает информацию на счетчики или фиксирует эти импульсы на магнитной ленте.

Из всех выделенных натурных методов обследования пассажиропотоков распространенным является счетно-табличный метод. [3].

Перечисленные методы изучения пассажиропотоков условно можно разбить на три группы в зависимости от способа получения необходимой информации, а именно: методы, основанные на подсчете числа перевозимых пассажиров; методы получения информации с помощью приборов (автоматизированные) и аналитические (расчетные) методы прогнозирования вероятной величины пассажиропотоков.

Нами разработана методика и проведены исследования по анализу пассажиропотоков в г. Караганды, имеющие целью определение загруженности транспортных средств, средней дальности поездки пассажиров и коэффициентов использования вместимости, выполнения расписания движения и его рациональности, понесенных перевозчиками фактических затрат и получения выручки от перевозок.

Методика проведения обследования пассажиропотоков включает рассмотрение и учет следующих вопросов:

- определение организационной структуры, что направлено на определение круга исследователей и установление функций работы;
- порядок проведения обследования – технические требования контролерам на линии;
- порядок заполнения контролерами таблицы наблюдения за входом (выходом) пассажиров из транспортной единицы;
- порядок обработки бланка данных результата обследования пассажиропотока;

Пассажирские перевозки в г. Караганды осуществляются 792 графиками, которые обслуживаются 9 перевозчиками. Единовременная плановая вместимость подвижного состава составляет 37 224 человека, протяженность маршрутной сети – 1236 км. Все пассажирские перевозки выполняют частные физические и юридические лица.

Разбросанность промышленных и спальных районов города и значительная их удаленность друг от друга является причиной большей, чем в других регионах Казахстана, дальности поездки одного пассажира.

Формирование базы данных о городском пассажиропотоке и ее обработка реализована средствами СУБД InterBase версии 6.5. и предназначена для хранения данных, полученных в результате проведенного исследования пассажиропотока города, данных о маршрутах, остановках и прочих вспомогательных данных.

Определенные закономерности изменения интенсивности движения связаны с геометрическими свойствами городского пространства: максимальная интенсивность движения наблюдается в центральных зонах города, меньшая – в срединных и минимальная – в периферийных. Они отражают неравномерность размещения в плане города центров зарождения и поглощения пассажироперевозок, а также коренные геометрические свойства городского пространства, определяющие сравнительную транспортную перегрузку городского центра Караганды и снижение ее по мере удаления к периферии. Распределение интенсивностей движения по транспортной сети г. Караганды изображена в виде картограммы пассажиропотоков (рис.2), которая характеризует интенсивность движения в сечениях транспортной сети на день обследования. [4].

Практически важно иметь данные о максимальной интенсивности движения в сечениях транспортной сети, так как она определяет условия и возможности организации дорожного движения и, следовательно, экономические показатели дорожного движения, его экономическую эффективность.

Результаты обследований пассажиропотоков использованы как для улучшения организации перевозок пассажиров на действующих маршрутах, так и для реорганизации транспортной сети в целом.

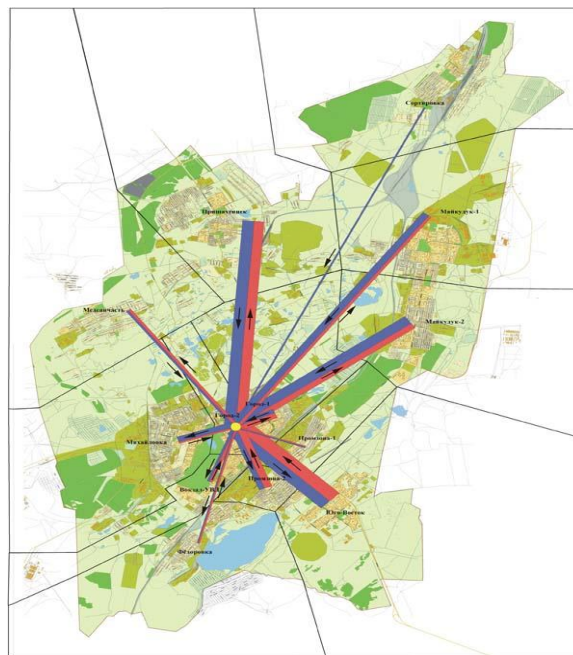


Рисунок 2. Картограмма пассажиропотоков между районом Город-2 и остальными районами города

По материалам обследований установлены и основные технико-эксплуатационные показатели работы автобусов: объем перевозок, пассажирооборот, средняя дальность поездки пассажиров, наполнение автобусов и их число на маршрутах, время рейса и число смен работы, скорость, интервалы и частоту движения, пробег за время наряда.

Список литературы

1. Блатнов М. Д. Пассажирские автомобильные перевозки: Учебник — 3-е изд., перераб. и доп. — М.: Транспорт, 1981. — 222 с.
2. Транспортная стратегия Республики Казахстан до 2015 года.
3. mtc.gov.kz/index.php/ru/o-ministers. Официальный интернет-ресурс Министерства транспорта и коммуникаций
4. Отчет акимата г. Караганды «Изучение объемов пассажирских перевозок и расчет затрат перевозчиков города Караганды»

References

1. Blatnov MD Passenger road transport: Tutorial - 3rd ed., Rev. and add. - M.: Transport, 1981. - 222 p.
2. Transport Strategy of the Republic of Kazakhstan until 2015.
3. mtc.gov.kz/index.php/ru/o-ministers. Official Internet resource of the Ministry of Transport and Communications
4. Report of the akimat of Karaganda "Study in passenger traffic and costing carriers Karaganda"

УДК 677.022.54

РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ УСТРОЙСТВА ДЛЯ ОБРАЗОВАНИЯ ШЕРОХОВАТОСТЕЙ НА ГОРНОЙ ДОРОГЕ НА SOLIDWORKS

Гапарова Жанаркан Тахтауновна, старший научный сотрудник,
Темирбектегин Гулчоро, студент КГТУ им. И.Раззакова, Кыргызстан, 720044, г.Бишкек, пр.Мира 66,
e-mail: janar_2018@mail.ru

Цель работы - разработка методики проектирования на программе SolidWorks устройства для образования шероховатостей на горной дороге. В работе приводятся данные о характеристиках горных дорог Кыргызстана и способы повышения безопасности транспортных средств. Дается новая технология повышения безопасности транспортных средств на горных дорогах в зимнее время путем увеличения коэффициента сцепления между ледяной поверхности горной дороги с колесами транспортных средств за счет «посадки» горячих гравийных материалов на ледяной поверхности дороги.

Ключевые слова: горная дорога, шероховатость, каменные частицы, сцепление, транспортные средства.

THE PROJECT RESULTS OF THE DEVICE FOR FORMING ICE ROUGHNESS SURFACE ON THE ROADS ON SOLID WORKS

Gaparova Zhanarkan, s.s.p., Temirbektegin Gulchoro, student, KSTU named after I.Razzakov, Kyrgyzstan, 720044, Bishkek, 66 Mir str., e-mail: janar_2018@mail.ru

Purpose of the article is to develop a methodology of the design on SolidWorks, that is the device for the formation of roughness on the mountain road. Paper represents data of the characteristics of the mountain roads of Kyrgyzstan and ways to improve vehicle safety. New technology, to improve vehicle safety on mountain roads in winter by increasing the coefficient of friction between the ice surface of a mountain road and the wheels of vehicles due to the "planting" of hot gravel on the icy road surface are given.

Keywords: mountain road, roughness, stony particles, adherence, transport.

Кыргызстан занимает одно из первых мест по протяженности горных дорог, расположенных выше 2500 м над уровнем моря. Здесь расположены самые высокие перевальные участки мира. Горные дороги характеризуются крутыми подъемами и спусками, малыми радиусами поворотов в плане. Особую опасность для транспорта по горным дорогам составляет скользкость в зимнее время. Борьба со скользкостью – важнейшая проблема содержания дорожных покрытий в зимнее время.

Одним из распространенных способов борьбы со скользкостью является посыпка ледяных образований песком. Традиционные пескораспределители [1] имеют низкую эффективность при работе на горных дорогах с песками. Песок после падения с высоты диска на ледяную поверхность дороги будет отскакиваться от льда, и

катится по поверхности льда на какое-то расстояние. Особо затруднено образования шероховатости на участках горных дорог, имеющих продольные уклоны. При больших морозах высота отскока увеличивается, и возможность сцепления песка с ледяной поверхностью отсутствует. Вследствие этого, за счет эффекта вихреобразования движущихся транспортных средств, песок раскатывается в боковые стороны, оставляя проезжую часть дороги чистой. Последнее явление требует частой рассыпки песка, что увеличивает стоимость зимнего содержания горных дорог. Кроме того, недостатком таких пескораспределителей является большая длительность времени, уходящего с момента выброса песка из наклонного лотка с горизонтальным участком на конце до его полной остановки. На горных дорогах, где имеются частые продольные уклоны, время на остановку катившегося песка весьма увеличится [2].

Для улучшения сцепляемости между ледяной дороги и колесами транспортных машин в КГТУ им. И.Раззакова разработано устройство для образования каменистой шероховатости на ледяной поверхности дороги, выполненное на уровне изобретения [3]. Суть работы предлагаемого устройства заключается тем, что предварительно нагретые каменистые частицы, попадавшие на ледяную поверхность дороги, за счет первоначальной температуры и их силы тяжести начинают погружаться в лед вследствие подтаивания льда. Холодная окружающая температура приводит к замерзанию погруженного гравия на ледяной поверхности дороги. На поверхности дороги, таким образом, образуется слой погруженных гравийных частиц, напоминающих поверхности наждачной бумаги.

Устройство для образования шероховатости на ледяной поверхности дороги вмонтировано в раму тележки, передвигающаяся по направляющим рельсам (рис. 1). Устройство включает теплоизоляционный бункер с горячим песком и нагревательным узлом, ленточный транспортер, вмонтированный в нижней части теплоизоляционного бункера, наклонный лоток, прикрепленный к задней части теплоизоляционного бункера, распределительный барабан с надетой упругой втулкой, боковые кронштейны для крепления распределительного барабана к теплоизоляционному бункеру с помощью подшипниковых узлов. Нижняя часть наклонного лотка выполнена в форме дуги окружности с радиусом, равным радиусу наружной поверхности упругой втулки, причем центр вращения распределительного барабана и центр дуги окружности наклонного лотка совпадают. К торцу вала распределительного барабана жестко прикреплены боковое колесо с радиально установленными щипами, взаимодействующими с ледяной поверхностью дороги. На верхней части тележки установлен моторный отсек для привода ленточного транспортера.

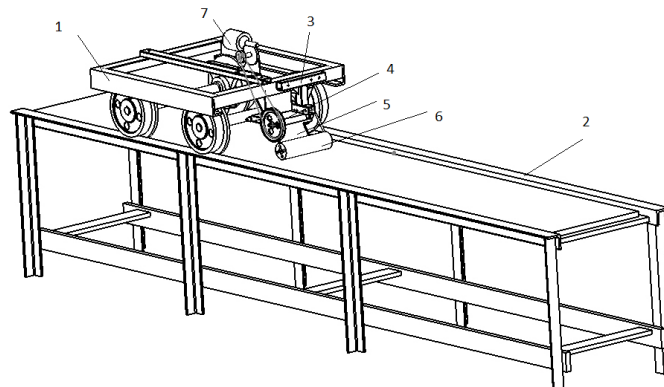


Рис. 1. Общий вид устройства для распределения горячего песка на ледяную поверхность горной дороги: 1 – тележка; 2 – направляющие рельсы; 3 – рама устройства; 4 – ленточный транспортер; 5 – наклонный лоток; 6 – распределительный вал с упругой втулкой; 7 – электродвигатель

Устройство для образования шероховатости на ледяной поверхности дороги работает следующим образом. В начале работы в теплоизоляционный бункер базовой машины загружают песок. Для нагрева и поддержания необходимой температуры песка в теплоизоляционном бункере имеется нагревательный узел, размещенный под теплоизоляционным бункером. Процесс распределения горячего песка на ледяную поверхность дороги начинается движением тележки по направляющим рельсам и включением моторного отсека, приводящего в движение ленточный транспортер, который перемещает горячий песок, находящийся в теплоизоляционном бункере, в заднюю его часть, в сторону наклонного лотка. Горячий песок начинает высыпаться по наклонному лотку вниз. Степень распределения (расход) горячего песка на ледяную поверхность дороги регулируется заслонкой.

При открытии заслонки горячий песок падает вниз под действием силы гравитации по наклонному лотку. При соприкосновении горячего песка с упругой втулкой горячий песок вовлекается в дальнейшее движение упругой втулкой путем упругого прижима горячего песка к стенкам дуги окружности и, одновременно, вращением вокруг центра вращения. Горячий песок передвигается по дуге окружности

наклонного лотка в сторону ее конца. При соприкосновении с ледяной поверхностью дороги горячий песок останавливается на ледяной поверхности дороги (так как распределительный барабан с упругой втулкой перекачивается по ледяной поверхности дороги без скольжения). Горячий песок за счет положительной температуры и силы собственной тяжести начинает погружаться в лед вследствие подтаивания льда, происходит «посадка» горячего песка на ледяную поверхность дороги. Холодная температура окружающей среды приводит к замерзанию погруженного горячего песка на ледяной поверхности дороги. Таким образом, горячий песок превращается в замерший песок и на ледяной поверхности дороги образуется шероховатость в виде распределенных замерзших песков. С понижением температуры окружающей среды степень прикрепления замерзших песков к ледяной поверхности дороги увеличивается, что существенно повышает безопасность движения на дорогах.

Конструирование данного устройства для распределения горячего песка на ледяную поверхность горной дороги выполнена с использованием программы Solid Works [4]. В начале были начерчены все детали устройства на этой программе. В качестве иллюстрации покажем вычерчивание бункера устройства. Начинаем с выбора поверхности в программе Solid Works. Существует три основных поверхности в программе, для рисования эскиза: спереди, справа, сверху (находятся они в дереве конструирования в левой части интерфейса программы). Для удобства выбираем переднюю поверхность *«спереди»*. Во всплывающем меню программы появляется плотность спереди и активируется панель команд *«эскиз»*. В панели команд *«эскиз»* выбираем инструмент прямоугольник и рисуем в плоскости. Выбираем инструмент *«автоматическое нанесение размера»* и задаем необходимые нам горизонтальные и вертикальные размеры, вводя числовые значения. Получаем основания *«бункера»*. Чтобы придать объем для прямоугольника и для получения твердого тела из нарисованного эскиза, выбираем панель команд *«элементы»* и выбираем инструмент *«вытянутая бобышка»*. Данный инструмент выдавливает нарисованный эскиз, превращая его в объемную геометрию. Выдавливая эскиз, вводим числовые значения, для получения необходимой высоты или толщины 1 мм с основанием бункера размером 120x110x1 мм. Далее выбираем верхнюю часть тела, и рисуем по краям эскиз размером 110x1 мм для получения боковых стенок бункера и выдавливаем с помощью инструмента *«вытянутая бобышка»* вводя числовые значения. Выбираем внешнюю часть боковую поверхность тела и рисуем треугольник. Для получения необходимого угла выбираем инструмент *«автоматическое нанесение размера»*. Выбрав два отрезка треугольника, получаем доступ для ввода угла в градусах. Нарисовав эскиз, идем в панель команд *«элементы»* и выбираем инструмент *«вытянутый вырез»*. Вводим числовые значения 120 мм, чтобы вырезать оба боковых частей.

Выбираем наклонную вырезанную поверхность и рисуем прямоугольник по всему периметру. С помощью инструмента *«вытянутая бобышка»* выдавливаем на толщину 1 мм. На внешней поверхности полученного тела рисуем по левому и правому краям прямоугольников равных размеров по 1 мм и по всей длине, выдавливая на 5 мм. Получаем изогнутую по краям листовую пластину.

Все внешние и внутренние углы выбираем с нажатой клавишей *Ctrl*, и воспользуемся инструментом *«скругления»*. Зададим радиус равным 1,5 мм.

На основании бункера рисуем две окружности, используя *«автоматическое нанесение размеров»* и задаем необходимые размеры, для местоположения окружностей. Вырезаем окружности и в итоге получаем отверстия для крепления его к раме тележки.

На следующем этапе производим операцию сборки. Открываем сборку, импортируем детали. Первая добавленная деталь становится сборкой верхнего уровня. К нему недоступны команды *«перемещения»*, *«вращения»*. Добавляя поочередно детали с помощью инструментов *«перемещения»*, и *«вращения»* определяем положения детали для дальнейших операций.

Первым добавляем рельс, потом тележку и его вал, затем колесо. Начинаем компоновать детали друг другу, используя панель команд *«сборка»* инструмент *«условия сопряжения»*. С помощью инструмента *«условия сопряжения»* будем размещать компонентов в соотношении друг другу. Инструментами *«перемещения»*, и *«вращения»* приближаем компоненты для удобства сопряжения. С инструментом *«условия сопряжения»* komponуем вал с тележкой, приняв стандартное сопряжение *«концентричность»* и *«совпадение»*. Таким же образом производим сопряжение колеса с валом.

Для выполнения сопряжения тележки с рельсом, используем следующие команды: *«условия сопряжения»*, *«расстояние»*, *«механическое сопряжение»* и *«зубчатая рейка»*. Далее продельваем такие же действия с другими деталями, используя команды *«совпадение»*. Проводим действия для выбора необходимых отверстий под крепеж деталей, грани и отверстия. С помощью команды *«механическое сопряжение»* продельваем и с распределительным барабаном используя команду *«зубчатая рейка»* с поверхностью рельсов.

В дополнении к предыдущим действиям добавим инструмент *«ремень-цепочка»* для ременной передачи от мотора к шкиву ленточного транспортера.

Таким образом, получаем полностью определенную сборку для исследования движения устройства для распределения горячего песка на ледяную поверхность горной дороги. Начерченная схема устройства, выполненная по программе Solid Works показана на рис. 1. Изготовленное в металле устройство для распределения горячего песка на ледяную поверхность горной дороги представлено на рис. 2.



Рис. 2. Стенд устройства для распределения горячего песка на ледяную поверхность горной дороги, изготовленный на основе чертежей, выполненных на Solid Works

Для обеспечения фотореалистичности работы устройства в целом воспользуемся вкладкой «*Photo view*». В библиотеке «*внешних видов*» выбираем соответствующие текстуры для каждой детали. Используя камеру в собственной программе Solid Works производим анимацию «*камеры*».

Открываем вкладку «*анимация*» и приводим в движение механизмы устройства и фиксируем весь цикл движения «*камерой*». Выводим анимацию в видео файл с использованием команды фотореалистичности «*Photo view*».

В целом, вычерчивание на программе Solid Works показало определенное удобство работы с ней. Прежде всего установлено, что получение различных проекций и сечений деталей устройства на много проще и быстрее чем другие проектирующие программы, в частности AutoCAD. Удобным также является определение площадей и объемов деталей и их сил тяжести.

Экспериментальные исследования, проведенные на указанном стенде устройства для образования шероховатости на ледяной поверхности дороги [5] подтвердили высокую эффективность образования на ледяной поверхности дороги шероховатости путем посадки на ледяную поверхность дороги каменных частиц, которые позволяют существенно увеличить безопасность движения транспортных средств, особенно в горных дорогах.

Выводы:

1. Сравнение различных проектирующих программ на компьютере (AutoCAD и Autodesk Mechanical Desktop, SDRC I-DEAS и Pro/ENGINEER) позволило установить определенные преимущества программного комплекса SolidWorks при решении конструкторских задач. Рассматриваемый программный комплекс представляет собой интегрированную среду трехмерного моделирования деталей, создания сборок и чертежей на их основе.

2. Пошаговые возможности в процессе создания деталей и их сборок позволяют в кратчайшее время получить необходимые навыки работы с программой SolidWorks и перейти к самостоятельной работе.

Список литературы

1. Борьба со снегом и гололедом на транспорте / Под ред. А.П.Васильева. М.: Транспорт, 1986. – 216 с.
2. Карабан Г.Л., Баловнев В.И., Засов И.А. Машины для содержания и ремонта автомобильных дорог и аэродромов. - М.: Машиностроение, 1975. – 368 с.
3. Тургумбаев Ж.Ж., Гапарова Ж.Т., Тургумбаев С.Дж. Устройство для образования шероховатости на ледяной поверхности дороги. Патент КР на изобретение № 1377. Выдан 30.08.2011. Бюл. № 8.
4. Прохоренко В.П. SolidWorks практическое руководство. - М.: Бином Пресс, 2004. – 448 с.
5. Тургумбаев Ж.Ж., Гапарова Ж.Т., Ниязов Т. Технология и оборудование для повышения сцепных свойств автодороги в зимнее время // Материалы международной научно-практической конференции «Автомобильные дороги и транспортные машины: проблемы и перспективы развития». Алматы, Эверо, 2004. С. 133-137.

References

1. The struggle with snow and ice on transport / Ed. by A. P.Vasiliev. M.: Transport, 1986.– 216 p.
2. Karaban G. L., Balovnev V. I., Zasov I. A. Bolt of the machine for maintenance and repair of roads and airfields. - M.: Mashinostroenie, 1975. - 368 p.
3. Turgumbaev J.J., Gaparova J.T., Turgumbaev S.Dj. Device for the formation of roughness on the ice road surface. The KR patent for the invention № 1377. 30.08.2011 issued. Bul. No. 8.
4. Prokhorenko V.P. SolidWorks practical guide. - M.: Binom Press, 2004. - 448 p.
5. Turgumbaev J.J., Gaparova J.T., Niyazov T. Technology and equipment to improve the adhesion properties of the road in the winter time // Materials of international scientific-practical conference "Highways and transport machines: problems and prospects". Almaty, Evero, 2004. P. 133-137.

КИНЕМАТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ БУЛЬДОЗЕРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ С ВЫДВИГАЕМЫМ ОТВАЛОМ

Башиков Ином Турсунович, соискатель КГТУ им. И.Раззакова, Кыргызстан, 720044, г.Бишкек, пр.Мира 66, e-mail: bashikov_inom@mail.ru

Цель работы – определение скоростей и ускорений характерных точек бульдозерного оборудования с выдвижным отвалом для различного положения отвала. В работе приводятся данные о технологических параметрах бульдозерного оборудования. Найдены зависимости для определения кинематических параметров рычажного механизма управления рабочим органом бульдозера.

Ключевые слова: бульдозерное оборудование, рычажный механизм, гидроцилиндр привода, рабочий орган, скорость, ускорение.

THE KINEMATIC COMPUTATION OF BULLDOZER EQUIPMENT WITH MOVABLE OPERATING ELEMENT

Bashikov Inom, seeker, KSTU named after I.Razzakov, Kyrgyzstan, 720044, Bishkek, 66 Mir str., e-mail: bashikov_inom@mail.ru

Purpose of the work is to determine velocities and accelerations of characteristic points of bulldozer equipment with a retractable blade, for a variety of blade position. Paper also represents data of technological parameters of dozer equipment. The dependences for determining kinematic parameters of the linkage on the control of the working body of the bulldozer are fined out.

Keywords: bulldozer equipment, linkage, hydraulic drive cylinder, the working body, velocity, acceleration

Определяем кинематические параметры бульдозерного оборудования с выдвижным отвалом [1, 2] для случая, когда происходит поворот отвала в плане с выдвижением (удалением) кромки, например, правого края (точки J), при этом точка G остается неподвижным (рис. 1). С помощью гидроцилиндра PO приводится в движение задний рычаг LNO , одновременно, включением гидроцилиндра KM начинает движение и переднее звено JL . Время, затраченное на полное выдвижение рычагов у обоих гидроцилиндров одинаково. Иными словами, за одно и то же время величина хода гидроцилиндра привода заднего рычага составляет 0,082 м, а величина хода гидроцилиндра привода переднего рычага составляет 0,388 м.

Звенья механизмов выдвижения отвала имеют следующие размеры: передние рычаги – $GE = JL = 0,85$ м, при этом $GF = JK = 0,425$ м, $FE = KL = 0,425$ м; задние рычаги – $EC = LN = 0,85$ м при этом $ED = LM = 0,425$ м, $DC = MN = 0,425$ м и $CB = NO = 0,475$ м. Угол между звеньями EC и CB равен 137 градусов. Такой же угол имеет звенья LN и NO . Длина отвала $QR = 3,8$ м, расстояние между опорами $GJ = CN = 2,4$ м, $QG = JR = 0,7$ м.

Перемещения передних и задних рычагов и их гидроцилиндров привода определяем графическими методами. Для этого в масштабе строим план положений бульдозерного оборудования с выдвижным отвалом для случая поворота отвала в плане удалением правого края отвала. Максимальный поворот отвала в плане составляет $\alpha = 21^\circ$. Разбиваем этот угол поворота отвала на 8 положений, через каждые 3° при этом исходное положение, когда отвал максимально втянут к трактору, обозначим нулевым положением (рис. 2).

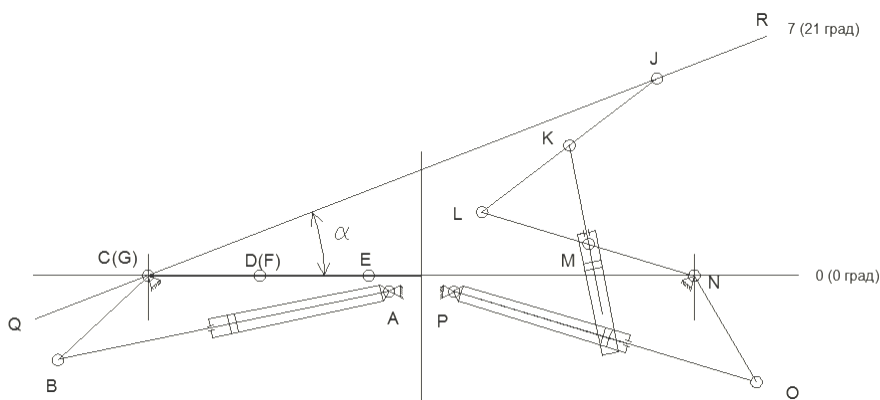


Рис. 1. Расчетная схема к определению кинематических параметров рабочего оборудования бульдозера (край отвала R занимает крайнее выдвинутое положение)

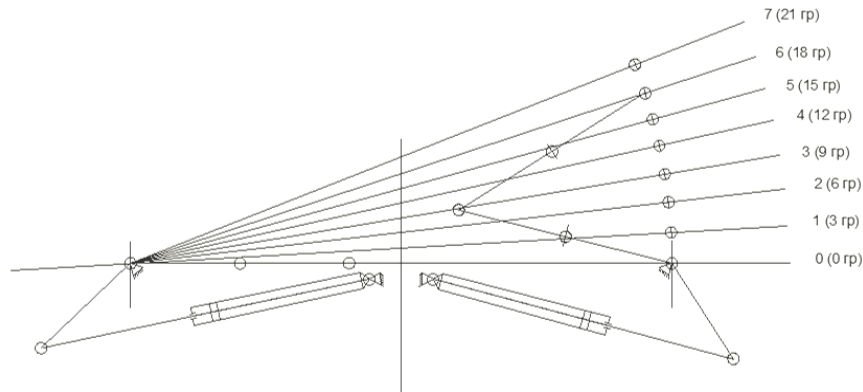


Рис. 2. Схема положений отвала бульдозера с углом поворота через 3 градуса

При повороте правого края отвала R поршень со штоком гидроцилиндра привода заднего рычага PO совершает сложное движение: относительное – относительно корпуса гидроцилиндра и переносное – вращение относительно точки P . В соответствии с технологией работы подобных бульдозеров целесообразно установить постоянные скорости выдвижения (удаления) и выдвижения (приближения) отвала. В среднем скорость выдвижения отвала примем $v = 0,2$ м/с. Находим время выдвижения края отвала от нулевого положения до конечного (седьмого) положения

$$t = GR \cdot \alpha / v = 3,1 \cdot 0,32 / 0,2 \approx 5 \text{ с}.$$

где GR – расстояние между точками G и R ;

α – угол установки отвала;

v – скорость выдвижения отвала.

Тогда скорость штока заднего гидроцилиндра PO привода рычага LO составит

$$v_{32} = s_{32} / t = 0,082 / 5 = 0,02 \text{ м/с},$$

где s_{32} – ход поршня заднего гидроцилиндра.

Находим скорость выдвижения штока (поршня) переднего гидроцилиндра KM . Для этого необходимо определить путь s_i и время t_i , соответствующие различным положениям отвала бульдозера $Q_i R_i$.

При повороте отвала бульдозера из начального (нулевого) положения в первое положение (рис. 2), шток заднего гидроцилиндра KM должен перемещаться на величину

$$s_{13} = PO_0 - PO_1 = 1300 - 1290 = 10 \text{ мм} = 0,01 \text{ м},$$

это соответствует отрезок времени, равный

$$t_1 = s_{13} / v_{32} = 0,01 / 0,02 = 0,5 \text{ с}.$$

Значения расстояния PO_i для различных положений отвала бульдозера определяют графическим методом. В табл. 1 приведены величины хода гидроцилиндров приводов передних и задних рычагов для указанных положений.

Таблица 1. Значения величины ходов гидроцилиндров приводов передних и задних рычагов для восьми положений рабочего оборудования бульдозера

Номер положения	Расстояние между точками крепления гидроцилиндра, мм		Номер положения	Расстояние между точками крепления гидроцилиндра, мм	
	Задний цилиндр	Передний цилиндр		Задний цилиндр	Передний цилиндр
0	1300	0	4	1256	220
1	1290	60	5	1243	276
2	1279	115	6	1229	332
3	1267	170	7	1218	388

Определяем остальные значения хода заднего гидроцилиндра s_i и времени t_i

$$\begin{aligned} s_{2z} &= PO_1 - PO_2 = 1290 - 1279 = 11 \text{ мм} = 0,011 \text{ м}; & s_2/v_3 &= 0,011/0,02 = 0,55 \text{ с}. \\ s_{3z} &= PO_2 - PO_3 = 1279 - 1267 = 12 \text{ мм} = 0,012 \text{ м}; & t_3 &= s_3/v_3 = 0,012/0,02 = 0,6 \text{ с}. \\ s_{4z} &= PO_3 - PO_4 = 1267 - 1256 = 11 \text{ мм} = 0,011 \text{ м}; & t_4 &= s_4/v_3 = 0,011/0,02 = 0,55 \text{ с}. \\ s_{5z} &= PO_4 - PO_5 = 1256 - 1243 = 13 \text{ мм} = 0,013 \text{ м}; & t_5 &= s_5/v_3 = 0,013/0,02 = 0,65 \text{ с}. \\ s_{6z} &= PO_5 - PO_6 = 1243 - 1229 = 14 \text{ мм} = 0,014 \text{ м}; & t_6 &= s_6/v_3 = 0,014/0,02 = 0,7 \text{ с}. \\ s_{7z} &= PO_6 - PO_7 = 1229 - 1218 = 15 \text{ мм} = 0,015 \text{ м}; & t_7 &= s_7/v_3 = 0,015/0,02 = 0,75 \text{ с}. \end{aligned}$$

После того, как мы определили времени затраченные на перемещение штока гидроцилиндра PO привода заднего рычага LO для всех положений $t_1, t_2 \dots t_7$, а также соответствующие выдвигания штока гидроцилиндра KM привода переднего рычага JL (табл. 1), можно определить скорость штока переднего гидроцилиндра KM для соответствующих отрезков времени

$$\begin{aligned} s_{1n} &= K_1M_1 - K_0M_0 = 60 - 0 = 60 \text{ мм} = 0,06 \text{ м}; & v_{1n} &= s_{1n}/t_1 = 0,06/0,5 = 0,12 \text{ м/с}. \\ s_{2n} &= K_2M_2 - K_1M_1 = 115 - 60 = 55 \text{ мм} = 0,055 \text{ м}; & v_{2n} &= s_{2n}/t_2 = 0,055/0,55 = 0,1 \text{ м/с}. \\ s_{3n} &= K_3M_3 - K_2M_2 = 170 - 115 = 55 \text{ мм} = 0,055 \text{ м}; & v_{3n} &= s_{3n}/t_3 = 0,055/0,6 = 0,09 \text{ м/с}. \\ s_{4n} &= K_4M_4 - K_3M_3 = 220 - 170 = 50 \text{ мм} = 0,05 \text{ м}; & v_{4n} &= s_{4n}/t_4 = 0,05/0,55 = 0,09 \text{ м/с}. \\ s_{5n} &= K_5M_5 - K_4M_4 = 276 - 220 = 56 \text{ мм} = 0,056 \text{ м}; & v_{5n} &= s_{5n}/t_5 = 0,056/0,65 = 0,086 \text{ м/с}. \\ s_{6n} &= K_6M_6 - K_5M_5 = 332 - 276 = 56 \text{ мм} = 0,056 \text{ м}; & v_{6n} &= s_{6n}/t_6 = 0,056/0,7 = 0,08 \text{ м/с}. \\ s_{7n} &= K_7M_7 - K_6M_6 = 388 - 332 = 56 \text{ мм} = 0,056 \text{ м}; & v_{7n} &= s_{7n}/t_7 = 0,056/0,75 = 0,075 \text{ м/с}. \end{aligned}$$

Как видно из расчетов, скорость выдвигания штока переднего гидроцилиндра KM имеет тенденцию уменьшения по мере удаления правого края отвала.

Определим скорости и ускорения характерных точек рабочего оборудования бульдозера с использованием графического метода, построением планов скоростей и ускорений.

Начнем с определением скорости точки O , для этого составляем уравнение в векторной форме

$$\underline{V_O} = \underline{V_{3z}} + \underline{V_{OP}} \quad ; \quad \underline{V_O} = \underline{V_N} + \underline{V_{ON}} \quad .$$

Здесь V_{3z} , согласно (2), $V_{3z} = 0,02 \text{ м/с}$. строим план скоростей по вышеуказанным уравнениям. Укажем последовательность решения этой задачи без приведения построенных планов скоростей.

В плане скоростей из точки p_1 проведем отрезок линии, параллельную PO в сторону точки P длиной 1000 мм до точки o_1 . Тогда масштаб скорости будет равным $\mu_v = V_{3z}/1000 = 0,02/1000 = 0,00002 \text{ (м/с)/мм}$. Из точки o_1 проведем линию, перпендикулярную PO , из точки p_1 проведем линию, перпендикулярную NO . Точку пересечения этих двух линии обозначим буквой o . Абсолютная скорость точки O равна длине отрезка po из плана скоростей. Для первого положения абсолютная скорость точки O равна $V_O = po \cdot \mu_v = 0,0367 \text{ м/с}$.

Скорости точек, принадлежащих заднему рычагу M и L находим, применяя методы подобия.

$$\frac{V_O}{V_M} = \frac{NO}{NM}, \quad \text{откуда} \quad V_M = V_O \cdot \frac{NM}{NO} = 0,0328 \text{ м/с}.$$

$$\text{Скорость точки } L \quad V_L = V_O \cdot \frac{NL}{NO} = 0,0657 \text{ м/с}.$$

В соответствии с конструкцией заднего рычага направление действия скоростей точек M и L будет повернуто на 137 градус.

Далее, определяем скорость точки K . Для этого составляем уравнения в векторной форме

$$\underline{V_K} = \underline{V_M} + \underline{V_{1n}} + \underline{V_{KM}} \quad ; \quad \underline{V_K} = \underline{V_L} + \underline{V_{KL}} \quad ,$$

где V_{1n} - скорость выдвигания штока гидроцилиндра привода переднего рычага для первого положения отвала бульдозера.

В данном случае скорость точки K будет складываться из скорости, созданной движением заднего

гидроцилиндра $v_M = 0,0328$ м/с и из скорости, созданной передним гидроцилиндром $v_{1n} = 0,12$ м/с. Из точки M_1 добавим отрезок до точки M_2 , соответствующий скорости выдвижения штока переднего цилиндра $v_{1n} = 0,12$ м/с параллельный направления движения штока переднего гидроцилиндра KM . В точке M_2 проведем линию, перпендикулярную KM . Известно также значение скорости точки L $v_L = 0,0657$ м/с. В точке L_1 проведем линию, перпендикулярную KL . В пересечении двух линии находим точку k . Абсолютная скорость точки K равна длине отрезка pk из плана скоростей, умноженной на масштаб скорости. На плане скоростей найдем значение абсолютной скорости точки K

$$v_{k1} = p_1 k_1 \cdot \mu_v = 7639 \cdot 0,00002 = 0,152 \text{ м/с.}$$

Скорость точки J , принадлежащей переднему рычагу LJ находим, строя в плане скоростей линию начиная от точки l_1 через точки k_1 до точки j_1 .

Абсолютная скорость точки J равна

$$v_{j1} = p_1 j_1 \cdot \mu_v = 12007 \cdot 0,00002 = 0,24 \text{ м/с.}$$

Далее проводим линию от p_1 до j_1 . Используя метода подобия находим скорости искомой точки R . Для этого продолжаем линию $p_1 j_1$ от точки полюса p_1 через точки j_1 до точки r_1 , поскольку точка R находится на прямой с точкой J и неподвижной точкой G . Измеряя длину отрезка $p_1 r_1$ и умножая на масштаб скорости находим скорость точки R

$$v_{r1} = p_1 r_1 \cdot \mu_v = 15996 \cdot 0,00002 = 0,32 \text{ м/с.}$$

Выводы

1. Составлены планы положений бульдозерного рабочего оборудования с рычажным механизмом выдвижения отвала для диапазона изменений угла поворота отвала до 21 градус в плане.
2. Определены графическим методом скорости характерных точек рычажного механизма выдвижения отвала бульдозерного рабочего оборудования для различных положений отвала.

Список литературы

1. А.С. № 1640293 СССР МКИ Е 02 F 3/76. Бульдозер-террасер / Ж.Ж.Тургумбаев, А.И.Джылкычиев, К.И.Раймкулов и др. Опубл. 07.04.91. БИО № 13.
2. Тургумбаев Ж.Ж., Урманяев С.И. Бульдозерное оборудование для расчистки горных дорог от снежных и каменных завалов //Наука и новые технологии. – 2000, № 2. – С. 131-133.

References

1. A.S. No. 1640293 the USSR, MKI E 02 F 3/76. Bulldozer-terracer / J.J.Turgumbaev, A.I.Jylkychiev, K. I.Raimkulov, etc. Publ. 07.04.91. BIO No. 13.
2. Turgumbaev J.J., Urmaneaev S.I. Bulldozer equipment for clearing of mountain roads from snow and stone rubble//Science and new technologies. - 2000, No. 2. - P. 131-133.

УДК 537.527

СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧ ПЛАЗМЕННОЙ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ

Жайнаков Аманбек Жайнакович, д.ф.-м.наук,академик, КГТУ им. И.Раззакова, Кыргызстан, 720044, г.Бишкек, пр. Мира 66, e-mail: jainakov47@mail.ru

Султангазиева Рена Турдубековна, к.ф.-м.н., доцент, КГТУ им. И.Раззакова, Кыргызстан, 720044, г.Бишкек, пр. Мира 66, e-mail: renasultangazieva@mail.ru

Цель статьи – развитие интегрированной модели взаимодействия электрической дуги и расплавленного металла сварочной ванны. На основании литературного обзора существующих математических моделей задач электродуговой обработки материалов корректируются условия на границе «плазма-жидкий металл»

Ключевые слова: электродуговая плазма, МГД уравнения, сварочная ванна, термокапиллярная конвекция, деформация свободной поверхности, математическое моделирование, плазмообразующий газ, эффект Марангони

THE MODERN APPROACHES FOR SOLVING TASKS OF PLASMA MATERIAL PROCESSING

Purpose of this article is to develop uniform model of interaction between the electric arc and molten weld pool. Based on a literature review of existing mathematical models of electric arc, materials processing the boundary condition of interface "liquid metal-plasma" are corrected

Keywords: electro arc plasma, MHD equations, weld pool, thermocapillary convection, deformation of the free surface, mathematical modeling, gas which generates plasma Marangoni effect

Потоки электродуговой плазмы нашли широкое применение в современных методах обработки материалов. Электродуговая сварка один из наиболее эффективных и широко распространенных процессов получения прочных и качественных соединений в машиностроении и строительстве, в газовой и нефтехимической промышленности. Это сложный технологический процесс, включающий в себя и мощные источники тепла, гидродинамические процессы, наличие газовой фазы, жидкой и твердой фаз, теплообменные, диффузные процессы и испарение, химические и металлургические процессы. Все эти процессы в совокупности влияют на качество сварных соединений. И потому, дальнейшее совершенствование технологий сварки требует высокоэффективных методов моделирования процессов электродуговой сварки. Получение количественной связи между процессами в дуге и сварочной ванне позволят адекватно предсказать форму и размеры сварочного шва, качество шва, вероятность образования дефектов.

Первичными являются процессы в электрической дуге, создающей тепловой поток и давление на поверхность металла. В процессе сварки плавлением, течение жидкости определяет форму жидкой ванны и распределение температуры в детали. Эти факторы определяют такие свойства материала, как микроструктура, твердость и шероховатость поверхности. В зависимости от времени пребывания металла в критическом диапазоне температур, когда происходят структурные изменения, определяются временные и остаточные деформации и напряжения разрушения, образования горячих трещин. Свойства металла сварного шва в значительной степени зависят от процессов кристаллизации, химического состава, микроструктуры первичной кристаллизации. Чтобы попытаться учесть все это многообразие процессов и их взаимное влияние друг на друга, в последние годы появилась тенденция рассмотрения этих процессов в тесной связи с процессами тепломассопереноса в жидкой сварочной ванне, что позволяет получить связанную картину этих процессов в различных зонах металла сварного шва.

Цель данной работы – на основе обзора научной литературы в области электродуговой сварки и анализа физических процессов, протекающих на границе «плазма-жидкий металл» разработать математическую модель, описывающую наиболее полно процессы в системе «дуга-обрабатываемое изделие» с учетом их взаимного влияния друг на друга.

В работе [1,6] предлагается модель совместного рассмотрения области электродуговой плазмы и обрабатываемого изделия. Физические процессы в столбе электродугового разряда и взаимодействующего с этим разрядом жидкого металла описываются одной и той же системой уравнений магнитной гидродинамики. Указанная система уравнений объединяет уравнение неразрывности, Навье-Стокса, энергии, уравнения Максвелла и закон Ома:

$$\operatorname{div}(\rho \vec{V}) = 0; \quad (1)$$

$$\rho(\vec{V} \operatorname{grad}) \vec{V} = \rho \vec{g} + \vec{E} \operatorname{div} \vec{D} + \vec{j} \times \vec{B} - \operatorname{grad} \left(P + \frac{2}{3} \mu \operatorname{div} \vec{V} \right) + 2 \operatorname{div}(\mu \dot{S}); \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \rho \vec{V} \operatorname{grad} \left(h + \frac{1}{2} V^2 \right) &= \vec{j} \vec{E} - q + \vec{V} \operatorname{grad} P + \\ &+ \operatorname{div} \left(2 \mu \dot{S} - \frac{2}{3} \mu \operatorname{div} \vec{V} + \frac{\lambda}{c_p} \operatorname{grad} h \right); \end{aligned} \quad (4)$$

$$\operatorname{rot} \vec{E} = 0, \quad \operatorname{rot} \vec{H} = 0, \quad \operatorname{div} \vec{B} = 0; \quad (5)$$

$$\vec{E} + \vec{V} \times \vec{B} = \frac{\vec{j}}{\sigma}; \quad (6)$$

Система дополняется соотношениями:

$$\begin{aligned} \sigma &= \sigma(T, P), \quad \lambda = \lambda(T, P), \quad \mu = \mu(T, P), \quad \rho = \rho(T, P), \quad q = q(T, P), \\ c_p &= c_p(T, P), \quad h = h(T, P); \quad \vec{B} = \mu_0 \vec{H}, \quad \vec{D} = \varepsilon_0 \vec{E}; \end{aligned} \quad (7)$$

Где $\vec{V}$ - вектор скорости; P - давление; T - температура плазмы; $\vec{g}$ - вектор ускорения свободного падения; $\vec{j}$ - плотность тока, $\vec{E}$ - вектор напряженности электрического поля, $\vec{H}$ - вектор напряженности магнитного поля, $\vec{B}$ -

вектор магнитной индукции, $\vec{D}$ - вектор электрической индукции, μ_0 - магнитная постоянная, ε_0 - электрическая постоянная, ρ - плотность плазмы, c_p - теплоемкость при постоянном давлении, μ - вязкость, λ - теплопроводность плазмы, q - излучательная способность, σ - электропроводность, h - энтальпия, $\dot{S}$ - тензор скоростей деформации с компонентами:

$$S_{ik} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial v_i}{\partial x_k} + \frac{\partial v_k}{\partial x_i} \right), \quad (8)$$

где V_i, V_k -компоненты вектора $\vec{V}$, x_k, x_i - координаты, $i, k=1, 2, 3$. Конкретный вид тензора скоростей деформации зависит от используемой системы координат.

Стандартное преобразование позволяет записать данную систему МГД-уравнений в цилиндрических координатах как систему из четырех уравнений относительно переменных ω, h, ψ, χ , вводя скалярные переменные:

$\omega = \frac{w_\varphi}{r}$, $\psi = \phi_\varphi r$, $\chi = H_\varphi r$, где ω - напряженность вихря, ψ - функция тока, χ - функция электрического тока, которые в случае цилиндрической системы координат в случае осевой симметрии определяются соотношениями:

$$\omega = \frac{1}{r} \left(\frac{\partial v}{\partial z} - \frac{\partial u}{\partial r} \right);$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial \psi}{\partial r} &= \rho u r, & -\frac{\partial \psi}{\partial z} &= \rho v r; \\ \frac{\partial \chi}{\partial r} &= r j_z, & -\frac{\partial \chi}{\partial z} &= r j_r; \end{aligned} \quad (9)$$

Тогда исходная система запишется в следующем каноническом виде:

$$a \left[\frac{\partial}{\partial z} \left(\varphi \frac{\partial \psi}{\partial r} \right) - \frac{\partial}{\partial r} \left(\varphi \frac{\partial \psi}{\partial z} \right) \right] - \frac{\partial}{\partial z} \left[b \frac{\partial}{\partial z} (c \varphi) \right] - \frac{\partial}{\partial r} \left[b \frac{\partial}{\partial r} (c \varphi) \right] + e r = 0; \quad (10)$$

где φ - искомая функция, принимающая значения ω, ψ, h, χ ;

a, b, c, e - нелинейные коэффициенты, соответствующие каждому из уравнений. Единая форма записи позволяет при решении системы уравнений использовать один и тот же алгоритм расчета. Для решения полученной системы дифференциальных уравнений необходимо задать граничные условия для данных функций. Поскольку уравнения системы являются уравнениями эллиптического типа, то граничные условия должны быть заданы по всему контуру, охватывающему расчетную область.

Граничные условия на границе «плазма-жидкий металл» поставлены следующим образом:

$$\frac{1}{\rho_p} \frac{\partial \psi_p}{\partial z} = \frac{1}{\rho_m} \frac{\partial \psi_m}{\partial z}, \quad \psi = 0, \quad \lambda_p \frac{\partial T_p}{\partial z} = \lambda_m \frac{\partial T_m}{\partial z}, \quad \frac{\partial \chi_p}{\partial z} = \frac{\partial \chi_m}{\partial z} = 0; \quad (11)$$

Граничное условие для радиальной компоненты скорости на границе «плазма-жидкий металл», которая является плоской, учитывает вязкое взаимодействие между плазмой и жидким металлом, а также термокапиллярную конвекцию:

$$\mu_p \frac{\partial v_p}{\partial z} = \mu_m \frac{\partial v_m}{\partial z} - \frac{\partial \alpha}{\partial r}, \quad (12)$$

где α - коэффициент натяжения жидкого металла; преобразуя данное граничное условие для «вихрь-функции тока»:

$$\mu_p \omega_p = \mu_m \omega_m - \frac{\partial \alpha}{\partial r}, \quad (13)$$

В объеме сварочной ванны радиусом R и глубиной проплавления h , форма которой определяется изотермой плавления T_{plav} , находится жидкий металл, поведение которой описывается МГД уравнениями (1-7). Форма поверхности жидкого металла является плоской. Основными причинами, определяющими движение металла в сварочной ванне считаем:

- вязкие силы между радиально растекающимся у поверхности металла потоками плазмы и жидким металлом;
- тепловая конвекция, возникающая в неравномерно нагретых жидкостях;
- термокапиллярная конвекция, вызванная зависимостью коэффициента поверхностного натяжения жидкости от температуры;
- собственное магнитное поле протекающего через металл электрического тока.

Среди гидродинамических процессов, происходящих в жидкой фазе значительный интерес представляет эффект Марангони, то есть движение жидкости, вызванное зависимостью поверхностного натяжения от температуры. Возникновение градиента поверхностного натяжения может быть вызвано градиентом концентрации активирующих веществ или градиентом температуры. В последнем случае такую конвекцию называют термокапиллярной.

В работе [7] отмечено, что градиент поверхностного натяжения имеет сильное влияние на направление течений жидкого металла в сварочной ванне. Когда данный коэффициент отрицательный, термокапиллярные потоки направлены от центра ванны к ее краям, увеличивая ширину сварочной ванны. В случае, когда градиент поверхностного натяжения положителен, термокапиллярные течения направлены вглубь ванны, формируя более глубокую, но узкую ванну. Причем сила вязкого трения заметно зависит от химического состава защитного газа. Обычно, $\frac{\partial \alpha}{\partial T} < 0$ для чистых металлов, но может стать положительной величиной при введении поверхностно активных веществ, таких как сера и кислород (Рис.1).

Более того, известные оценки скорости течения жидкого металла, возникающего вследствие воздействия сил поверхностного натяжения и трения паров металла в канале, показывают, что течение в ванне для режимов сварки, используемых на практике, может быть турбулентным [8]. В результате численных расчетов было установлено, что учет термокапиллярной конвекции приводит к «грибовидной форме» сварочной ванны.



Рис.2 Направление потоков жидкого металла в сварочной ванне при воздействии различных сил

В нашей модели было принято допущение, что граница раздела между дугой и ванной остается плоской. В реальности, под действием сварочной дуги происходит деформация поверхности сварочной ванны. Для определения деформации свободной поверхности расплава существуют два основных подхода: подход Судника и Ерофеева для сварки неплавящимся электродом [7] и плазменной сварки [9]. Поверхность ванны деформируется под действием силы давления дуги и тяжести, которые уравниваются силой поверхностного натяжения, то есть равновесное расположение этой поверхности определяется уравнением равновесия давлений: капиллярного p_σ (сил поверхностного натяжения), внутреннего p_i , гравитационного p_G , плазмы дуги p_a . Координаты свободной поверхности расплава при небольших деформациях определяется из дифференциального уравнения движения свободной поверхности расплава:

$$\pm \alpha(T) \left\{ \frac{\partial^2 z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 z}{\partial y^2} \right\} = \rho g |z| - P_{vap}(T) + \lambda_L \quad (14)$$

Исходя из этой же модели в работе [2] дано более общее уравнение:

$$\alpha(T) \nabla \left(\frac{\Delta z}{\sqrt{1 + (\nabla z)^2}} \right) - \rho g h = \frac{P_{arc} + P_{vap}}{\sqrt{1 + (\nabla z)^2}} + \lambda_L \quad (15)$$

где h - высота столба жидкого металла, P_{vap} - давление отдачи паров, λ_L - постоянная, имеющая смысл внутреннего давления расплава вследствие деформации его поверхности, $\frac{\Delta z^2}{\sqrt{1 + (\nabla z)^2}}$ - кривизна поверхности расплава. P_{vap} - реактивное давление испаряющегося металла ванны под действием дуги определяется по температуре в произвольной точке поверхности расплава:

$$P_{vap} = A e^{-\frac{B}{T} + C} \quad (16)$$

где A, B, C - коэффициенты, зависящие от типа металла [3].

Второй подход представлен в работе [10]: под действием результирующих сил поверхность сварочной ванны деформируется и принимает форму с минимальной полной энергией. В работе показано, что решение полученной вариационной задачи может быть получены с использованием следующего уравнения Эйлера:

$$\alpha(T) \left\{ \frac{r z_{rr} + z_r (1 + z_r^2)}{r (1 + z_r^2)^{3/2}} \right\} = \rho g |z| - P_{arc} + \lambda_L \quad (17)$$

где λ_L - множитель Лагранжа (или внутреннее давление расплава)

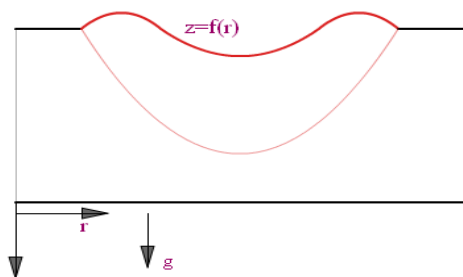


Рис.2 Схематическое представление деформации поверхности сварочной

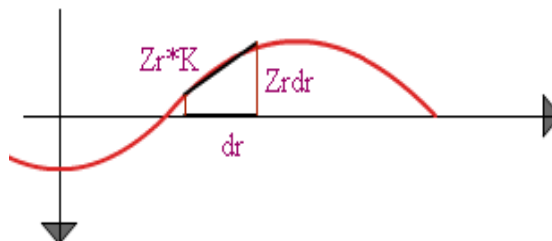


Рис.3 Геометрическое соотношение деформации поверхности, где $K = \sqrt{1 + Z_r^2}$ - кривизна ванны

Для решения уравнения необходимо определить внутреннее давление в расплаве, которое определяется согласно уравнению сохранения массы расплава. Решение уравнения равновесия давлений на поверхности сварочной ванны выполняется в цикле, внутри которого решается уравнение равновесия давлений и итерационно изменяется внутреннее давление в расплаве до достижения баланса массы. Расположение поверхностей сварочной ванны определяется в ходе решения уравнений модели.

Следующим значительным шагом в корректировке граничных условий на поверхности «плазма-жидкий металл» является исследование процессов испарения металла с поверхности анода. Присутствие паров материала анода в плазме сварочной дуги оказывает существенное влияние на ее основные физические свойства (теплофизические характеристики, коэффициенты переноса, оптические свойства), определяет тепловое и динамическое воздействие сварочной дуги на поверхность (форма поверхности, размеры сварочной ванны). В работе [4] разработана математическая модель испарения анода из бинарного сплава в условиях дуговой сварки.

Тепловой поток, выпариваемый из центральной области сварочной ванны, оценивается следующим уравнением:

$$q_{\text{evap}} = W_v h_{fg} \quad (18)$$

где h_{fg} – удельная теплота испарения, W_v – скорость испарения,

$$\log W_v = A_v + \log P_{\text{atm}} - 0,5 \log T \quad (19)$$

где P_{atm} является давление, при котором происходит испарение, A_v – постоянная [11].

Для моделирования изменения фазы «жидкий металл-твердый», соотношение между энтальпией и температурой в работе [12] учитывается следующее:

$$h = \begin{cases} \rho_s C_s T & T < T_s \\ h(T_s) + h_{sl} \frac{T - T_s}{T_l - T_s} & T_s < T < T_l \\ h(T_l) + \rho_l C_l (T - T_l) & T_l < T \end{cases} \quad (20)$$

s-граница «твердый металл», l – граница «жидкий металл», h_{sl} – удельная теплота плавления металла. В работе [13] на границе «плазма-жидкий металл» поставлены следующие условия:

$$\begin{aligned} Q &= j_e \varphi_a - \lambda \frac{\partial T}{\partial z} \\ S_p - S_m + \frac{\partial \alpha}{\partial T} \frac{\partial T}{\partial r} &= 0 \\ P_p - P_m + \alpha k &= 0 \end{aligned} \quad (21)$$

Граница плоская. Электрод, дуга и обрабатываемое изделие включаются в расчетную область и решаются согласовано. Изучено влияние состава защитного газа на свойства дуги и сварочную область. Изучено испарение металла из сварочной ванны и диффузия паров металла в плазменную дугу. Показано, что эффект паров металла может быть значительным, так как повышается радиационное излучение и уменьшается плотность тока в области изделия за счет увеличения электропроводности при низких температурах.

Таким образом, обзор вышеуказанных работ, позволяет скорректировать граничные условия на границе «плазма электрической дуги – жидкий металл сварочной ванны», учесть влияние давления дуги на форму и размеры сварочной ванны, учесть процессы испарения с поверхности расплавленного металла, что позволит разработать более полную математическую модель.

Список литературы

1. Жайнаков А.Ж., Султангазиева Р.Т., Усенканов Дж.О. О влиянии термокапиллярной конвекции на параметры расплавленного электрической дугой металла, Доклады 3 традиционной казахстанско-российской научно-практической конференции «Математическое моделирование научно-технологических и экологических проблем в нефтегазодобывающей промышленности», 19-20 сентября 2000, Алматы
2. Дилтай У., Дикшев И., Мокров О., Павлык В. Моделирование процесса и имитационные программы для сварки в активных и инертных газах. «Математическое моделирование и информационные технологии в сварке и родственных процессах» Сборник трудов международной конференции. - Крым, Украина, сентябрь, 2002
3. Полосков С.И. Виртуальная модель формирования швов в процессе орбитальной tig-сварки, Практическое применение имитационного и комплексного моделирования и средств автоматизации моделирования. Секция 3. - Москва, 2005
4. Семенов И.Л., Кривцун И.В., Зельниченко А.Т. Исследование процессов испарения бинарных сплавов в условиях дуговой сварки. «Математическое моделирование и информационные технологии в сварке и родственных процессах». Сборник трудов Шестой международной конференции. -Крым, Украина, май, 2012
5. Судник В.А., Павляк Д.А. Термогидродинамическая модель сварочной ванны и процесса сварки неплавящимся электродом. «Математическое моделирование и информационные технологии в сварке и родственных процессах». Сборник трудов пятой международной конференции. -Крым, Украина, май, 2010
6. Jainakov A., Usenkanov J., Sultangazieva R. Onjoint modeling of processes in electric arc plasma and melted metal. 6 general assembly of federation of engineering institutions of Islamic countries, 27-30 June-1999, Almaty

7. Abderrazak Traidia. Multiphysics modelling and numerical simulation of GTA weld pools. PhD Thesis – 2011
8. Choo R.T., Szekely J. The possible role of turbulence in GTA weld pool behavior // Welding J. Res.
9. Sudnik V.A. Phenomenological simplification of hydrodynamic problems of the weld pool and validation of such models. Математическое моделирование и информационные технологии в сварке и родственных процессах. Сборник трудов пятой международной конференции, Крым, Украина, 28 мая-2010
10. Kim S. -D., Na S. -J. Effect of Weld Pool Deformation on Weld Penetration in Stationary Gas Tungsten. Arc Welding, Welding research supplement, May-1992
11. Choi. M and Greif R. A study of the heat transfer during arc welding with applications to pure metals or alloys and low or high boiling temperature materials, Numer. Heat Transfer, 11, 2004
12. Cho M.H., Lim Y.S., Farson D.F. Simulation of weld pool dynamics in the stationary pulsed Gas Metal Arc Welding process and final shape. Welding Research, Supplement to the Welding journal, December -2006
13. Manabu Tanaka, Kentaro Yamamoto, Shinichi Tashiro and Lowke J. Cfd modelling of arc welding –the importance of the arc plasma. Seventh international conference on cfd in the minerals and process industries CSIRO, Melbourne, Australia, December- 2009

References

1. Zhaynakov AZ, Sultangazieva RT, Usenkanov Dz. O. On the influence of thermocapillary convection on the parameters of the electric arc molten metal Reports 3 traditional Kazakh-Russian scientific-practical conference "Mathematical modeling of scientific and technological and environmental problems in the oil and gas industry", 19-20 September 2000, Almaty
2. Dilthey Y., I. Dikshit, wet O. Pavlik V. Modelirovanie process and simulation program for welding in active and inert gases. "Mathematical modeling and information technologies in welding and allied processes" Proceedings of the International Conference. - Crimea, Ukraine, September 2002
3. Poloskov SI The virtual model of the joints in the orbital tig- welding, the practical application of simulation and complex modeling and automation modelirovaniya. Sektsiya 3.- Moscow, 2005
4. Семенов И.Л., Кривцун И.В., Зельниченко А.Т. Исследование процессов испарения бинарных сплавов в условиях дуговой сварки. «Математическое моделирование и информационные технологии в сварке и родственных процессах». Сборник трудов Шестой международной конференции. -Крым, Украина, май, 2012
5. Судник В.А., Павляк Д.А. Термогидродинамическая модель сварочной ванны и процесса сварки неплавящимся электродом. «Математическое моделирование и информационные технологии в сварке и родственных процессах». Сборник трудов пятой международной конференции. -Крым, Украина, май, 2010
6. Jainakov A., Usenkanov J., Sultangazieva R. On joint modeling of processes in electric arc plasma and melted metal. 6 general assembly of federation of engineering institutions of Islamic countries, 27-30 June- 1999, Almaty
7. Abderrazak Traidia. Multiphysics modelling and numerical simulation of GTA weld pools. PhD Thesis - 2011
8. Choo RT, Szekely J. The possible role of turbulence in GTA weld pool behavior // Welding J. Res.
9. Sudnik V.A. Phenomenological simplification of hydrodynamic problems of the weld pool and validation of such models. Математическое моделирование и информационные технологии в сварке и родственных процессах. Proceedings of the Fifth International Conference, Crimea, Ukraine, May 28 2010
10. Kim S. -D., Na S. -J. Effect of Weld Pool Deformation on Weld Penetration in Stationary Gas Tungsten. Arc Welding, Welding research supplement, May- 1992
11. Choi. M and Greif R. A study of the heat transfer during arc welding with applications to pure metals or alloys and low or high boiling temperature materials, Numer. Heat Transfer, 11, 2004
12. Cho M.H., Lim Y.S., Farson D.F. Simulation of weld pool dynamics in the stationary pulsed Gas Metal Arc Welding process and final shape. Welding Research, Supplement to the Welding journal, December -2006
13. Manabu Tanaka, Kentaro Yamamoto, Shinichi Tashiro and Lowke J. Cfd modelling of arc welding –the importance of the arc plasma. Seventh international conference on cfd in the minerals and process industries CSIRO, Melbourne, Australia, December- 2009

УДК 669.35.074.669.539.5

ПРОБЛЕМЫ ШТАМПОВКИ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ И ИХ РЕШЕНИЕ

Машеков Серик Акимович, д.т.н., профессор, КазНТУ им. К.И.Сатпаева, Казахстан, г.Алматы,
e-mail: mashkov.1957@mail.ru

Нурахметова Кулзира Кумаргалиевна, аспирант, КГТУ им. И.Раззакова, Кыргызстан, г.Бишкек,
e-mail: nurahmetova52@mail.ru

В данной статье рассматриваются проблемы штамповки титановых сплавов. Для получения

качественных поковок из титановых сплавов рекомендуется использовать инструмент с изменяющейся формой рабочей поверхности. Штамповку с таким инструментом целесообразно применять для получения изделий небольшой высоты (зубчатых колес, фланцев и др.).

Ключевые слова: титановые сплавы, штамповка, ковка, бойки, инструмент.

PROBLEMS FORMING OF TITANIUM ALLOYS AND THEIR SOLUTIONS

Mashekov Serik Akimovich, PhD (Engineering), professor, KazNTU named after K.I.Satpayev, c.Almaty Kazakhstan, e-mail: mashekov.1957@mail.ru

Nurakhmetova Kulzira Kumargalievna, graduate, KGTU named after Razzakov, c.Bishkek Kyrgyzstan, e-mail: nurakhmetova52@mail.ru

This article discusses the problems of stamping of titanium alloys. To obtain high-quality titanium alloy forgings it is recommended to use tool with changing shape of the working surface. Stamping tool with a changing shape of the working surface are useful for producing products of reduced height (gears, flanges, etc.).

Keywords: titanium alloys, stamping, forging, strikers' tool.

Известно, что титановые сплавы находят все большее применение как высокопрочные и жаропрочные конструкционные материалы благодаря своей удельной прочности [1]. Для широко применяемых ($\alpha + \beta$)–титановых сплавов (BT3–1, BT9, BT20, BT22 и др.) она характеризуется высокими значениями $\gamma = \sigma_B/\rho = 0,25–0,33$ МПа/кг/м³, соизмеримыми с удельной прочностью мартенситностареющих сталей ($\gamma = 0,29–0,3$ МПа/кг/м³ для Ст. Н18К12М3Т2) и значительно превосходящими удельную прочность лучших конструкционных сталей, таких как Ст. Х5М2СФА ($\gamma = 0,2$ МПа/кг/м³). Следует отметить, что указанное преимущество титановых сплавов проявляется в полной мере при использовании их в различных изделиях, где необходим выигрыш в весе, благодаря чему высокопрочные титановые сплавы нашли применение при изготовлении коленчатых валов, дисков, лопаток, клапанов и т.д.

Однако существующие в настоящее время технологические процессы получения заготовок для штамповки из титановых сплавов характеризуются высокой трудоемкостью, низкой производительностью и большими материальными затратами [1].

Результаты анализа существующих технологий подготовки заготовок для штамповки поковок из титановых сплавов показывают, что на трудоемкость и производительность, а также на качество получаемых поковок сильное влияние оказывают физические свойства титановых сплавов и специфика их построения.

Наиболее важные факторы, влияющие на разработку технологии и выбор режимов ковки и штамповки титановых сплавов, следующие [1]:

1) низкая теплопроводность титана и его сплавов. Теплопроводность титановых сплавов примерно в 15 раз ниже теплопроводности алюминия и в 5 раз меньше теплопроводности стали. Пониженные значения теплопроводности приводят к значительным температурным перепадам по сечению слитков и заготовок при нагреве и возникновению значительных напряжений, а в отдельных случаях – к образованию трещин. Это обстоятельство накладывает ограничение на скорость нагрева, особенно слитков и заготовок больших размеров. При охлаждении заготовок из титана и его сплавов могут быть значительные температурные перепады по сечению. Особенно неблагоприятное последствие этого – быстрое охлаждение острых граней, тонких элементов сечений, что затрудняет обеспечение равномерной деформации. Дальнейшее деформирование острых граней и тонких элементов может привести к растрескиванию металла, к образованию целого ряда дефектов в получаемых поковках. Неблагоприятные последствия возникают и в результате местного захлаживания деформируемого металла в зонах контакта его с инструментом, имеющим значительно более низкую температуру. Низкая теплопроводность титана и его сплавов оказывает отрицательное влияние и в процессе самой горячей деформации. Наличие зон наиболее интенсивной деформации при ковке и штамповке, из-за малой теплопроводности и вследствие теплового эффекта деформации, приводит к значительному перегреву металла этих зон, ухудшению структуры;

2) титан и его сплавы при температурах нагрева для горячей деформации активно взаимодействуют с кислородом, азотом, водородом и кислородсодержащими газами атмосферы. При нагреве на воздухе на поверхности заготовок образуется окалина, начинающая отслаиваться при температурах выше 900°C. Однако, наряду с образованием окисной пленки, происходит диффузия кислорода, водорода и азота с образованием поверхностных газонасыщенных слоев. Эти слои характеризуются высокой твердостью и низкой пластичностью. Для достаточно высоких температур (1200 °C) и длительности выдержки (до 5 часов и более), характерных при нагреве крупных слитков, глубина газонасыщенного слоя на поверхности может достигнуть нескольких миллиметров. Наличие газонасыщенного слоя значительной толщины на промежуточных заготовках может приводить к поверхностным надрывам при деформации, ухудшению качества поверхности металла. Известно, что, изменяя конфигурацию инструмента, форму заготовки, можно изменять напряженно-

деформированное состояние (НДС) и, тем самым, избежать дефектообразования при ковке. Отсюда возникает задача выбора рациональной конфигурации инструмента и заготовки, которая позволяет смягчить (минимизировать) коэффициент жесткости схемы напряженного состояния $k_{ж}$ на поверхности заготовки;

3) нагрев до температур, соответствующих β -области, и дальнейшее повышение температуры сопровождаются значительным повышением пластичности литого и деформированного металла, а также снижением сопротивления деформации. Однако в большинстве случаев деформация в β -области не дает возможности получить мелкозернистую рекристаллизованную структуру. Оптимальная структура может быть получена при деформации в β -области с переходом в $(\alpha + \beta)$ -область. Однако пластичность металла при деформации в $(\alpha + \beta)$ -области намного ниже, а сопротивление деформации – значительно выше. В связи с этим возникает необходимость оперативно изменять НДС, т.е. распределять деформации в различных объемах и величину $k_{ж}$ в соответствии с фазовым переходом. Такое оперативное изменение НДС возможно за счет изменения формы бойка и заготовки. Отсюда возникает задача выбора формы бойков при деформировании в $(\alpha + \beta)$ -области, которые позволяют снизить усилия деформирования и $k_{ж}$, обеспечивая при этом равномерное распределение деформации;

4) высокий коэффициент трения на поверхности контакта с инструментом, так как титан и его сплавы обладают повышенной способностью раскислять окисленные пленки на поверхности инструмента, чем объясняется их склонность к «схватыванию» с материалом инструмента, т.е. к образованию на контактной поверхности мостиков сварки. Это приводит к увеличению неравномерности деформации, уменьшению стойкости инструмента, ухудшению качества поверхности поковок и увеличению требуемого усилия деформирования.

Все перечисленные особенности приводят к тому, что горячая деформация титановых сплавов протекает в условиях значительной неравномерности деформации, что может привести к резко выраженной неоднородности структуры и неравномерности механических свойств поковок. Эти же особенности накладывают существенные ограничения как на способы и скорости подачи нагретых заготовок, так и на выбор оборудования, конфигурацию инструмента и способыковки.

Описанные выше особенности титановых сплавов приводят также к необходимости минимизации времениковки, штамповки и создания условий для управляемой локализации деформации в поверхностном слое заготовки на первоначальном этапе деформирования и в центральном слое в последующем этапековки. При этом грани заготовок необходимо периодически притуплять для ликвидации чрезмерного захлаживания углов поковок.

В работе [2] предлагается для подготовки структур использовать инструмент с изменяющейся формой. Это связано с тем, что при ковке заготовок в инструментах с изменяющейся формой на первом этапе деформация локализуется на поверхности и на втором этапе в центре поковки, т.е. создаются условия для качественной подготовки структуры заготовок для последующей штамповки. Однако в связи с трудностью изготовления предлагаемых инструментов в производственных условиях нами было поставлена еще одна цель – для получения качественных заготовок для штамповки разработать способковки, позволяющий локализовать деформацию последовательно на поверхности и в центре поковки, используя широко известное оборудование и инструменты.

Анализируя литературные данные, выбрали дляковки титановых сплавов плоские, комбинированные бойки. Для создания рациональной технологии протяжки и определения оптимальной величины углов кантовки и единичного обжатия исследовали напряженно-деформированное состояние (НДС) заготовки при протяжке в плоских и комбинированных бойках. Методом конечных элементов и программой MSC.SuperForge получили количественные данные и установили основные закономерности распределения НДС, температуры при моделированииковки в плоских и комбинированных бойках с различными углами кантовки и величинами обжатий, разработали рациональные режимы деформирования двухфазных титановых сплавов.

Проведенным исследованием установлено:

1. Равномерное по сечению заготовки распределение степени деформации сдвига достигается при ковке в плоских бойках с относительной подачей 1,0 на первом этапе и в комбинированных бойках с относительной подачей 0,6 и 1,0 на втором и третьем этапах протяжки.

2. Результатом равномерного распределения степени деформации сдвига является повышение уровня и однородности механических свойств металла, а также снижение их анизотропных свойств;

3. Расчет степени деформации сдвига позволил сделать вывод, что при ковке в плоских и комбинированных бойках измельчения структуры металла заготовки можно добиться за счет варьирования относительной подачи при угле кантовки 30° , 60° , 90° , 120° , 150° и 180° .

По нашему мнению, одним из прогрессивных технологических процессов является использование при штамповке титановых сплавов инструмента с изменяющейся формой рабочей поверхности. Использование этого процесса позволяет при сохранении всех преимуществ классических способов объемной штамповки избежать свойственных этому методу недостатков, в том числе повышенных требований к жесткости рабочего инструмента и необходимости приложения высоких удельных давлений при штамповке поковок небольшой высоты.

Сущность штамповки в инструменте с изменяющейся формой рабочей поверхности состоит в том [3], что заготовку устанавливают между матрицей 5 и криволинейно-выпуклым элементом 4 пуансона 3 (рисунок

1). При движении траверсы прессы вниз происходит пластическая деформация заготовки криволинейно-выпуклым элементом пуансона и матрицей. При достижении верхнего нажимного механизма соответствующего упора данный винт приводит в движение верхнюю V-образную направляющую, что ведет к изгибу криволинейно – выпуклого элемента пуансона. Изгиб криволинейно выпуклого элемента вызывает вытеснение металла в радиальном направлении штампа. В конце процесса штамповки криволинейно-выпуклый элемент пуансона превращается в элемент с плоской рабочей поверхностью, что позволяет полностью заполнить полость штампа.

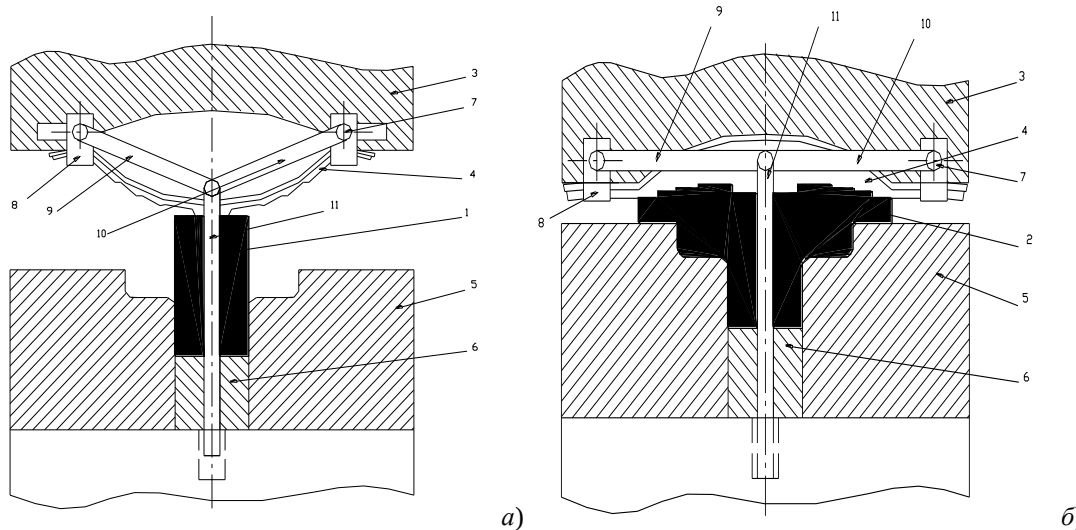


Рис. 1 – инструмент с изменяющейся формой рабочей поверхности до (а) и после (б) выполнения операции штамповки

1 – заготовка; 2 – получаемая поковка; 3 – пуансон; 4 – криволинейно-выпуклый элемент пуансона; 5 – матрица; 6 – выталкиватель; 7 и 8 – клиновое крепление криволинейно- выпуклого элемента; 9 и 10 – V – образная направляющая пуансона; 11 и 12 – нажимной винт пуансона

При штамповке в инструменте новой конструкции деформирующее усилие воздействует только на часть обрабатываемой заготовки. При этом трение между заготовкой и криволинейно-выпуклым элементом снижается, и материал заготовки достаточно свободно перемещается в радиальном направлении (известно, что криволинейно-выпуклая форма элемента снижает величину трения). Благодаря меньшей контактной поверхности и благоприятным условиям трения при штамповке в инструменте новой конструкции достигается уменьшение усилия деформирования, нагрузки на инструмент и быстрое заполнение полости ручья штампа.

Еще одним преимуществом штамповки в инструменте новой конструкции является постепенный перенос акцента деформации от центральных частей заготовки к периферийным частям поковки в конце процесса штамповки. Все это и снижение величины трения способствует более равномерному распределению деформации по сечению заготовки и тем самым повышению качества получаемых поковок.

При обычном процессе штамповки трение затрудняет радиальное перемещение материала по рабочим поверхностям штампа [4]. Удельное давление на единицу поверхности достигает максимума по оси поковки и снижается в направлении ее периферийных участков. Максимальное напряжение $\sigma_{\max}$ тем больше, чем больше трение между заготовкой и инструментом. В ряде случаев $\sigma_{\max}$ может достигать значений, в несколько раз больших предела текучести материала.

Если при обычной штамповке деформирующее усилие воздействуют одновременно на всю поверхность заготовки, то при штамповке в инструменте с изменяющейся формой рабочей поверхности – только на часть поверхности (рис. 1). В этом случае инструмент совершает обкатывающее движение. При этом трение снижается и материал заготовки достаточно свободно перемещается в радиальном направлении (за счет изменения трения скольжения на комбинированное трение качения и скольжения).

Еще одним преимуществом штамповки в инструменте с изменяющейся формой рабочей поверхности является то, что за один рабочий цикл достигается значительно более высокая степень деформирования без применения промежуточного нагрева. Одновременно исключается необходимость использования дорогостоящих штампов для традиционной штамповки. Эти факторы обуславливают целесообразность использования штамповки в инструменте с изменяющейся формой рабочей поверхности при средне- и мелкосерийном производстве.

Методом штамповки в инструменте с изменяющейся формой рабочей поверхности можно получать заготовки из сталей и сплавов с высокой способностью к деформированию, которая определяется высоким содержанием в ней углерода и легирующих элементов. Цветные металлы, такие как титан, медь и алюминий – идеальный материал для получения заготовок методом штамповки в инструменте с изменяющейся формой

рабочей поверхности. С повышением содержания легирующих элементов склонность к формообразованию сталей и цветных металлов и сплавов при штамповке в инструменте с изменяющейся формой рабочей поверхности снижается.

Штамповку в инструменте с изменяющейся формой рабочей поверхности можно использовать и при холодной штамповке. Известно, что упрочнение при холодной объемной штамповке происходит за счет изменения механических свойств материалов (прочности и твердости). Проведенными нами исследованиями установлено, что аналогичный механизм упрочнения характерен и для штамповки в инструменте с изменяющейся формой рабочей поверхности. Поэтому в ряде случаев можно для изготовления поковок использовать заготовки из недорогих низколегированных сталей, которые после штамповки в инструменте с изменяющейся формой рабочей поверхности имеют прочность на уровне высоколегированных сталей.

Штамповкой в инструменте с изменяющейся формой рабочей поверхности целесообразно изготавливать осесимметричные, сплошные и полые изделия. В зависимости от конфигурации заготовки рекомендуется выбирать конфигурацию ручья при штамповке в инструменте с изменяющейся формой рабочей поверхности таким образом, чтобы полученная поковка не имела заусенцов и трещин в периферийной зоне.

Значительную роль при штамповке в инструменте с изменяющейся формой рабочей поверхности играет трение между заготовкой и деталью штампа. В качестве смазки обычно используются сульфид молибдена, различные масла или мыло [2]. Подготовку заготовок к штамповке обычно осуществляли с использованием автоматизированных устройств в следующей технологической последовательности [2]: обезжиривание; промывка в холодной, а затем теплой воде; фосфатирование в растворе с концентрацией до 90 – 150 мг/л; промывка в холодной и теплой воде; обработка в мыльном растворе, сушка или обработка сульфидом молибдена.

При штамповке в инструменте с изменяющейся формой рабочей поверхности с малой степенью деформирования заготовок при мелкосерийном производстве рекомендуется только смазка заготовок маслом.

Таким образом, штамповку в инструменте с изменяющейся формой рабочей поверхности целесообразно применять для получения изделий небольшой высоты (зубчатых колес, фланцев и др.). Формообразующий инструмент прост по конструкции, сравнительно дешев, достаточно быстро заменяется.

Список литературы

1. Машеков С.А., Биякаева Н.Т., Машекова А.С. Монография. Проблемыковки титановых сплавов и их решения. Часть 1 и 2 Издательство: LAP LAMBERT Academic Publishing. 2013. 230 с. и 251 с.
2. Машеков С.А., Биякаева Н.Т., Нуртазаев А.Е. Технологияковки в инструменте с изменяющейся формой.- Павлодар: Издательство «Кереку», 2008. 634 с.
3. Патент РК № 15280. Инструмент для штамповки /А.Д. Омаров, С.А. Машеков, Н.Т. Биякаева и др. Оpubл. 17.01.2005, бюл. № 1. - 2с:ил.
4. Nagy Jan. Orbitalne tvarnenie a kyvavou zapustkou // Strjirenska vyroba. – 1987. – № 5. – S. 317 – 322.

References

1. Masek SA, Biyakaeva NT, AS Mashekova Monograph . Problems forging of titanium alloys and their solutions . Part 1 and 2 Publisher : LAP LAMBERT Academic Publishing. 2013. 230 p. and 251 s.
2. Masek SA, Biyakaeva NT, Nurtazaev AE Forging technology in the tool with varying formoy.- Pavlodar : Publishing " Kerekou ," 2008. 634 p.
3. Patent RK № 15280. Tool for punching /A.D . Lobster , SA Masek , NT Biyakaeva et al . Publ . 17.01.2005 , Bull. № 1. - 2c : ill.
4. Nagy Jan. Orbitalne tvarnenie a kyvavou zapustkou // Strjirenska vyroba. - 1987. - № 5. - S. 317 - 322 .

УДК 681.625.23; 531.01

ДИНАМИЧЕСКИЕ НАГРУЗКИ НА ПОДШИПНИКИ ФОРМНОГО ВАЛА ПЕЧАТНОЙ МАШИНЫ

Курманалиев К.К., Султангазиева А.К., Турдукулова А.К., КГТУ им.И.Раззакова. тел: 0312-56-14-55, E-mail: turdukulovaa@list.ru

Вопрос о динамических нагрузках на подшипники вращающихся тел однородной структуры, цилиндрических оболочек, и вообще центрированной массы довольно хорошо изучен и рассматривается в учебниках по теории машин и механизмов, механике машин, деталей машин.

Формный вал печатной машины по конструкции является не центрированной массой. При больших угловых скоростях вращения на подшипники действуют разнонаправленные нагрузки. Получено аналитическое решение уравнения движения вала. Из анализа найдены обобщающиеся пиковые нагрузки.

Ключевые слова: печатная машина, модуляция, устойчивость, формный вал, подшипники, цилиндрическая оболочка, подвеска, динамика процесса, потенциальная энергия, степень свободы.

DYNAMIC BEARING LOAD FORME SHAFT OF PRINTING MACHINE

Kurmanaliev K.K., Sultangalieva A.K., Turdukulova A.K., KSTU im.I.Razzakova.E-mail: turdukulovaa@list.ru

The question of the dynamic loads on the bearings of rotating bodies of homogeneous structures, cylindrical shells, as strong cylindrical shells and generally centered weight fairly, well understood and considered in the textbooks of the theory of machines and mechanisms, mechanics of machines, machine parts.

Gravure of printing machine shaft, in design, is not centered mass. At high angular speeds, on the bearings are multidirectional load. An analytical solution of the equations of motion of the shaft. From the analysis found generalized peaks of loads.

Keywords: printing machine, modulation, resistance, forme roller bearings, cylindrical shell, suspension, dynamics of the process, potential energy, the degree of freedom.

Вопросы о динамических нагрузках на подшипники вращающихся тел однородной структуры, цилиндрических оболочек, и вообще центрированной массы довольно хорошо изучены и рассматриваются в учебниках по теории машин и механизмов.

Формный вал [1] печатной машины конструкционно является структурно неоднородным, а также нецентрирован относительно подвесок (подшипников).

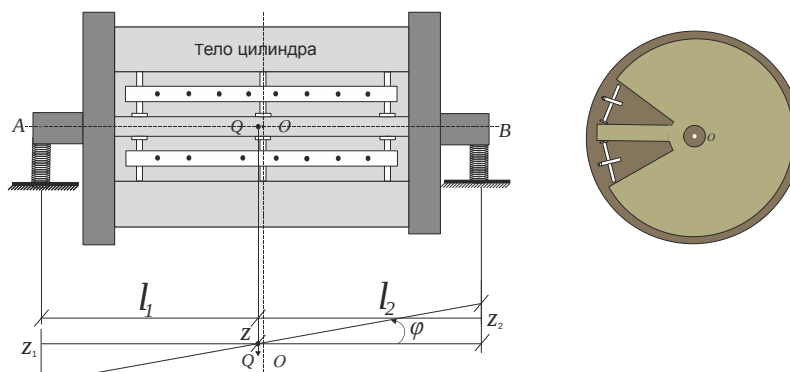


Рис. 1. Стандартный формный цилиндр: вид спереди и с торца.

Определение устойчивости вала в его средней вертикальной плоскости проведем при следующих допущениях: работа подшипников моделируется пружиной жесткости C_1 и C_2 , вес вала Q , расстояния от центра тяжести до осей пружин l_1 и l_2 , радиус инерции вала относительно оси вала ρ .

Колебание вала происходит в вертикальной плоскости относительно оси, проходящей через центр масс, тогда математическая система модулируется системой с двумя степенями свободы.

За обобщенные координаты [2] примем вертикальные колебания центра тяжести Q и угловые колебания; угол поворота вокруг оси, проходящей через точку Q .

z - вертикальные перемещения; φ - угловые колебания.

Запишем кинетическую энергию:

$$T = \frac{1}{2} \frac{Q}{g} \dot{z}^2 + \frac{1}{2} J_C \dot{\varphi}^2; \quad J_Q = \frac{Q}{g} \rho^2 - \text{момент инерции вала.}$$

Потенциальная энергия вала складывается из потенциальной энергии силы тяжести и потенциальных энергий пружин, в нашем случае, одинаковой жесткости $C = C_1 = C_2$, однако для разграничения в математических расчетах оставим до конечных результатов C_1 и C_2 .

$$\Pi = \Pi_z + \Pi_c = \Pi_z + \Pi_{C_1} + \Pi_{C_2}$$

Деформация пружины A равна $Z - z_1 = Z - \varphi l_1$ с учетом статической деформации будет $\Delta z_1 = f_A + z - \varphi l_1$

$$\text{Тогда } \Pi_A = \frac{1}{2} C_1 (f_A + z - l_1 \varphi)^2 - \frac{1}{2} C_1 f_A^2$$

$$\text{Аналогично для пружины } B \quad \Pi_B = \frac{1}{2} C_2 (f_A + z - l_2 \varphi)^2 - \frac{1}{2} C_2 f_B^2$$

Таким образом Π всей системы относительно обобщенных координат (z, φ)

$$\Pi = -Qz \frac{1}{2} C_1 (f_A + z - l_1 \varphi)^2 - \frac{1}{2} C_1 f_A^2 + \frac{1}{2} C_2 (f_A + z - l_2 \varphi)^2 - \frac{1}{2} C_2 f_B^2$$

В положении равновесия должно быть $\left. \frac{\partial \Pi}{\partial z} \right|_{z=0} = 0, \quad \left. \frac{\partial \Pi}{\partial \varphi} \right|_{\varphi=0} = 0$

Найдем

$$\left. \frac{\partial \Pi}{\partial z} \right|_{\substack{z=0 \\ \varphi=0}} = [-Q + C_1(f_A + z - l_1\varphi) + C_2(f_B + z - l_2\varphi)]_{\substack{z=0 \\ \varphi=0}} = -Q + C_1f_A + C_2f_B$$

$$\left. \frac{\partial \Pi}{\partial \varphi} \right|_{\substack{z=0 \\ \varphi=0}} = [-C_1l_1(f_A + z - l_1\varphi) + C_2l_2(f_B + z - l_2\varphi)]_{\substack{z=0 \\ \varphi=0}} = -C_1l_1f_A + C_2l_2f_B$$

Следовательно, параметры системы
$$\begin{cases} -Q + C_1f_A + C_2f_B = 0 \\ -C_1l_1f_A + C_2l_2f_B = 0 \end{cases}$$

Преобразуем потенциальную энергию.

$$\Pi = (-Q + C_1f_A + C_2f_B)z + (-C_1l_1f_A + C_2l_2f_B)\varphi + \frac{1}{2}(C_1 + C_2)z^2 + (C_2l_2 - C_1l_1)z\varphi + \frac{1}{2}(C_1l_1^2 + C_2l_2^2)\varphi^2$$

Учитывая
$$\begin{cases} -Q + C_1f_A + C_2f_B = 0 \\ -C_1l_1f_A + C_2l_2f_B = 0 \end{cases}$$

получим

$$\Pi = \frac{1}{2}(C_1 + C_2)z^2 + (C_2l_2 - C_1l_1)z\varphi + \frac{1}{2}(C_1l_1^2 + C_2l_2^2)\varphi^2$$

Уравнения Лагранжа II рода для системы из двух степеней свободы

$$(z, \varphi) \frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{z}} - \frac{\partial T}{\partial z} = \frac{\partial \Pi}{\partial z}, \quad \frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}} - \frac{\partial T}{\partial \varphi} = -\frac{\partial \Pi}{\partial \varphi}$$

Для каждого члена уравнения:

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{z}} = \frac{Q}{g} \ddot{z}, \quad \frac{\partial T}{\partial z} = 0, \quad \frac{\partial \Pi}{\partial z} = (C_1 + C_2)z + (C_2l_2 - C_1l_1)\varphi = 0$$

Подставляя в уравнения Лагранжа II рода

$$\begin{cases} \frac{Q}{g} \ddot{z} + (C_1 + C_2)z + (C_2l_2 - C_1l_1)\varphi = 0 \\ \frac{Q}{g} \rho^2 \ddot{\varphi} + (C_2l_2 - C_1l_1)\varphi + (C_1l_1^2 + C_2l_2^2)z = 0 \end{cases}$$

Обозначим

$$a = \frac{(C_1 + C_2)g}{Q}, \quad b = \frac{(C_2l_2 - C_1l_1)g}{Q}, \quad d = \frac{(C_1l_1^2 + C_2l_2^2)g}{Q}$$

Тогда
$$\begin{cases} \ddot{z} + az + b\varphi = 0, \\ \ddot{\varphi} + \frac{b}{\rho^2}z + \frac{d}{\rho^2}\varphi = 0. \end{cases}$$

Ищем решение в виде:

$$\begin{aligned} z &= A \sin(kt + \varepsilon); \\ \varphi &= B \sin(kt + \varepsilon) \end{aligned}$$

Подставляя в дифференциальное уравнение

$$(a - k^2)A + bB = 0 \quad (1)$$

$$\frac{b}{\rho^2}A + \left(\frac{d}{\rho^2} - k^2\right)B = 0 \quad (2)$$

так как при любом нарушении устойчивости
$$\begin{vmatrix} a - k^2 & b \\ \frac{b}{\rho^2} & \frac{d}{\rho^2} - k^2 \end{vmatrix} = 0 \quad (3)$$

Раскроем определитель и получим:
$$k^4 - \left(\frac{d}{\rho^2} + a\right)k^2 + \frac{ad - b^2}{\rho^2} = 0 \quad (4)$$

Разрешая биквадратное уравнение, получим:

$$k_1^2 = \frac{1}{2}\left(\frac{d}{\rho^2} + a\right) + \sqrt{\frac{1}{4}\left(\frac{d}{\rho^2} + a\right)^2 - \frac{ad - b^2}{\rho^2}} \quad (5)$$

$$k_2^2 = \frac{1}{2}\left(\frac{d}{\rho^2} + a\right) - \sqrt{\frac{1}{4}\left(\frac{d}{\rho^2} + a\right)^2 - \frac{ad - b^2}{\rho^2}} \quad (6)$$

Найдем [3] отношение амплитуд A и B из (1, 2)

$$n_1 = \frac{A_1}{B_1} = \frac{b}{k_1^2 - a} \quad n_2 = \frac{A_2}{B_2} = \frac{b}{k_2^2 - a} \quad (7)$$

Составим общее решение дифференциальных уравнений

$$\begin{cases} z = n_1B_1\sin(k_1t + \varepsilon_1) + n_2B_2\sin(k_2t + \varepsilon_2), \\ \varphi = B_1\sin(k_1t + \varepsilon_1) + B_2\sin(k_2t + \varepsilon_2). \end{cases} \quad (8)$$

Численные эксперименты, проведенные в модельных испытаниях, показали, что если в первом приближении главных колебаний смещение центра тяжести даст крен на 0,01 мм, то формный вал повернется одновременно по ходу часовой стрелки на 0,1 градуса, что составляет 10%, отвечающих допуску технического регламента работы машин.

Во втором приближении главных колебаний отвечающие за угловые повороты практически отсутствуют.

В инженерных расчетах и эксплуатации печатных машин превалирует первая компонента пиковых значений возникающих амплитуд.

Теперь найдем обобщенную силу, действующую на подшипники A и B , возникающую от вертикальных и поворотных колебаний вала относительно точки центрирования Q .

Систему уравнения движения определим из плоского движения нецентрированного вала относительно выбранной системы координат, отнесенной к физическому центру вала.

$$\frac{P}{g} \frac{d^2 z}{dt^2} = F_z; \quad J \frac{d^2 \varphi}{dt^2} = M_Q(F) \quad (9)$$

Тогда инерционные и поворотные силы из полученных общих решений

$$\begin{aligned} F_z &= \frac{P}{g} \frac{d^2}{dt^2} (n_1 B_1 \sin(k_1 t + \varepsilon_1) + n_2 B_2 \sin(k_2 t + \varepsilon_2)) \\ M_Q(F_Q) &= J \frac{d^2}{dt^2} (B_1 \sin(k_1 t + \varepsilon_1) + B_2 \sin(k_2 t + \varepsilon_2)) \end{aligned} \quad (10)$$

Раскрывая вторые производные по времени получим

$$\begin{aligned} F_z &= \frac{P}{g} [(n_1 B_1 k_1^2 (-1) \sin(k_1 t + \varepsilon_1) + n_2 B_2 k_2^2 (-1) \sin(k_2 t + \varepsilon_2))] \\ M_Q(F_z) &= J \cdot [(B_1 k_1^2 (-1) \sin(k_1 t + \varepsilon_1) + B_2 k_2^2 (-1) \sin(k_2 t + \varepsilon_2))] \end{aligned} \quad (11)$$

Переходя к обобщенным координатам получим

$$F_z = -\frac{P}{g} k^2 \frac{d^2 z}{dt^2}; \quad M_Q(F_z) = -J k^2 \frac{d^2 \varphi}{dt^2} \quad (12)$$

Выводы: таким образом, мы получили что силовые характеристики, действующие на подшипники, формируются из собственных физических характеристик и динамической эксплуатации формного вала печатной машины.

Список литературы

1. Ллойд Деджидас, Томас Дистри. Листовая офсетная печатная машина. – М.: Принтмедиацентр, 2007. – 490 с.
2. Бухгольц Н.В. Основы теоретической механики. Т.2. – М.: Высшая школа, 2002. – 450 с.
3. Курманалиев К., Султангазиева А.К., Турдукулова А.К. Вертикальные колебания формного вала.

References

1. Lloyd Dedzhidas Thomas distro. Sheetfed offset press. - M.: Printmediatsentr, 2007. - 490 p.
2. Buchholz NV Basics of theoretical mechanics. V.2. - M.: Higher School, 2002. - 450 p.
3. Kurmanaliev K. Sultangazieva AK, AK Turdukulova Vertical oscillations of the printing shaft.

УДК 681.625.23; 531.01

ВЕРТИКАЛЬНЫЕ КОЛЕБАНИЯ ФОРМНОГО ВАЛА

Курманалиев К.К., Султангазиева А.К., Турдукулова А.К., КГТУ им. И. Раззакова, тел.: (+996) 312 56-14-55; e-mail: aselix@mail.ru

Физические принципы работы формных валов печатных машин любой марки абсолютно идентичны. Рассчитаны динамические нагрузки на поддерживающие подшипники. Рекомендованы корреляционные формулы расчета конкретных машин, несимметричных относительно срединной плоскости. Динамические уравнения могут быть получены из равнения Лагранжа второго рода модулированных из вертикальных и колебательных движений формного вала. Динамические нагрузки определяются из математической системы при некоторых физических допущениях позволяющий характеризовать работу цилиндрических аналогий.

Ключевые слова: формный вал, подшипники, пружина, модуляция, корреляция, обобщенные координаты, потенциальная энергия, степень свободы, устойчивость, уравновешенность, динамика процесса.

VERTICAL OSCILLATIONS OF THE FORME SHAFT

Kurmanaliev K.K., Sultangazieva A.K., Turdukulova A.K., KSTU . I. Razzakova , tel .: (996) 312 56-14-55 ;
e-mail: aselix@mail.ru

The physical principles of work the formnykh of shaft of printing machines of any brand are absolutely identical. Dynamic loads of the supporting bearings are calculated. Correlation formulas of calculation of concrete cars, asymmetrical are recommended to rather median plane. The dynamic equations can be received from Lagrange's alignment of the second sort modulated from vertical and oscillating motions of a formny shaft. Dynamic loadings are defined from mathematical system the allowing modulated at some physical assumptions is characterized work of cylindrical analogies.

Keywords: forme shaft , bearings, springs , modulation , correlation, generalized coordinates , potential energy , the degree of freedom , stability , balance , dynamics of the process .

Формный вал /1/ печатной машины из-за большой угловой скорости вращения, и несимметричного относительного центра масс поддерживающих подшипников, не равномерной плотности по конструкции сильно подвержен динамическим нагрузкам (рис.1).

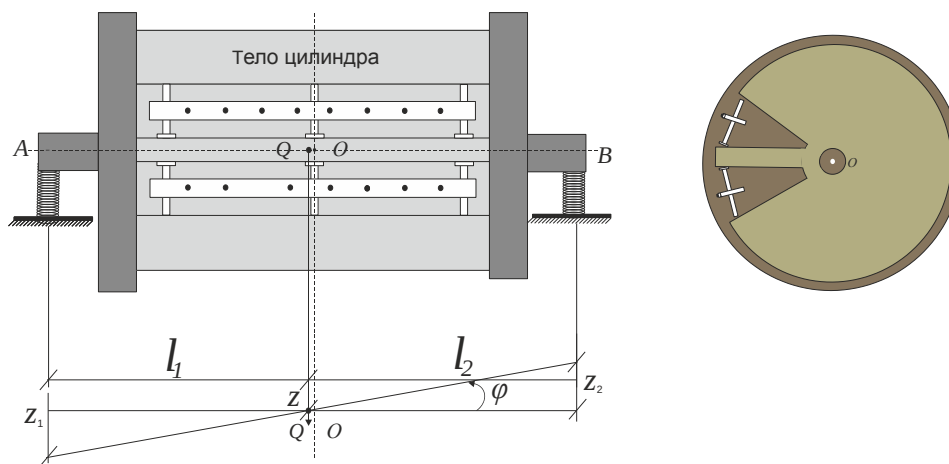


Рис.1. Стандартный формный цилиндр: вид спереди и с торца.

Определение устойчивости вала в его средней вертикальной плоскости проведем при следующих допущениях: работа подшипников моделируется пружиной жесткости C_1 и C_2 , вес вала Q , расстояния от центра тяжести до осей пружин l_1 и l_2 , радиус инерции вала относительно оси вала ρ .

Колебание вала происходит в вертикальной плоскости относительно оси проходящей через центр масс, то система модулируется математически системой с двумя степенями свободы.

За обобщенные координаты /2/ примем вертикальные колебания центра тяжести Q и угловые колебания; угол поворота вокруг оси, проходящей через точку Q параллельно осям.

За обобщенные координаты примем:

z - вертикальные перемещения;

φ - угловые колебания.

Запишем кинетическую энергию:

$$T = \frac{1}{2} \frac{Q}{g} \dot{z}^2 + \frac{1}{2} J_Q \dot{\varphi}^2;$$

$$J_Q = \frac{Q}{g} \rho^2 - \text{момент инерции вала.}$$

Потенциальная энергия вала складывается из потенциальной энергии силы тяжести и потенциальных энергий пружин, в нашем случае, одинаковой жесткости $C = C_1 = C_2$, однако для разграничения в математических расчетах оставим до конечных результатов C_1 и C_2 .

$$\Pi = \Pi_Z + \Pi_C = \Pi_Z + \Pi_{C_1} + \Pi_{C_2}$$

Деформация пружины A равен $Z - Z_1 = Z - \varphi l_1$ с учетом статической деформации будет $\Delta Z_1 = f_A + z - \varphi l_1$

$$\text{Тогда } \Pi_A = \frac{1}{2} C_1 (f_A + z - \varphi l_1)^2 - \frac{1}{2} C_1 f_A^2$$

$$\text{Аналогично } \Pi_B = \frac{1}{2} C_2 (f_B + z - \varphi l_2)^2 - \frac{1}{2} C_2 f_B^2$$

Таким образом Π всей системы относительно обобщенных координат (z, φ) .

$$\Pi = -Qz \frac{1}{2} C_1 (f_A + z - l_1 \varphi)^2 - \frac{1}{2} C_1 f_A^2 + \frac{1}{2} C_2 (f_B + z - l_2 \varphi)^2 - \frac{1}{2} C_2 f_B^2$$

В положении равновесия должно быть

$$\left. \frac{\partial \Pi}{\partial z} \right|_{z=0} = 0, \quad \left. \frac{\partial \Pi}{\partial \varphi} \right|_{\varphi=0} = 0$$

Найдем

$$\left. \frac{\partial \Pi}{\partial z} \right|_{z=0} = [-Q + C_1 (f_A + z - l_1 \varphi) + C_2 (f_B + z - l_2 \varphi)]_{z=0} = -Q + C_1 f_A + C_2 f_B$$

$$\left. \frac{\partial \Pi}{\partial \varphi} \right|_{\varphi=0} = [-C_1 l_1 (f_A + z - l_1 \varphi) + C_2 l_2 (f_B + z - l_2 \varphi)]_{z=0} = -C_1 l_1 f_A + C_2 l_2 f_B$$

Следовательно, параметры системы

$$\begin{cases} -Q + C_1 f_A + C_2 f_B = 0 \\ -C_1 l_1 f_A + C_2 l_2 f_B = 0 \end{cases}$$

Преобразуем потенциальную энергию.

$$\begin{aligned} \Pi = & (-Q + C_1 f_A + C_2 f_B)z + (-C_1 l_1 f_A + C_2 l_2 f_B)\varphi + \frac{1}{2} (C_1 + C_2)z^2 + \\ & + (C_2 l_2 - C_1 l_1)z\varphi + \frac{1}{2} (C_1 l_1^2 + C_2 l_2^2)\varphi^2 \end{aligned}$$

Учитывая $\begin{cases} -Q + C_1 f_A + C_2 f_B = 0 \\ -C_1 l_1 f_A + C_2 l_2 f_B = 0 \end{cases}$ получим

$$\Pi = \frac{1}{2} (C_1 + C_2)z^2 + (C_2 l_2 - C_1 l_1)z\varphi + \frac{1}{2} (C_1 l_1^2 + C_2 l_2^2)\varphi^2$$

Запишем уравнения Лагранжа II рода для системы обобщенных координат (z, φ)

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{z}} - \frac{\partial T}{\partial z} = \frac{\partial \Pi}{\partial z}, \quad \frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}} - \frac{\partial T}{\partial \varphi} = -\frac{\partial \Pi}{\partial \varphi}.$$

Для каждого члена уравнения:

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{z}} = \frac{Q}{g} \ddot{z}, \quad \frac{\partial T}{\partial z} = 0, \quad \frac{\partial \Pi}{\partial z} = (C_1 + C_2)z + (C_2 l_2 - C_1 l_1)\varphi = 0.$$

Подставляя в уравнения Лагранжа II рода

$$\begin{cases} \frac{Q}{g} \ddot{z} + (C_1 + C_2)z + (C_2 l_2 - C_1 l_1)\varphi = 0, \\ \frac{Q}{g} \rho^2 \ddot{\varphi} + (C_2 l_2 - C_1 l_1)\varphi + (C_1 l_1^2 + C_2 l_2^2)z = 0. \end{cases}$$

Обозначим

$$a = \frac{(C_1 + C_2)g}{Q}, \quad b = \frac{(C_2 l_2 - C_1 l_1)g}{Q}, \quad d = \frac{(C_1 l_1^2 + C_2 l_2^2)g}{Q}.$$

$$\text{Тогда } \begin{cases} \ddot{z} + az + b\varphi = 0, \\ \ddot{\varphi} + \frac{b}{\rho^2}z + \frac{d}{\rho^2}\varphi = 0. \end{cases}$$

Ищем решение в виде:

$$\begin{aligned} z &= A \sin(kt + \varepsilon); \\ \varphi &= B \sin(kt + \varepsilon) \end{aligned}$$

Подставляя в дифференциальное уравнение

$$(a - k^2)A + bB = 0 \quad (1)$$

$$\frac{b}{\rho^2}A + \left(\frac{d}{\rho^2} - k^2\right)B = 0 \quad (2)$$

Так как при любом нарушении устойчивости

$$\begin{vmatrix} a - k^2 & b \\ \frac{b}{\rho^2} & \frac{d}{\rho^2} - k^2 \end{vmatrix} = 0 \quad (3)$$

Раскроем определитель и получим:

$$k^4 - \left(\frac{d}{\rho^2} + a\right)k^2 + \frac{ad - b^2}{\rho^2} = 0 \quad (4)$$

Разрешая биквадратное уравнение получим:

$$\begin{aligned} k_1^2 &= \frac{1}{2} \left(\frac{d}{\rho^2} + a \right) + \sqrt{\frac{1}{4} \left(\frac{d}{\rho^2} + a \right)^2 - \frac{ad - b^2}{\rho^2}} \\ k_2^2 &= \frac{1}{2} \left(\frac{d}{\rho^2} + a \right) - \sqrt{\frac{1}{4} \left(\frac{d}{\rho^2} + a \right)^2 - \frac{ad - b^2}{\rho^2}} \end{aligned} \quad (5)$$

Найдем отношение амплитуд A и B из (1, 2) /3/

$$\begin{aligned} n_1 &= \frac{A_1}{B_1} = \frac{b}{k_1^2 - a} \\ n_2 &= \frac{A_2}{B_2} = \frac{b}{k_2^2 - a} \end{aligned} \quad (6)$$

Тогда общее аналитическое решение дифференциальных уравнений будет иметь законченный вид:

$$\begin{cases} z = n_1 B_1 \sin(k_1 t + \varepsilon_1) + n_2 B_2 \sin(k_2 t + \varepsilon_2), \\ \varphi = B_1 \sin(k_1 t + \varepsilon_1) + B_2 \sin(k_2 t + \varepsilon_2). \end{cases} \quad (7)$$

Выводы: Таким образом, получено возможность аналитического расчета динамики формного вала из его физических характеристик и эксплуатационных условий.

Данное решение для пружин одинаковой жесткости физически и конструктивно справедливы, тогда запись решений на много упрощается.

Список литературы

4. Ллойд Деджидас, Томас Дистри. Листовая офсетная печатная машина. – М.: Принтмедиацентр, 2007. – 490 с.
5. Бухгольц Н.В. Основы теоретической механики. Т.2. – М.: Высшая школа, 2002. – 450 с.
6. Курманалиев К., Султангазиева А.К. Распространение упругих волн в протяженных цилиндрических системах // Известия КГТУ № 17. – Б., 2009. С.385-386.

References

1. Lloyd Dedzhidas Thomas distro . Sheetfed offset press . - M .: Printmediatsentr , 2007. - 490 p.
2. Buchholz NV Basics of theoretical mechanics . V.2 . - M .: Higher School , 2002. - 450 p.
3. Kurmanaliev K. Sultangazieva AK Propagation of elastic waves in a long cylindrical systems // Proceedings of KSTU № 17. - B. , 2009. S.385-386 .

УДК 621.865.8-85

EXPERIMENTAL SURVEY ON COOLING WATER PUMPS USED IN ENGINES

M. K. Cerrahoglu, к.т.н., Sakarya üniversitesi Sakarya M. Y. Okulu, Турция, mkcerrah@sakarya.edu.tr,

Э. А. Хазар, к.ф.-м.н., доцент, КТУМ, Факультет естественных наук, г. Бишкек
e-mail: ealiyev@sakarya.edu.tr

The purpose of this article is to cooling water pumps used in the vehicle engines are open vane type pumps. One important difference of the open vane type pumps from the other pumps as its gp losses are high. Because; in these kinds of pumps, the gap flow that pass through the horizontal gap on the open side of the gear distorts the main flow and causes performance losses.

In this study; the performance characteristics and gap losses of the open-gear radial pumps, that are used to pump the cooling water in engines, have been analysed in an experimental way.

In order to define the behaviour of open gear under zero gap range; the closed manufactured model of the same gear has been tested. The findings indicate that as the gap range increases, gap losses increase as well. On the other hand; an optimum gap range has been observed as well.

Keywords: pumps, cooling water pumps, radial pumps, open gear

ИЗУЧЕНИЕ ИСПОЛЪЗУЕМЫХ В МОТОРАХ НАСОСОВ ХОЛОДНОЙ ВОДЫ НА ОПЫТАХ

M. K. Cerrahoglu, к.т.н., Sakarya üniversitesi Sakarya M. Y. Okulu, Турция, mkcerrah@sakarya.edu.tr,

Э. А. Хазар, к.ф.-м.н. доцент, КТУМ, Факультет естественных наук, Бишкек e-mail: ealiyev@sakarya.edu.tr

Насосы с открытой лопастью – это насосы охлаждающей воды, используемые в переносных моторах, охлаждающиеся холодной водой

Отличающая часть насосов с открытой лопастью от других насосов это высокое образование потерь отверстий. Потому что в насосах такого типа промежуточное течение, проходящее через поперечную полость в открытой части колеса, приводит к порче основного течения и является причиной потери эффективности.

В этом исследовании при помощи тестов были изучены потери отверстий и характеристики производительности радиальных насосов с открытой лопастью, используемых для качки охлаждаемой воды в переносных моторах.

Чтобы определить поведение открытого колеса при нулевом отверстии была изучена модель этого же колеса, произведенного без промежутков. На основе полученных данных было отмечено увеличение ширины

отверстия параллельно увеличению потери промежутков.

Ключевые слова: насосы, насосы с открытой лопастью, радиальных насосов, открытого колеса

Introduction

The operation point of an open vane type radial pump has a significant impact on the gap range that must be left between gear and body. (Figure 1)

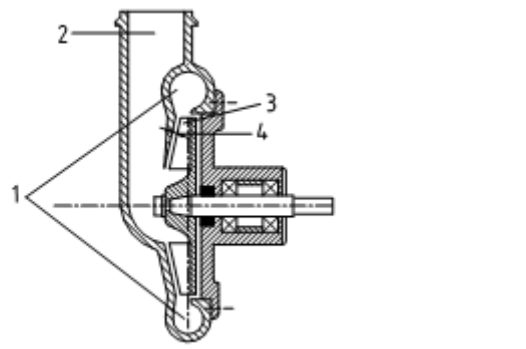


Figure 1. Experiment pump

1) Pump output ; 2) Spiral casing ; 3) Gear ; 4) Pump body

Also; as the gap range planned is not exactly the same at the end of manufacturing; it leads to different values than the planned under the working conditions.

Despite that there are several studies about the impacts of gap range and the issue has been searched for a long time; it has not possible to calculate these impacts theoretically yet. But; some important studies on the subject has drawn a roadmap for the designers[1.2.3].

1. Experiment Mechanism

An experiment mechanism has been designed and manufactured in order to the conduct experimental studies on the cooling water pump used in the engines of the vehicles. The schematic display of the experiment mechanism can be seen in Figure 2. The pump tested in the experiment has been driven by an electrical motor with the power of 0,55 kW. A frequency meter is connected to the electricity motor and the rotation speed of the pump is read from the digital display of the frequency meter. Pump shaft power has been obtained by measuring the moment of electricity motor shaft. In this measurement method; electricity motor is run on idle mode when there is no water in the pump; and in this way the power spent by the pump to rotate the shaft is identified, and then the pump is provided with water and it is run with water. The initial value is deducted from the latest obtained value and in this way pump output hydraulic power is calculated. The amount of the water pushed by the experiment pump is measured by means of rotameter assembled to the outlet line.

The pressure difference between the inlet and output flashes has been measured by using the pressure difference transmitter which is equipped with (0-4 bar) pressure measurement range and (24 V.) DC feeding voltage (4-20 mA) that gives analogue output signal.

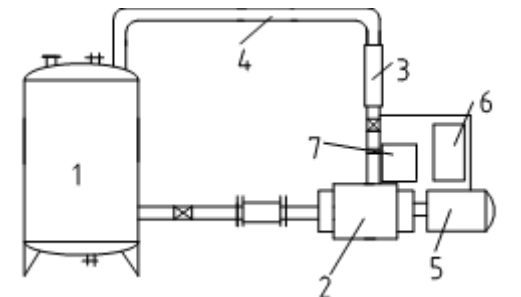


Figure 2. Schematic display of experiment mechanism

1) Experiment pump; 2) Electrical engine ; 3) Pump connection frame ; 4) Current rectifier 5) Flow meter, 6) Electricity plug; 7) Transformer distribution cables

2.Experiment Mechanism Pump

The experiment pump given in Figure 3 is composed of five different parts and twenty parts.

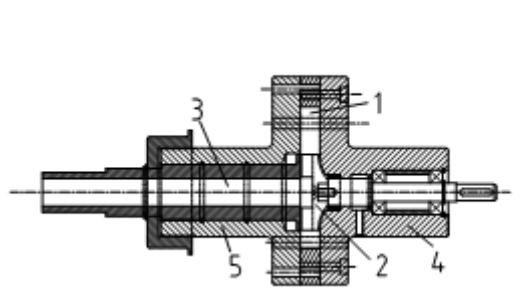


Figure 3. Cross section of test pump

1) Bedding system; 2) Transfer system; 3) Spiral casing ;4) Vane ; 5) Absorption pipe

Pump has been designed in a way to allow sensitive arrangement of the gap width and easy Exchange of different gears during the experiment.

Bedding part of the pump has been connected to the spiral casing with four nuts; and it is the part which helps bedding and arrangement of absorption pipe.. Transfer part is also connected to the spiral casing with four nuts. Transfer system embodies rotating gear and shaft. Shaft transfers the energy it receives from driving engine to the gear. This part is desggned in a way to ensure easy assembly and disassembly of the gears.

It is similar to spiral in shape. Spiral casing is manufactures in a way to minimiza hydraulic losses and optimize the efficiency of the pump. Spiral casing used in the experiment is produced from steel plate by metal cutting method as seen in Figure 4

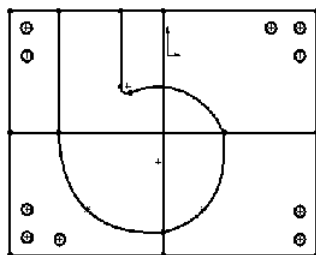


Figure 4. Appearance of the spiral casing from the front side

3.Tested Gears

The gears used in experiments are designed as: open plane vane, open plane conic vane and closed plane vane. The vanes of the designed gears are produced from aluminium. Aluminium is preferres as it is economic, and its casting and workmanship is easy. The diameters, number of vanes, vane thicknss and shaft sizes of the gears can be seen in Table 1.

Ge ar tyo e	Vane angle		Gear diameter			Vane thickness		Nu mbe r of vane s	$\frac{b_1}{b_2}$
	β_1	β_2	D_1	d_2	$\frac{d_1}{d_2}$	b_1	B_2		
AD	90	90	34.4	68.8	0.5	10.5	10.5	11	1
AK	90	90	34.4	68.8	0.5	10.5	6.9	11	0.60
KD	90	90	34.4	68.8	0.5	10.5	10.5	11	1

Table 1. Tested gears

Firstly; the models of the tested gears seen in Figure 5 have been prepared. Then they are poured into moulds and manufactured

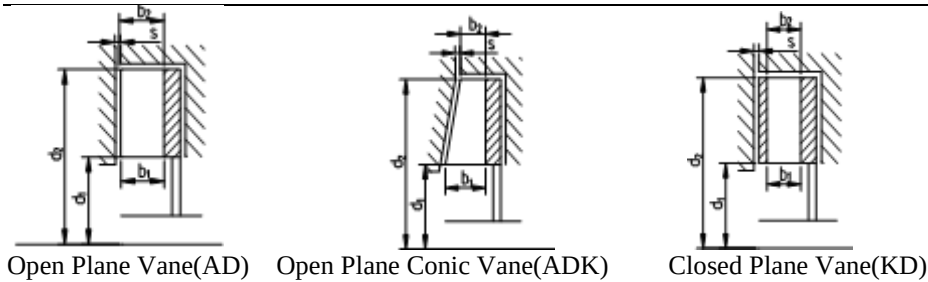


Figure 5. Cross section of the gears

4. Experimental Results

In the cooling water pump, which has been tested in the experiment mechanism, three different types of gears have been tried. During the experiment, test pump has been operated in 1500 d/d, 2000 d/d and 2500 d/d. Pump gap width for each rotation and gear has been arranged as follows: 0,5 mm, 1 mm, 1,5 mm, 2 mm.

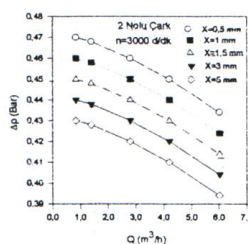
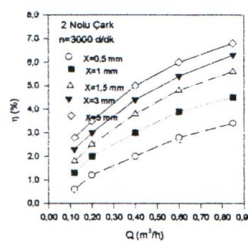
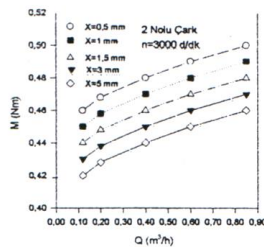
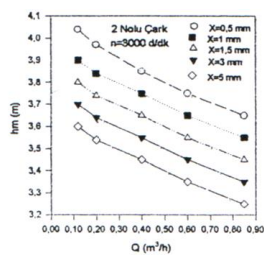
All of the gears have been operated under the rotation and gap widths stated above; and the pressure difference in pump inlet and output and shaft moment have been measured under different flow rates. Performance characteristics of the tested gears can be seen in Figure 6-7-8.

5. Conclusion

The values obtained in these studies by testing the designed cooling water pumps and gears have been compared with the desired values. The gap width in closed gear had no effect on the selected criteri.

As it is seen from the characteristic curves of the tested open conic plane vane gear; depending on the gap width and rotation speed, it has not been efficient enough.

The values obtained in open plane vaned pump fit the defined parameters. On the other side; it is indicated that over 3000/ minute rotation speeds; it can be more efficient.



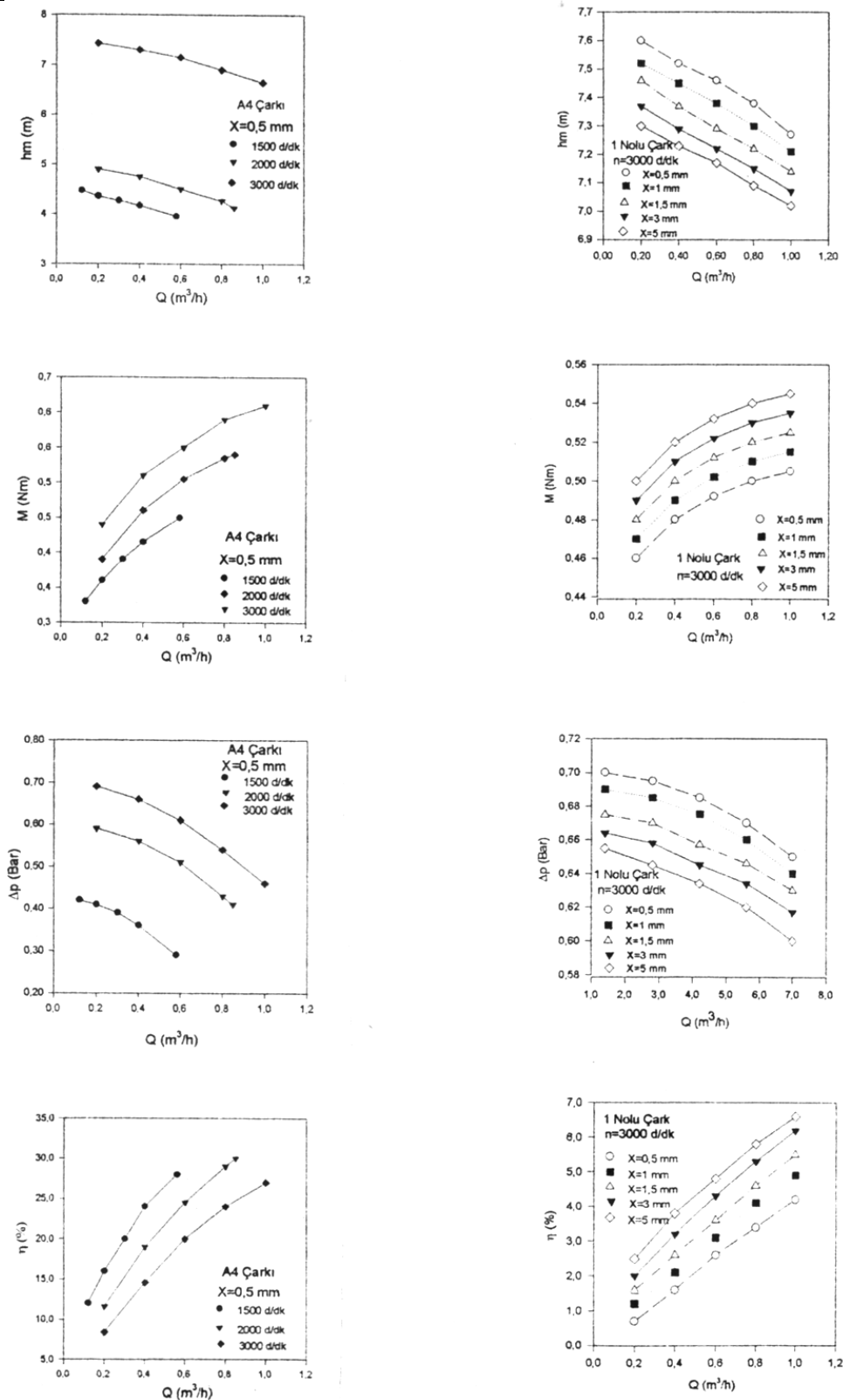


Figure.8 Characteristic curves of the open plane conic vane

SYMBOLS

AD	= Open plane vane
AK	= Open plane conic vane.
KD	= Closed plane vane.
b ₁	= Vane height / (mm).
b ₂	= Vane height / (mm).
d ₁	= Internal diameter of the gear / (mm).
d ₂	= Internal diameter of the gear / (mm).
X	= Gap width / (mm).
Z	= Number of vanes.
B1	= Vane inlet angle / (°).
B2	= Vane outlet angle / (°).
Q	= Flow rate / (m ³ / h).
Hm	= Pump head / (m).
n	= Efficiency / (%).
M	= Moment / (Nm).
▲p	= Pressure difference

References

1. Senoo Y, Ihsida, M, Deterioration of Compressor performance due to tip clearance of centrifugal impeller. Trans of the ASME, J of Turbo machinery vol 109, 1987.
2. Lauer J, 1 Tip clearance Sensitivity of centrifugal pumps with semi-open impellers. ASME Fluids Engng. Div. Summer Meeting FRDSM'97, 1997.
3. Yigit S. Theoric and experimental review on the gap losses of the open vane pumps used in the engines. Kocaeli University 1994.
4. Canbazoglu S. Polat M, Selection of optimum pump system and their adaptation to new working conditions. Erciyes University kayseri 1998.

УДК 669.35.074.669.539.5

УПРАВЛЕНИЕ ДЕФОРМАЦИЕЙ КАК ИНСТРУМЕНТ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЗАДАННЫХ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ КОМПРЕССОРНЫХ ЛОПАТОК ИЗ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ

Машеков С.А., д.т.н., проф. КазНТУ им. К.И. Сатпаева, Казахстан, г.Алматы, e-mail: mashekov.1957@mail.ru

Нуртазев А.Е., к.т.н., КазНТУ им. К.И. Сатпаева, Казахстан, г.Алматы

Нурахметова К. К., аспирант, КГТУ им. И.Раззакова, Кыргызстан, г.Бишкек, e-mail: nurahmetova52@mail.ru

В статье путем компьютерного моделирования технологического процесса протяжки в плоских бойках и на радиально-ковочной машине, осадки в выпуклых бойках, а также изотермической штамповки определены рациональные режимы деформирования заготовок, позволяющие получить компрессорные лопатки с мелкозернистой структурой.

Ключевые слова: протяжка, осадка, бойки, заготовка, поковка, штамповка, лопатка.

The article by computer simulation of the process in drawing flat die and radial forging machine, rainfall convex Boyko, as well as isothermal forging a rational modes of deformation of billets, you always get the compressor blades with fine-grained structure.

Keywords: rolling, sediment, strikers, billet, forging, stamping, paddle.

Введение

В компрессорах высокого давления одной из основных деталей являются компрессорные лопатки. Как правило, они изготавливаются из титановых сплавов.

В настоящее время на машиностроительных заводах применяются следующие способы штамповки компрессорных лопаток [1]:

- Штамповка в один переход или с предварительной осадкой.
- С предварительной высадкой заготовок на горизонтально-ковочных машинах (ГКМ).
- Штамповка с предварительной высадкой заготовок на электровысадочных машинах.
- Штамповка с предварительной вальцовкой заготовок.

- Изотермическая штамповка.

Рассмотрим более подробно каждый из вышеперечисленных видов.

Штамповка в один переход или с предварительной осадкой применяется в случае, когда размеры лопатки малы, а перепад площадей поперечных сечений велик, что затрудняет использование классических заготовительных переходов [2]. Данный способ обладает тем преимуществом, что штамповка, как правило, производится с одного нагрева, что позволяет уменьшить глубину альфированного слоя, но при этом повышается расход металла.

Штамповка с предварительной высадкой на ГKM в настоящее время является наиболее распространенным способом фасонирования заготовок и позволяет снизить расход металла по сравнению со штамповкой в один переход [3]. Стержень высаженной этим способом заготовки имеет постоянное поперечное сечение, площадь которого выбирается по площади максимального сечения пера заготовки лопатки из условия устойчивости заготовки при высадке хвостовой части. Также необходимо учитывать допустимую степень деформации металла, что приводит к увеличению диаметра стержневой части при значительном перепаде площадей поперечного сечения пера и замковой части лопатки. Учитывая, что ГKM, как правило, устанавливают отдельно от прессов, то возникает необходимость дополнительного нагрева заготовок перед окончательной штамповкой, что приводит к увеличению альфированного слоя.

Электровысадка заготовок позволяет избежать дополнительного нагрева в печи перед фасонированием заготовки, поскольку нагрев производится непосредственно на электровысадочной машине, кроме того, во время данного процесса нагревается только деформируемая часть заготовки [3]. Электровысадка обладает рядом преимуществ перед операцией высадки на ГKM:

- она не требует нагревательного оборудования (печи);
- поскольку время нагрева и высадки относительно невелико, то глубина альфированного слоя меньше;
- технологическая оснастка значительно проще и дешевле оснастки необходимой для операции высадки на ГKM.

При электровысадке на диаметр высаженной части, как и при высадке на ГKM, влияет допустимая степень деформации, что приводит к ограничению минимального диаметра стержневой части, а следовательно, к увеличению расхода металла.

Вальцовка позволяет получить заготовки с переменным сечением по длине заготовок, снизить расход металла и повысить трудоемкость, но данный процесс имеет и ряд недостатков [4]:

- как и штамповка на ГKM, требует предварительного нагрева;
- для удержания заготовки необходимо предусмотреть необжимаемый участок длиной 0,4-0,5 диаметра, что не всегда представляется возможным;
- в процессе вальцовки возникает неконтролируемое удлинение обжимаемых частей заготовки.

В процессе изотермической штамповки в заготовке, инструменте и окружающем их ограниченном пространстве создается и постоянно поддерживается температура, обеспечивающая оптимальную пластичность металла обрабатываемой заготовки [5]. Деформирование осуществляется при малых скоростях, поэтому разупрочняющие процессы успевают протекать в его ходе, что повышает технологическую пластичность металла и резко снижает сопротивление пластическому деформированию. Учитывая, что деформирование протекает в условиях статического нагружения, для изготовления штампов можно использовать высокожаропрочные и износостойкие материалы с низкой пластичностью. Применение изотермической штамповки позволяет получать точные поковки с высоким коэффициентом использования металла. При изотермической штамповке, как правило, в качестве смазки применяют стеклосмазки, что позволяет защитить поверхность поковки от окисления и газонасыщения. Но при всех вышеперечисленных плюсах изотермическая штамповка имеет существенный недостаток: высокая длительность процесса деформирования.

Необходимо отметить, что задача получения качественных поковок из титановых сплавов по вышеописанным технологиям осложняется из-за низкой теплопроводности титановых сплавов, узость температурного интервала их деформации и неравномерностью распределения напряженно-деформированного состояния (НДС) по сечению поковки, приводящих к риску несоответствия структуры и свойств получаемых деталей заданным требованиям.

Известно [6], что сочетание современных методов математического моделирования и традиционных металлографических методов как инструментов анализа и прогнозирования структуры и свойств готовых поковок позволяет существенно снизить расходы на освоение производства при одновременной гарантии их качества.

Цель работы: выявление путей улучшения качества компрессорных лопаток на базе математического моделирования технологического процесса штамповки. Основа метода заключается в количественное определение размеров зерен в зависимости от величины и распределения степени деформации сдвига в заготовке при совмещенном процессе ОМД.

Материалы и методика эксперимента

В работе предлагается новая технология изготовления поковок компрессорных лопаток включающая нагрев заготовки в интервале температур 800-630 °C, протяжку в плоских бойках и на радиально-ковочной машине (РKM), осадку в выпуклых бойках в интервале температур 800-750 °C и изотермическую штамповку при температуре 650°C.

Для расчета НДС использовали специализированную стандартную программу MSC.Super Forge [7]. Трехмерная геометрическая модель заготовки и инструментов была построена в CAD программе Inventor и импортирована в CAE программу MSC.SuperForge.

Для исследования совмещенного процесса изготовления компрессорных лопаток, как протяжка в плоских бойках и на РКМ, осадка в выпуклом инструменте, использовали заготовку размером $\varnothing 80 \times 400$ мм. совмещенный процесс моделировали в трехмерной среде с разбиением заготовки на 4-х узловых элементы (СТЕТРА). Для модели заготовки потребовалось 2219 элементов и 2962 узла. Материал заготовки титановый сплав BT6 с температурным диапазоном деформирования $630 \dots 1200^\circ\text{C}$. Из базы данных программного комплекса «MSC.SuperForge» задавали реологические свойства. При этом материал заготовки принимали изотропным упругопластическим с нелинейным упрочнением (BISO). На поверхности инструмента с заготовкой коэффициент трения принимали равным 0,3. Инструменты рассматривали как абсолютно твердые тела.

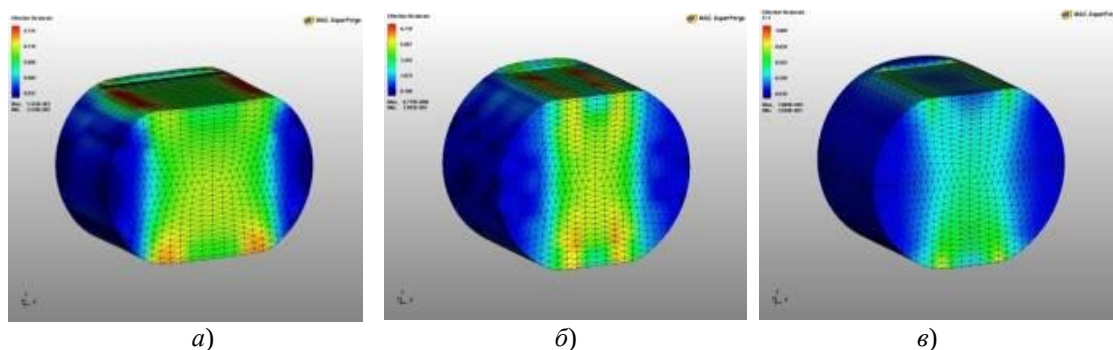
Запускали программу «MSC.SuperForge». Шаговым методом рассчитывали перемещения U , компоненты тензора деформации ϵ , компоненты тензора скорости деформации ξ , компоненты тензора напряжения σ , интенсивность деформаций G , интенсивность напряжений σ_i , распределение температур по объему заготовки.

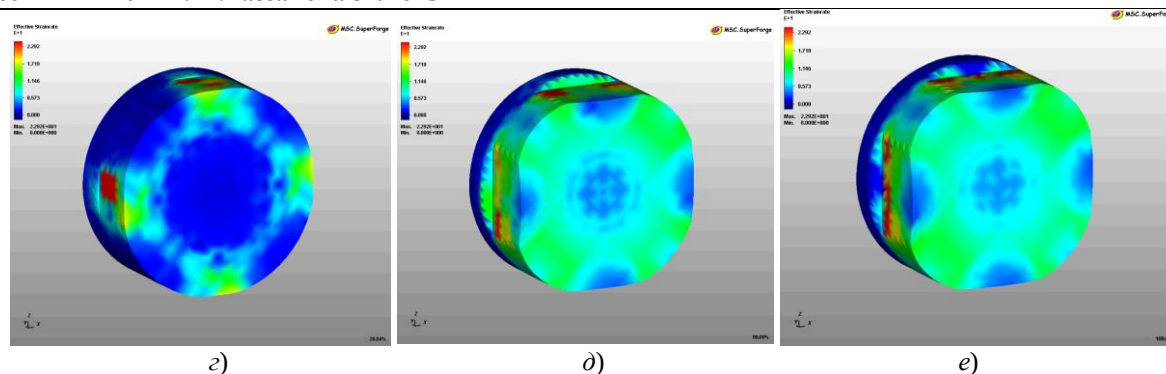
Результаты и обсуждение

На рис. 1 и 2 представлены картины распределения интенсивности деформаций по сечению заготовки при протяжке в плоских бойках при первом обжатии и при деформировании с углами кантовки 30° , 60° , 90° , 120° , 150° , 180° .

На основе полученных результатов численного моделирования установлено, что:

- при протяжке круглой заготовки в плоских бойках с относительными подачами $S = l/D = 0,6 \dots 1,0$ (где l – длина очага деформации; D – диаметр заготовки) интенсивность деформации локализуется на начальном этапе первого обжатия в поверхностных зонах заготовки, а с увеличением обжатия локализуется по ковочному кресту (рис.1,а,б,в);
- при протяжке в плоских бойках с увеличением обжатия акцент деформации переносится в центр заготовки ($S = 1,0$), или максимальная по величине деформация сосредотачивается в средней зоне ($S = 0,8$) или близкой к поверхностной зоне ($S = 0,6$) заготовки;
- при протяжке в первом проходе с относительной подачей 1,0 и единичными обжатиями 20 %, из-за действия контактных сил трения часть объема геометрического очага деформации оказывается в зонах затрудненной деформации. При протяжке с относительной подачей 0,6...0,8 и единичным обжатием 20 %, небольшая часть объема геометрического очага деформации также оказывается в зонах затрудненной деформации;
- локализация деформации в зоне ковочного креста и в местах перехода от деформируемой к недеформируемой части заготовки приводит к повышению тепловыделения и опасности разрушения металла в этих зонах, с одной стороны, и к недостаточной деформации структуры в остальном объеме заготовки и к разнотекучности структуры по сечению, с другой стороны;
- кантовка заготовки на 30° , 60° , 90° , 120° , 150° , 180° и деформирование с обжатиями 10, 15 % независимо от величины относительной подачи приводит к локализации деформации на поверхности заготовки, а увеличение обжатия до 20 % позволяет сосредоточить деформации от поверхности до центра, при этом с увеличением обжатия происходит разворот участков с максимальными деформациями по сечению заготовки;





$a - S = 1,0$; $b - S = 0,8$; $c - S = 0,6$; $z - \varepsilon = 5\%$; $d - 10\%$; $e - 15\%$.

Рис. 1. Картина распределения интенсивности деформации в заготовке при протяжке в плоских бойках с единичным обжатием 20% (а,б,в) и на РКМ с единичными обжатиями 5% (з), 10% (д) и 15% (е) $t = 800^\circ\text{C}$

- при ковке круглой заготовки в плоских бойках с кантовкой 30° , 60° , 90° , 120° , 150° и 180° из-за разворота зон с максимальными деформациями по сечению заготовки интенсивно развиваются макросдвиговые деформации по очагу деформации, что будет приводить к интенсивному измельчению в структуре металла (рис.2);

- в процессе протяжки в плоских бойках в зонах локализации деформации повышается температура заготовок.

Путем суммирования интенсивности деформации произвели расчет степени деформации сдвига Λ (накопленной деформации) для ряда технологических режимовковки в плоских бойках.

Анализ эпюр изменения Λ по сечению заготовки при протяжке с кантовкой 30° , 60° , 90° , 120° , 150° и 180° и относительной подачей $S = l/D = 0,8 \dots 1,0$ показывает, что при рациональном режиме деформирования степень деформации сдвига имеет наибольшее значение в прилегающих к инструменту зонах заготовки, а также в центральных слоях заготовки. При этом в поверхностных участках имеются наименьшие значения (рис. 3, φ_i – угол поворота до исследуемой точки по поперечному сечению заготовки; $\varphi_0 = 360^\circ$ – угол полной окружности заготовки).

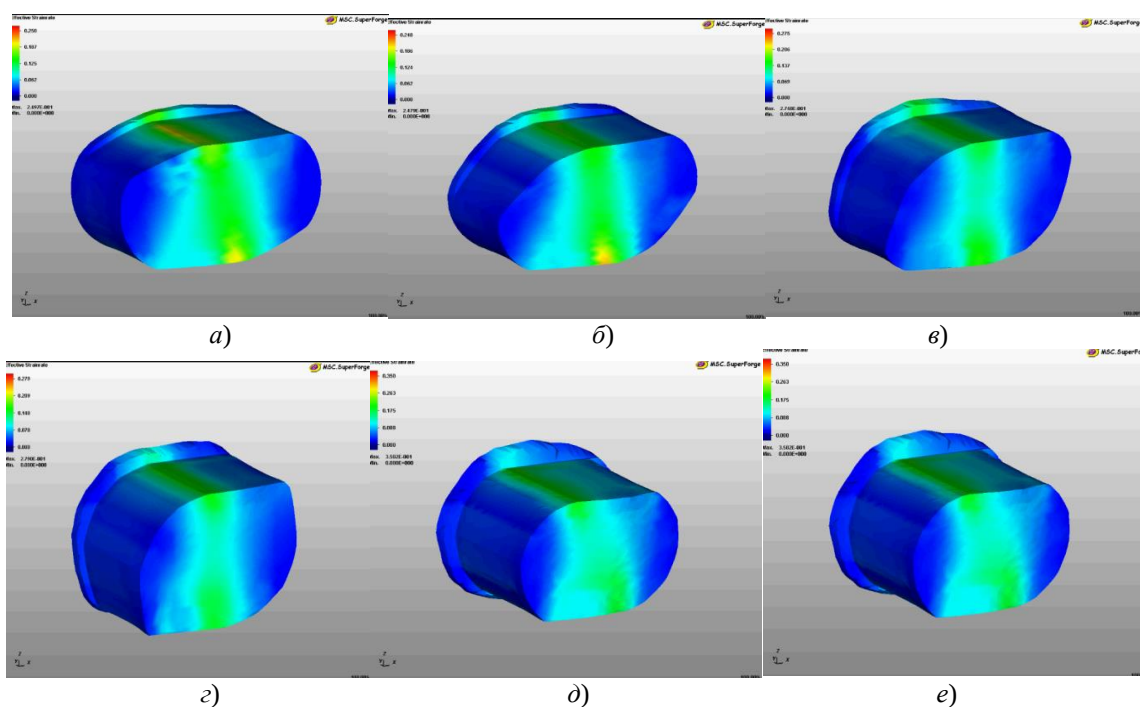


Рис. 2. Картина распределения интенсивности деформаций в заготовке при протяжке в плоских бойках с единичным обжатием 20% и с кантовкой 30° (а) и 60° (б), 90° (в) и 120° (з), 150° (д) и 180° (е)

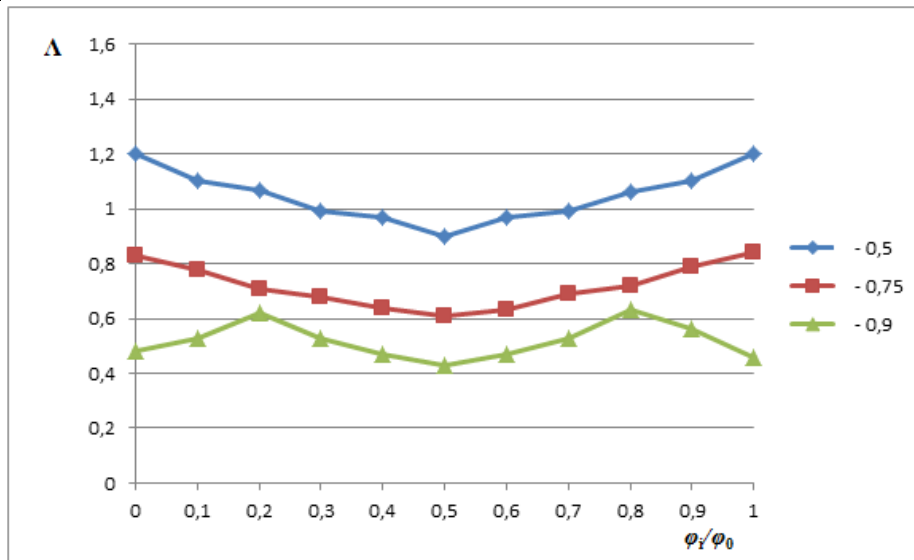


Рис. 3. Распределение Δ по продольному сечению заготовки при протяжке в плоских бойках с относительной подачей 1,0 ($\diamond$ - $\phi_i/\phi_0 = 0,5$; $\square$ - $\phi_i/\phi_0 = 0,75$; Δ - $\phi_i/\phi_0 = 0,9$)

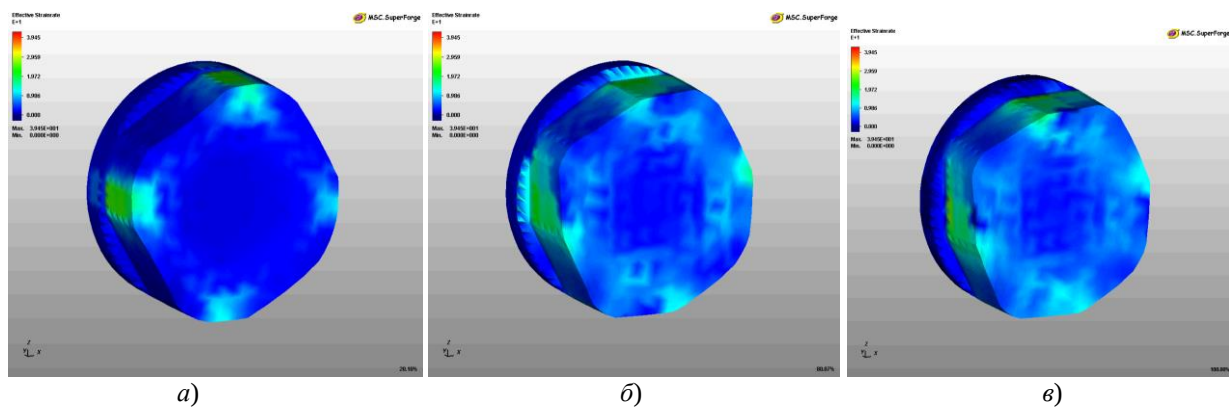
На рисунках 1 и 4 представлены картины распределения НДС по сечению заготовки при протяжке на РКМ с единичными обжатиями 5, 10 и 15 процентов и кантовками 30 и 60°.

На основе полученных результатов численного моделирования установлено, что

- при протяжке круглой заготовки на РКМ интенсивность напряжения и деформации локализуется на начальном этапе первого обжатия в поверхностных зонах заготовки, а с увеличением обжатия из-за возникновения силы трения акцент интенсивности напряжения переносится от поверхности к средней части радиуса заготовки (рис. 1, z, d, e);

- при первом обжатии прилегающих к инструменту зон поковки и ниже зоны соприкосновения плоского инструмента с заготовкой, интенсивность напряжения и деформации по величине является максимальной (рис. 1, z, d, e);

- деформирование с кантовкой на 30 и 60° позволяет сосредоточить интенсивность напряжений и деформации в зоне контакта металла с инструментом на начальном этапе обжатия, а при увеличении обжатия зоны с максимальной величиной интенсивности напряжения и деформации переносятся ближе к центру заготовки, при этом от поверхности до середины радиуса интенсивность деформации распределяется равномерно (рис. 4);



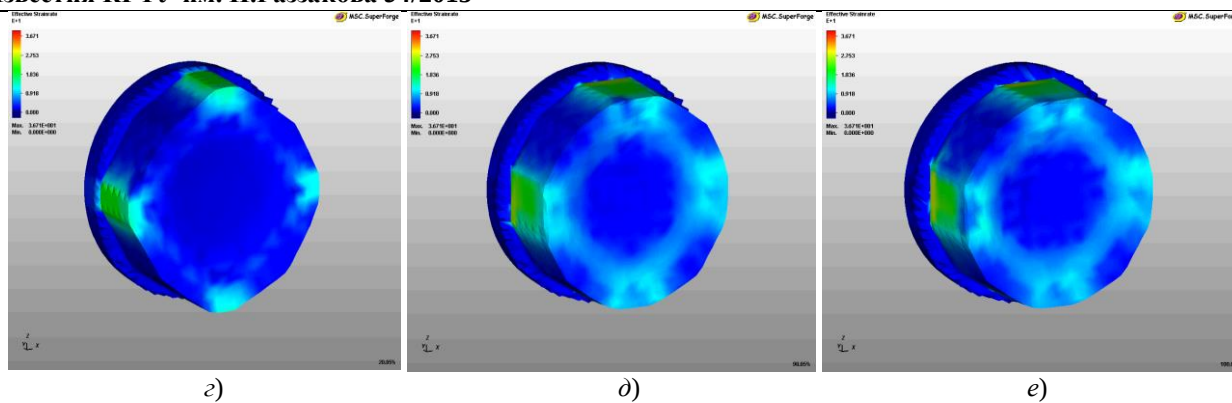


Рис. 4. Картина распределения интенсивности деформаций в заготовке при протяжке на РКМ с единичным обжатием 5% (а,з), 10 % (б,д), 15% (в,е) и кантовкой 30° (а,б,в) и 60° (з,д,е)

- в процессе протяжки на РКМ в зонах локализации напряжения и деформации температура повышается, а в центральной зоне заготовки понижается.

Анализ эпюр изменения Λ по сечению заготовки показывает, что при протяжке на РКМ с углом кантовки 30°, 60° степень деформации сдвига имеет большое значение на участках, прилегающих к поверхности заготовки, в то время как в центральной зоне заготовки – минимальную величину (рис. 5).

Таким образом, при ковке на РКМ интенсивность напряжения и деформации, а также степень деформации сдвига сосредотачиваются в поверхностных и средних зонах заготовки. Поэтому для получения поковки с равномерной структурой необходимо использовать совмещенный способ ковки РКМ с ковкой в плоских бойках, что позволяет совместно равномерно измельчить структуру исходной заготовки.

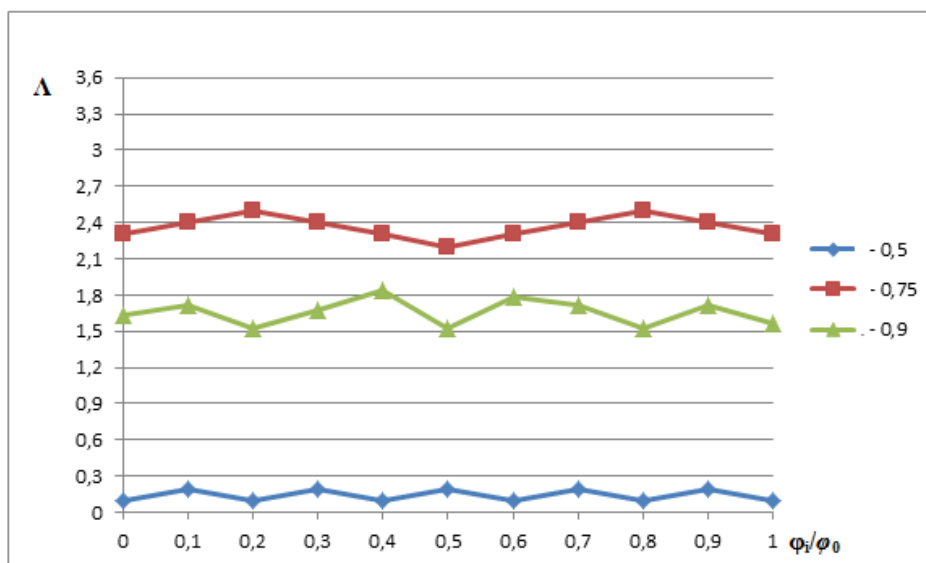


Рис. 5. Распределение Λ по продольному сечению заготовки при протяжке в плоских бойках с относительной подачей 1,0 ($\diamond$ - $\phi_i/\phi_0 = 0,5$; $\square$ - $\phi_i/\phi_0 = 0,75$; Δ - $\phi_i/\phi_0 = 0,9$)

Необходимо отметить, что при протяжке в плоских бойках и на РКМ с уменьшением угла кантовки и единичного обжатия до 5...10 % величина Λ по всему сечению заготовки возрастает, что связано с увеличением количества обжатий. Это увеличение снижает производительность процесса ковки, поэтому для протяжки за один вынос (за один нагрев) с малыми углами кантовки и обжатиями необходим небольшой общий уков (1,25...1,6). При протяжке с большим общим уковом величину Λ невозможно увеличивать за счет уменьшения угла кантовки и единичного обжатия, так как при этом резко увеличивается количество ходов пресса или РКМ, что снижает производительность процесса ковки.

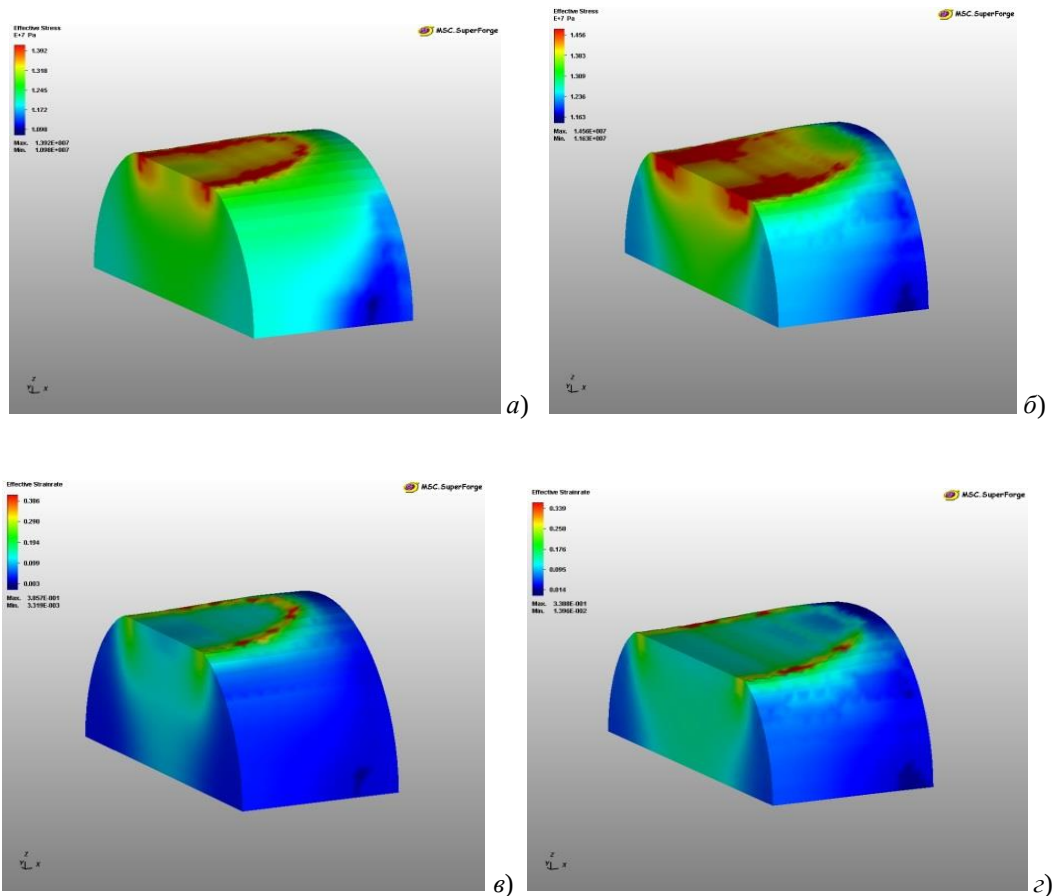
На рис. 6 представлены картины распределения интенсивности напряжений и деформаций в заготовке при выполнении операции осадки в выпуклых бойках.

На основе полученных результатов численного моделирования установлено, что:

- 1) В начальный момент осадки в выпуклых бойках интенсивность напряжения и деформации локализуется в контактных зонах заготовки с инструментом (рис. 6,а,в);
- 2) Увеличение единичного обжатия приводит к еще большему сосредоточению интенсивности напряжений и деформаций в контактной зоне заготовки, при этом Γ , σ_i увеличиваются в центре и периферийной

зоне заготовки (рисунки 4,б, в, г и 5,б, в, г);

- 3) В процессе осадки в выпуклых бойках в зонах локализации деформации повышается температура;
- 4) Характер скорости течения металла аналогичен развитию интенсивности деформации во времени.



$$a, в - \varepsilon = 5\%; \quad б, г - \varepsilon = 15\%$$

Рис. 6. Картина распределения интенсивности напряжения (а,б,в) и деформации (г,д,е) в заготовке при осадке в выпуклом инструменте

Анализ эпюр изменения Λ по сечению заготовки при осадке в выпуклых бойках показывает, что степень деформации сдвига имеет большое значение в поверхностных зонах заготовки, а также прилегающих к вертикальной оси участках заготовки (рис. 7 и 8).

Для исследования эволюции микроструктуры использовали модель глобуляризации титанового сплава ВТ6 по Джонсону-Мейлу-Аврами-Колмогорову, полученную в работе [8]. По данной модели произвели расчет объемной доли и среднего размера глобулярных зерен титанового сплава ВТ6.

Критическую деформацию, необходимую для формирования глобулярных зерен определяли по формуле:

$$\varepsilon_c = a_1 \varepsilon_p,$$

где $a_1 = 1$ – постоянный коэффициент [8];

$\varepsilon_p = 0,5$ – интенсивность деформации, при которой начинается формирование глобулярных зерен.

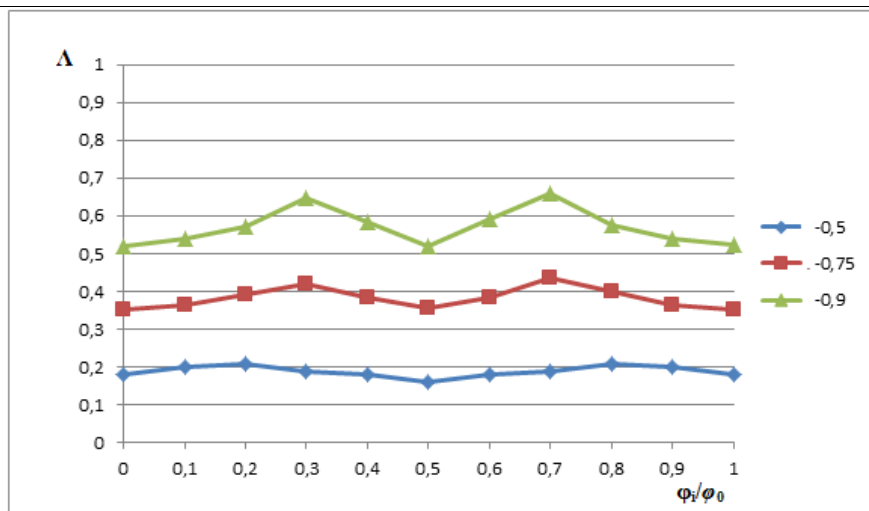


Рис. 7. Распределение Λ по поперечному сечению заготовки при осадке в выпуклых бойках ($L_i/L_0 = 0,5$, где L_i – расстояние до исследуемой точки по длине заготовки; L_0 – длина заготовки)

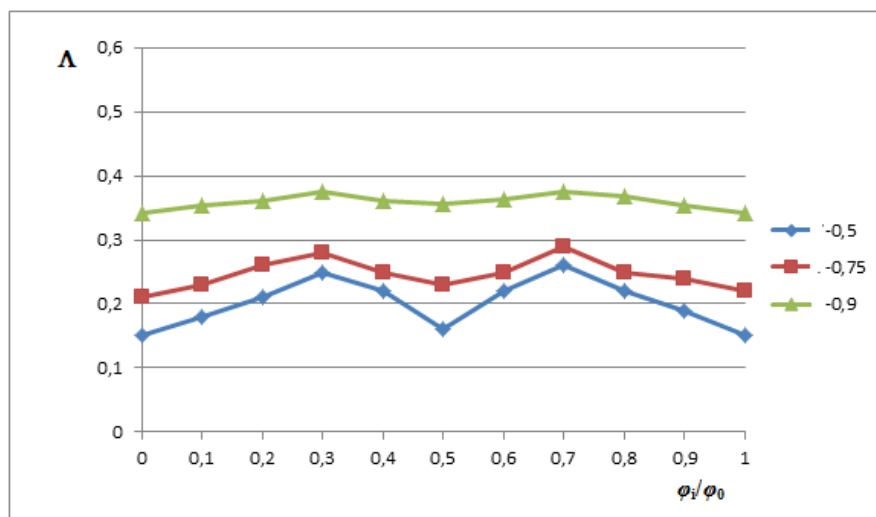


Рис. 8. Распределение Λ по поперечному сечению заготовки при осадке в выпуклых бойках ($L_i/L_0 = 0,8$, где L_i – расстояние до исследуемой точки по длине заготовки; L_0 – длина заготовки)

Объемная доля глобулярных зерен α -фазы вычисляли с использованием уравнение Аврами [8]:

$$X_{rex} = 1 - \exp \left[-\beta_d \left(\frac{\Lambda}{\Lambda_{0,5}} \right)^k \right],$$

где β_d и k – константы материалов (значения констант материалов приведены в работе [8]);

$\Lambda_{0,5} = a_2 \dot{\epsilon}^{m_1}$ – степень деформации, при которой в структуре металла проходит 50% рекристаллизации;

a_2 и m_1 – эмперические параметры, позволяющие определить влияние скорости деформации на формирование глобулярных зерен [8];

$\dot{\epsilon}$ – скорость деформации, с^{-1} .

Для вычисления среднего размера глобулярного зерна использовали формулу [8]:

$$d_{cp} = a_3 \Lambda^{n_1} \dot{\epsilon}^{m_2},$$

где a_3 , n_1 , m_2 – эмпирические параметры, учитывающие влияние скорости и степени деформации [8].

Изменение доли глобулярных зерен в структуре по переходам обработки металлов давлением (ОМД) представлено на рис. 9. Из рисунка видно, что после протяжки в плоских бойках доля глобулярных зерен по сечению заготовки составляет 0,312...0,832. При этом из-за большой величины степени деформации сдвига в центральных и прилегающих к ним зонах заготовки почти полностью проходит глобуляризация зерен. Однако из-за малой величины степени деформации сдвига в поверхностных зонах заготовки не полностью проходит глобуляризация зерен.

После протяжки на РКМ и осадки в выпуклых бойках доля глобулярных зерен по сечению заготовки составляет 0,922...0,992, т.е. из-за равномерного распределения степени деформации сдвига и умеренной скорости деформации по сечению заготовки почти полностью проходит глобуляризация зерен.

В процессе окончательной изотермической штамповки зоны затрудненной деформации получают достаточную деформацию для того, чтобы структура полностью превратилась из ламеллярной в глобулярную.

Изменение среднего размера глобулярного зерна по переходам представлено на рис. 10. Наиболее интенсивное уменьшение среднего размера глобулярного зерна происходит в процессе протяжки в плоских бойках (до 3,93...9,427 мкм) и РКМ (до 2,825...4,31 мкм) и при осадке в выпуклых бойках на гидравлическом прессе (до 1,615...1,923 мкм). После изотермической штамповки на кривошипном-горячештамповочном прессе образуется мелкозернистая однородная структура со средним размером глобулярного зерна 0,523...0,732 мкм.

Таким образом, в процессе штамповки по предлагаемому технологическому процессу глобуляризация зерен проходит практически во всем объеме поковки. При этом после изотермической штамповки на КГШП получается мелкозернистая однородная микроструктура, которая способствует повышению пластичности, ударной вязкости, прочности.

Необходимо отметить, что предварительное фасонирование исходной листовой заготовки в выпуклых бойках позволяет действенным методом регулировать интенсивность деформаций в процессе изотермической штамповки. Применение конусообразной заготовки позволяет не только качественно перераспределить материал заготовки перед штамповкой, но и взаимоуравновесить сдвиговые усилия в штампе, тем самым избавиться от специальных тормозящих облойных канавок и увеличить ресурс штампа [9].

Отсюда следует, что для получения компрессорных лопаток ответственного назначения из сплава ВТ6 можно рекомендовать их штамповку из предварительно фасонированной исходной кованной заготовки. Предварительное фасонирование в виде осадки исходной кованной заготовки в выпуклых бойках позволяет перераспределить материал исходной заготовки. Это, с одной стороны, минимизирует величину сдвиговых деформаций, вызывающих деформационный перегрев и недопустимое огрубление структуры металла, а с другой – уменьшает риск образования заковов и застойных зон, характерных для предварительной штамповки.

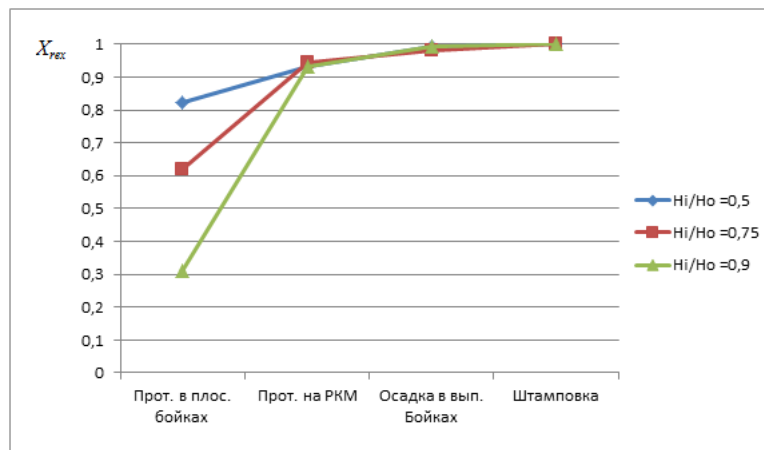


Рис. 9. График изменения объемной доли глобулярной структуры при изготовлении лопаток совмещенным процессом ОМД

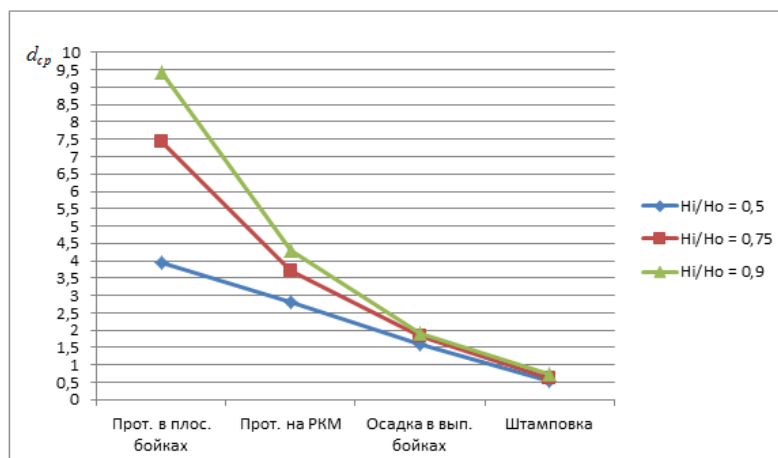


Рис. 10. График изменения среднего размера глобулярного зерна при изготовлении лопаток совмещенным процессом ОМД

Выводы

1. Установлено, что сравнительно равномерное распределение Λ по сечению деформируемой заготовки можно достичь протяжкой в плоских бойках на первом этапе, и ковкой на РКМ - на втором, осадкой в выпуклых бойках на третьем и изотермической штамповкой на заключительном этапе.
2. Протяжка в плоских бойках и на РКМ, осадка в выпуклых бойках на гидравлическом прессе и изотермическая штамповка на КГШП дают мелкозернистую однородную микроструктуру, с объемной долей глобулярной структуры, равной 1,0, что обеспечивает высокие механические свойства.
3. Методом конечных элементов и программой MSC.SuperForge получены количественные данные и установлены основные закономерности распределения НДС, температуры при моделировании протяжки в плоских бойках и на РКМ, а также осадки в выпуклых бойках.
4. Показано, что при протяжке в плоских бойках с кантовкой 30° , 60° , 90° , 120° , 150° и 180° и относительной подачей $S = l/D = 0,8...1,0$ степень деформации сдвига имеет наибольшее значение в центральных слоях заготовки, а при протяжке на РКМ с углом кантовки 30° , 60° – в поверхностных зонах заготовки.

Список литературы

1. Князев Я.О. Инновационная технология штамповки компрессорных лопаток небольшой длины / Осадчий В.Я., Леняшин В.Б., Князев Я.О. // Заготовительное производство – 2013 – №3 с. 22-25.
2. Влияние параметров горячего выдавливания заготовок рабочих лопаток компрессора на качество их изготовления /Ю.С. Кресанов, А.Я. Качан В.В. Чигиринский и др. – Вісник двигунобудування, Запоріжжя: БАТ «Мотор Січ», 2009, №2 –с.108115.
3. Князев Я. О. Разработка технологии штамповки поковок компрессорных лопаток авиационных газотурбинных двигателей из титанового сплава: диссертация кандидата технических наук по специальности 05.02.09 – Технологии и машины обработки, - Орел, 2014.- 122 с.
4. Буздаев Ф. В. Вальцевание лопаток компрессора ГТД из титановых сплавов с электроконтактным нагревом: диссертация кандидата технических наук по специальности , 05.07.05 – Тепловые двигатели летательных аппаратов, - Казань, 1998. – 115 с.
5. Шитарев И.Л., Хаймович А.И. Методы повышения ресурса компрессорных лопаток из $\alpha + \beta$ титановых сплавов при их высокоскоростной штамповке (ВШП) с нагревом заготовок выше точки полиморфных превращений //Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета им. акад. С.П. Королева. -Самара, 2012. - №3 (34), часть 4.- С. 34 - 40.
6. Шитарев И.Л., Хаймович А.И. Моделирование микроструктуры при высокоскоростной штамповке лопаток из титанового сплава BT9 // Заготовительные производства в машиностроении. – М.: Машиностроение, 2011, №11. - С.41-44.
7. Машеков С.А., Биякаева Н.Т., Нуртазаев А.Е. Технологияковки в инструменте с изменяющейся формой. - Павлодар: Издательство «Кереку», 2008. 634 с.
8. Lopatin N. V., Maradudina O. N., and. Dyakonov G. S. "Analysis of the Structure Formation and Properties of the VT6 Alloy during Upsetting of the Symmetrically Truncated Conical Billets", Russian Journal of Non Ferrous Metals, 2011, Vol. 52, No. 1, 33–38.
9. Охрименко Я. М. Технология кузнечно-штамповочного производства. - М.: Машиностроение, 1976. 560 с.

References

1. Knyazev Ya.O. Innovative stamping compressor blades small length / Osadchiy VJ , Lenyashin VB, Knyazev Ya.O. // Blank production - 2013 - №3 with . 22-25 .
2. Influence of parameters of hot extrusion billet compressor rotor blades of the quality of their manufacturing /YU.S . Kresanov , AJ Kachan Vladimir Chigirinsky and others . - News dvigunobuduvannya , Zaporizhzhya : BAT "Motor Sich " , 2009 , №2 -s.108115 .
3. A. Knyazev Ya Technology Development stamping forgings compressor blades of aircraft turbine engines of a titanium alloy : the dissertation of the candidate of technical sciences , specialty 05.02.09 - Technology and equipment for processing - Eagle , 2014.- 122 p.
4. Buzdaev FV Rolling GTE compressor blades of titanium alloy with electro-contact heat : the dissertation of the candidate of technical sciences on specialty 05.07.05 - Thermal Aircraft Engines - Kazan, 1998. - 115 p.
5. Shitarev IL, Haimovich AI Methods of increasing the resource of compressor blades of $\alpha + \beta$ titanium alloys at high speed stamping (VCCP) with heating billets above the polymorphic transformations // Vestnik of Samara State Aerospace University. Acad. JV . Queen . -Samara , 2012. - №3 (34) , part 4.- pp 34 - 40 .
6. Shitarev IL, Haimovich AI Modelling of microstructure during high-speed punching blades of titanium alloy VT9 // Blank production in mechanical engineering . - М .: Mechanical Engineering , 2011 , №11. - S.41-44 .
7. Masek SA, Biyakaeva NT, Nurtazaev AE Technology forging tool with the changing shape . - Pavlodar : Publishing " Kerekou " , 2008. 634 pp.
8. Lopatin N. V., Maradudina O. N., and. Dyakonov GS "Analysis of the Structure Formation and Properties of the VT6 Alloy during Upsetting of the Symmetrically Truncated Conical Billets", Russian Journal of Non Ferrous

Metals, 2011 , Vol. 52 , No. 1 , 33-38 .

9. Ohpimenko YM forging and stamping technology ppoizvodstva . - М .: mashinostpoeniya , 1976. 560 pp.

УДК.: 621.951.45

АНАЛИЗ ЗАВИСИМОСТИ СТОЙКОСТИ БЫСТРОРЕЖУЩИХ СПИРАЛЬНЫХ СВЕРЛ ОТ КАЧЕСТВА ЗАТОЧКИ

А. А. Айнабекова, аспирант, **Н. А. Рагрин**, канд. техн. наук,

В. А. Самсонов, канд. техн. наук, Кыргызский ГТУ им. И. Раззакова, E-mail: aa_ainura@mail.ru

Представлены виды погрешностей заточки сверл, причины их вызывающие и пути устранения, определены закономерности влияния погрешностей заточки на стойкость сверл в зависимости от параметров режима резания и других условий обработки сверлением.

Ключевые слова: сверло, биение, стойкость, режущая кромка, уголки, подача.

ANALYSIS OF THE DEPENDENCE OF THE HIGH SPEED SPIRAL DRILLS RESISTANCE ON THE QUALITY OF SHARPENING

Presented types of inaccuracy of the drills sharpening, the reasons causing them and ways of eliminating, identified the patterns of influence of the inaccuracy of the drills sharpening on resistance of drills, depending on the parameters of cutting mode and other conditions of drilling.

Keywords: drill, beating, resistance, cutting edge, angle, feeding.

Известно, что более 60 % деталей машин и механизмов имеют отверстия различных видов, точности, шероховатости и т.п. В технологическом процессе изготовления отверстий резанием первым видом обработки всегда является сверление, за которым при необходимости следуют другие виды обработки (зенкерование, развертывание, растачивание и т.д.) [1]. Сверление - единственный способ получения отверстий резанием, поэтому сверла являются одним из наиболее часто применяемых режущих инструментов. На промышленных предприятиях спиральные сверла составляют от 11,3 до 22,8 % от общего количества используемого инструмента. В общем объеме производства режущего инструмента наибольший удельный вес занимают спиральные сверла (около 30 %). Поэтому исследования в области повышения эксплуатационных свойств спиральных сверл достаточно актуальны.

Результаты исследований, представленные в работе [2], показывают, что применение на автоматических линиях спиральных сверл с высокой симметричностью режущих кромок позволило повысить отношение между минимальной и максимальной стойкостями в 1,2 – 2 раза.

На основании вышеизложенного целью настоящих исследований является определение закономерностей влияния качества заточки спиральных сверл на их стойкость.

Анализируем состояние проблемы связанное с качеством заточки спиральных сверл. Она выражается в несимметричности режущих кромок относительно рабочей оси сверла, которая регламентируется допуском осевого биения режущих кромок (ГОСТ 2034-80). Например, согласно табл. 6 ГОСТ 2034-80 допуск осевого биения для сверл диаметром 10 мм и выше для классов точности А 1, А, В 1, В составляет 0,06, 0,2, 0,23 и 0,3 мм соответственно. Рекомендуемые подачи для сверл диаметром от 10 до 20 мм - 0,22...0,3 мм/об [3], т.е. допуск осевого биения лежит в пределах рекомендуемых подач, кроме сверл класса точности А 1. Это значит, что какая-то часть сверл практически работает одним лезвием с большей нагрузкой и быстрее изнашивается, что снижает их стойкость. В связи с этим и для выполнения цели исследований необходимо решить следующие задачи:

1. Определить виды погрешностей заточки сверл и причины, их вызывающие.
2. Определить закономерности влияния погрешностей заточки на стойкость сверл в зависимости от параметров режима резания и других условий обработки сверлением.
3. Определить пути повышения стойкости, связанные с качеством заточки.

Методы и средства исследований

Испытания спиральных сверл, результаты которых представлены в работе [2], осуществлялись на автоматических линиях и агрегатных станках в условиях автоматизированного массового производства, где используются стандартные сверла в большом количестве. В условиях автоматизированного массового производства поломка сверла приводит к остановке производственного процесса и, как правило, к браку обрабатываемой заготовки. Поэтому проведение исследований в этих условиях является наиболее целесообразным. При проведении настоящих исследований испытывались спиральные сверла по ГОСТ 10903-

77 из стали Р6М5, при обработке сквозных отверстий в заготовках из углеродистых конструкционных сталей марок 30, 35, 45. Испытывались партии сверл по ГОСТ 10903-77 в количестве 25 шт. одного диаметра в каждой партии. Сверла перед испытаниями контролировались на соответствие требованиям ГОСТ 10903-77, ГОСТ 4010-77, ГОСТ 2034-80. Контроль осуществлялся соответствующими методами контроля. В процессе испытаний периодически контролировался износ рабочих элементов сверл.

Статистический анализ 135 операций сверления на предприятиях автоматизированного массового производства [4] позволил установить, что при обработке углеродистых конструкционных сталей быстрорежущими спиральными сверлами диаметрами от 6 до 45 мм наиболее часто используется скоростной диапазон от 9 до 16 м/мин, при средней скорости резания, равной 15 м/мин. Поэтому, как видно в табл. 1, производственные испытания различных диаметров сверл проводились с практически одинаковыми скоростями резания. Другие условия обработки, такие как диаметр сверл, подача, твердость заготовок, глубина резания варьировались.

Таблица 1

Условия производственных испытаний

Диаметр сверла d , мм	9,8	10,5	11,5	12,0	13,8	17,5	21,0	35,0
Скорость резания V , м/мин	13,8	12,6	12,6	12,0	12,6	13,8	13,2	11,4
Подача S , мм/об.	0,22	0,14	0,18	0,14	0,22	0,2	0,23	0,23
Твердость заготовок НВ	200	300	200	180	200	190	300	300
Глубина сверления, мм	25,2	28,5	13,0	14,0	11,0	24,0	17,0	36,0

Результаты исследований

Анализ качества заточки

Погрешности заточки подробно рассмотрены в работе [5].

Возможные погрешности заточки сверл приведены на рис. 1-3 пунктирными линиями.

Погрешностью заточки, представленной на рис. 1, является то, что одно лезвие стачивается больше другого в результате погрешности закрепления сверла, когда ось сверла 1 не совпадает с осью заточки 2, шлифовальный круг подается на разную глубину, поперечная кромка 3 смещается с оси сверла.

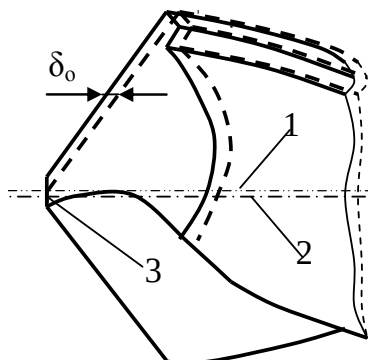


Рис. 1 - Смещение поперечной кромки

Погрешностью заточки, представленной на рис. 2, является неравенство углов в плане φ_1 и φ_2 , в результате того, что после заточки первого лезвия сверло не было повернуто на 180° , либо после поворота положение оси сверла не совпало с первоначальным.

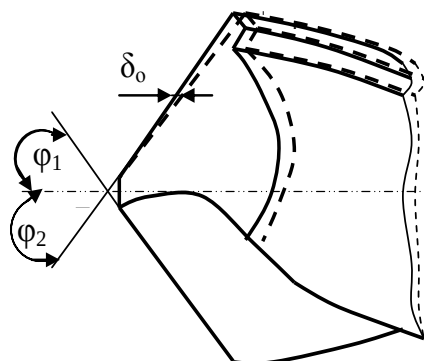


Рис. 2. - Неравенство углов в плане φ

Погрешность заточки, представленная на рис. 3, является обобщающей комбинацией погрешностей, представленных на рис. 1 и рис. 2.

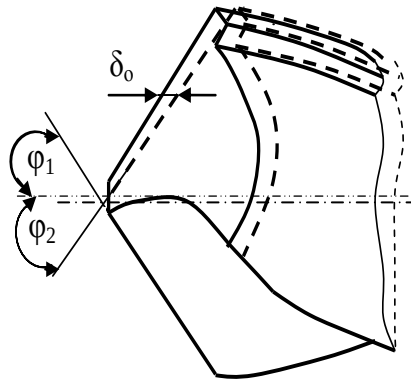


Рис. 3. - Смещение поперечной кромки и неравенство углов в плане

В соответствии с ГОСТ 2034 - 80 несимметричность режущих кромок, в результате погрешностей заточки, не должна превышать допуска осевого биения δ_o , представленного выше, проверяемого посередине режущих кромок. Но в этом случае при погрешностях заточки, показанных на рис. 2 и рис. 3, осевое биение у уголков сверла будет значительно больше осевого биения посередине режущих кромок. В случае неравенства углов в плане ϕ (рис. 2) осевое биение у уголков сверла может увеличиться до двух раз от осевого биения посередине режущих кромок.

Известно, что конструкция спиральных сверл имеет ряд существенных недостатков, неблагоприятно сказывающихся на их работоспособности, одним из которых является уголок [6]. Например, максимальная температура резания имеет место на этом конструктивном элементе. Увеличение толщины среза на одном из уголков сверла в результате увеличения допуска осевого биения приведет к дополнительному увеличению температуры резания, ухудшению условий работы уголка и к снижению работоспособности инструмента. В эмпирической зависимости (1) для расчета скоростей резания при сверлении, представленной в справочнике технолога-машиностроителя [7], показатель степени при подаче равен 0,5.

$$V = \frac{9,8d^{0,4}}{T^{0,2}S^{0,5}}, \quad (1)$$

где T стойкость сверл.

Эта зависимость предназначена для интенсивных скоростей резания, в основном используемых в единичном и мелкосерийном производстве, рассчитанная по ней скорость резания для быстрорежущих спиральных сверл диаметром 10 мм равна 24 м/мин. Для сверл этого диаметра рекомендуемая справочником [7] подача 0,25 мм/об. Для случая, когда в результате погрешностей заточки сверло работает одним лезвием, т.е. толщина среза на этом лезвии удваивается, что можно считать пропорциональным увеличением подачи, то рассчитанная по зависимости (1) стойкость на скорости резания 24 м/мин снижается в 5,6 раза.

В работе [4] показано, что в автоматизированном массовом производстве в основном используются более низкие скорости резания, соответствующие максимуму стойкостной зависимости 12-15 м/мин.

Для определения степени влияния подачи на стойкость сверл на этих скоростях резания использовалась зависимость, полученная на скорости резания 15 м/мин, представленная в работе [8] (рис.4).

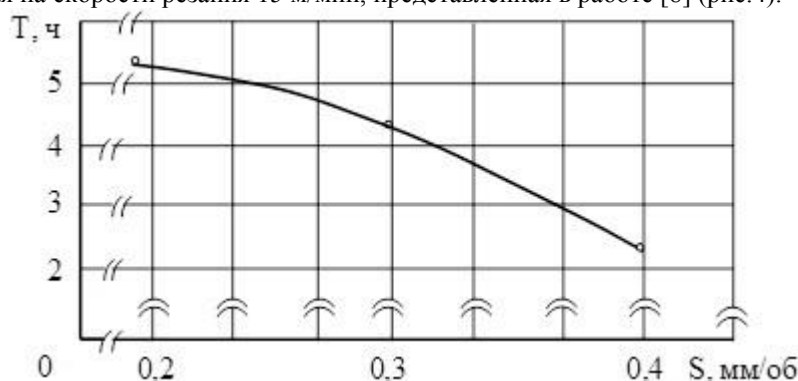


Рис. 4. - Зависимость стойкости сверл диаметром 14,5 мм от подачи

Посредством аппроксимации кривой, представленной на рис. 4, в диапазоне подач от 0,18 до 0,3 мм/об получена следующая зависимость:

$$T = 2,72S^{-0,4}.$$

Для подач, больших 0,3 мм/об, зависимость имеет вид:

$$T = 0,28S^{-2,3}.$$

В работе [9] представлены результаты производственных испытаний сверл различных диаметров, которые позволили получить зависимость стойкости сверл от диаметра в условиях автоматизированного массового производства, имеющую вид:

$$T = 3,58d^{0,4}.$$

Тогда зависимости стойкости сверл от диаметра и подачи будут иметь вид:

$$T = \frac{9,74d^{0,4}}{S^{0,4}}, \quad (2)$$

$$T = \frac{d^{0,4}}{S^{2,3}}, \quad (3)$$

где зависимость (2) для диапазона подач 0,18 - 0,3 мм/об, зависимость (3) для подач больших 0,3 мм/об.

Закономерности влияния осевого биения режущих кромок на стойкость сверл

В работе [10] по результатам производственных испытаний определено, что распределения стойкости и износа партий сверл всех испытанных диаметров не противоречат нормальному распределению и позволяют принять для их описания закон Гаусса. Это позволило определить параметры распределений стойкости до отказа испытанных сверл, представленные в табл. 2.

Таблица 2

Результаты производственных испытаний

Диаметр сверла, мм	9,8	10,5	11,5	12,0	13,8	17,5	21,0	35,0
Средняя стойкость до отказа, ч	8,1	1,87	8,73	8,57	10,24	11,95	2,17	2,81
Дисперсия стойкости σ , ч	2,65	0,28	1,38	1,98	2,24	1,63	0,65	0,87
Коэффициент вариации	0,33	0,15	0,16	0,23	0,22	0,14	0,3	0,3

Как видно в табл. 1 и табл. 2, условия обработки примерно в равной мере влияют на средние и среднеквадратические отклонения распределений стойкостей испытанных партий сверл. Поэтому корреляционный анализ тесноты связи коэффициентов вариации с условиями обработки, представленными в табл.1, показал полное ее отсутствие, т.е. теснота группирования этих случайных переменных не зависит от условий обработки [11]. Однако, как видно в табл. 2, величина коэффициентов вариаций распределений стойкостей изменяется в широких пределах, от 0,14 до 0,33 для различных диаметров сверл. Наряду с тем, в работе [11] определена тесная корреляционная связь стойкости с подачей на оборот сверла. Поэтому причиной изменения коэффициентов вариации в столь широких пределах может быть величина разброса осевого биения режущих кромок в случайной выборке сверл одного диаметра, в результате которого, как показано выше, происходит увеличение толщины среза на одном из лезвий сверла до двух раз.

Известно, что величина $\pm 1,96\sigma$ покрывает 95 % площади под кривой нормального распределения [12]. Тогда для расчета минимальной стойкости вполне достаточно воспользоваться 2σ . У сверл диаметром 9,8 мм минимальная стойкость, рассчитанная с применением значения двух сигма, наименьшая для твердости обрабатываемых заготовок до 200 НВ и составляет 2,8 ч., что не противоречит максимальному коэффициенту вариации распределения стойкостей этих сверл (табл. 2). Следовательно, вполне реально предположить, что в испытанной партии сверл этого диаметра разброс осевого биения режущих кромок был наибольший.

Рассчитанная по зависимости (2) стойкость для сверл диаметром 9,8 мм при подаче 0,22 мм/об в 2,7 раза выше стойкости, рассчитанной по зависимости (3) при подаче 0,44 мм/об. Тогда, при предварительном отборе данных сверл с минимальным биением режущих кромок, их минимальная стойкость увеличится в 2,7 раза и станет равна 7,56 ч. Это, в свою очередь, приведет к уменьшению дисперсии до 1,4 ч., и увеличению средней стойкости до 11,73 ч., при этом коэффициент вариации уменьшится до 0,12. Повышение отношения между минимальной и максимальной стойкостями составит 2,7 раза, что близко результатам испытаний, представленным в работе [2].

Обоснование необходимости исключения из производства сверл с высокой погрешностью заточки.

При расчете величины возможного увеличения минимальной стойкости в данной работе было использовано правило двух сигма, основанное на том, что $\pm 1,96\sigma$ покрывает 95 % площади под кривой нормального распределения [12]. Пять процентов при выборке сверл равной 25 шт. составляет 1,25 шт., что вроде бы несущественно. Однако из 25 сверл одного диаметра при коэффициентах вариации 0,33, 0,3 и 0,3 имеющих место у сверл диаметром 9,8, 21,0, 35,0 соответственно (табл. 2), одно сверло каждого диаметра

может иметь стойкость 9 мин, 13 мин и 12 мин соответственно, что значительно ниже рекомендуемого периода стойкости [7]. Это приведет к преждевременному выходу сверла из строя, остановке автоматического оборудования и браку изготавливаемой детали. Этим обосновывается необходимость исключения сверл с максимальным допуском осевого биения режущих кромок из производства.

Пути повышения стойкости сверл, связанные с качеством их заточки

1. Применение в автоматизированном массовом производстве сверл класса точности А1, допуск осевого биения режущих кромок который не должен превышать 0,06 мм.
2. Контроль осевого биения сверл классов точности А, В1, В и отбор сверл с осевым биением не превышающим половину подачи на оборот сверла. При этом контроль осевого биения проводить на уголках сверла.
3. Значительно уменьшить погрешности заточки можно применением двухплоскостной заточки сверл, представленной на рис. 5.

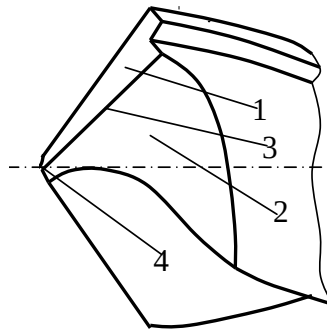


Рис.5. - Двухплоскостная заточка

Плоскость 1 затачивается под рабочим задним углом, плоскость 2 - под большим задним углом (ГОСТ 4010-77). Погрешности заточки исключаются, если ребро 3 пересечения плоскостей 1 и 2 каждого лезвия проходит через ось сверла. При такой заточке достаточен визуальный контроль качества. У двухплоскостной заточки есть еще одно существенное преимущество. Поперечная кромка 4 является ломаной линией с вершиной на оси сверла. Это исключает необходимость зацентровки отверстия перед сверлением, либо применения направляющих втулок.

Недостатком двухплоскостной заточки является большая трудоемкость по сравнению, например, с конической заточкой, выполняемой на специальных станках, но в условиях автоматизированного массового производства преимущества двухплоскостной заточки могут быть экономически обоснованы.

Выводы

1. При максимальном допуске осевого биения режущих кромок толщина среза на одном из лезвий сверла увеличивается до двух раз, сверло практически работает одним лезвием, что приводит к значительному снижению стойкости сверл.
2. Применение в автоматизированном массовом производстве спиральных сверл с высокой симметричностью режущих кромок увеличивает минимальную стойкость в 2,7 раза.
3. Применение в автоматизированном массовом производстве спиральных сверл с высокой симметричностью режущих кромок не только повышает отношение между максимальной и минимальной стойкостью, но и повышает среднюю стойкость спиральных сверл.
4. При контроле осевого биения посередине режущих кромок осевое биение на уголках сверла может быть в два раза большим.
5. Контроль осевого биения необходимо проводить не посередине режущих кромок, а на уголках сверла.
6. Допуск осевого биения для сверл диаметром 10 мм и выше для классов точности А, В1, В не должен превышать половины рекомендуемой подачи на оборот сверла.
7. В автоматизированном массовом производстве необходимо использовать двухплоскостную заточку сверл.

Список литературы

1. Рагрин Н.А. Обработка материалов и инструменты : Учебник / КГТУ им. И. Раззакова. – Бишкек : Текник, 2012. – С. 84.
2. Грановский Г.И., Баклунов Е.Д. Панченко К.П. Стабильность работы режущего инструмента на автоматических линиях // Автоматизация и механизация производственных процессов в машиностроении. - М. : Машиностроение, 1967. - С. 62-85.
3. Режимы резания металлов: Справочник / Под ред. Барановского Ю.В. Изд.3-е, переработанное и дополненное. - М. : Машиностроение, 1972. - С. 110.

4. Древаль А.Е., Рагрин Н.А., Самсонов В.А. Формирование отказов спиральных сверл в условиях автоматизированного производства. Электронное научно-техническое издание // МГТУ им. Баумана. – М., 2011. - № 10. - 10 с.
5. Мартынов А.Д. О контроле симметричности заточки режущих кромок спиральных сверл // Спиральные сверла. - Вильнюс, 1964. - 15 с.
6. Самсонов В.А. Рагрин Н.А., Стародубов И.И. Особенности износа ленточек и уголков быстрорежущих спиральных сверл // Известия КГТУ им. И. Раззакова. – Бишкек, 2013. № 29. - С.160-163
7. Справочник технолога-машиностроителя. Т. 2. / Под ред. Дальского А.М., Суслова А.Г., Косиловой А.Г., Мещерякова Р.К. - 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение -1, 2001.- С. 381 - 383.
8. Рагрин Н.А., Самсонов В.А. Особенности влияния подачи на стойкость и наработку спиральных сверл // Техника машиностроения – М., 2013. - № 4(88). - С. 18-19.
9. Рагрин Н. А. Влияние условий обработки на физическую модель износостойкости инструмента при сверлении. // Технология машиностроения. – М., 2013. № 12. - С.15-24.
10. Рагрин Н.А. Обеспечение безотказности быстрорежущих спиральных сверл в условиях автоматизированного производства // Машиностроитель. – М., 2012. - № 7. - С. 37-39.
11. Рагрин Н.А. Применение теории корреляции для получения зависимостей наработки от условий обработки сверлением. // Машиностроение и инженерное образование. – М., 2013. - № 3. - С. 21-29
12. Закс Л. Статистическое оценивание. - М.: Статистика, 1976. - С. 67.

References

1. Ragrin N.A. Machining of materials and tools: Manual/ KSTU named after I. Razzakov. – Bishkek :Teknik, 2012. – P. 84.
2. Granovsky G.I., Baklunov E.D., Panchenko K.P., The stability of the cutting tool on the automated production lines // Automation and mechanization of production processes in machine building. - M. : Machine building -, 1967. - P. 62-85.
3. Metal cutting modes: Handbook / Edited by Baranovsky U.V. Edition.3, revised and expanded. - M. : Machine building, 1972. - P.110.
4. Dreval A.E., Ragrin N.A., Samsonov V.A. Formation of failure of spiral drills in a computer-aided manufacturing. Electronic scientific and technical publication // MSTU named after Bauman. – M.,2011. - №10. - 10 p.
5. 5.Martynov A.D. About the control of symmetry sharpening cutting edges of spiral drills // Spiral drills. - Vilnius, 1964. - 15 p.
6. Samsonov V.A. Ragrin N.A., Starodubov I.I.. Features of wear of ribbons and angles of high speed spiral drills //News of KSTU named after I. Razzakov. – Bishkek,2013. № 29. -P.160-163
7. Handbook of machine building engineer. V. 2. / Edited by Dalskoy A.M., Suslova A.G., Kosilova A.G., Meshryakova R.K. – Edition 5, revised and expanded. – M.: Machine building -1, 2001.- P.381 - 383.
8. Ragrin N.A., Samsonov V.A. Features of influence of the feeding on resistance and operating time of spiral drills // Machine building technology – М., 2013. - № 4(88). - P. 18-19.
9. Ragrin N.A. Influence of processing conditions on the physical model of the drilling tool wear resistance. // Machine building technology. – М., 2013. № 12. - P.15-24.
10. Ragrin N.A. Providing of reliability of high-speed spiral drills in a computer-aided manufacturing // Machine engineer. – М., 2012. - № 7. - P. 37-39.
11. Ragrin N.A. Application of the theory of correlation to get the dependency of operating time on the conditions of drilling. // Machine building and engineering education. – М., 2013. - № 3. - P.21-29
12. Zax L. Statistical estimation. - M.: Statistics, 1976. - P. 67.

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ

УДК: 536.24.02: 621. 039. 534

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРОЦЕССОВ

Насирдинова Сайрагуль Мухамбетовна, ст. преподаватель, КГТУ им. И.Раззакова, Кыргызстан, 720044, г. Бишкек, пр. Мира, 66, e-mail: sai-ra@mail.ru

Цель статьи - сравнение результата теоретических исследований процессов теплопередачи в солнечном баке - аккумуляторе с результатом экспериментальных исследований. В ранее проведенных работах были рассмотрены вопросы систем солнечного теплоснабжения с использованием сезонного бака - аккумулятора, а также изучены вопросы времени естественного остывания бака - аккумулятора.

В настоящей статье рассматриваются результаты экспериментальных исследований, где определялось время естественного остывания на реальном имитационном баке - аккумуляторе в зависимости от разной толщины изоляции и без изоляции. Результаты исследования показали, что полученные результаты теоретических исследований приемлемы для практических расчетов подобных систем.

Ключевые слова: сезонный бак аккумулятор, алгоритм программы, математическая модель, экспериментальные исследования, теплоизоляционный материал.

RESULTS OF EXPERIMENTAL STUDIES OF HEAT TRANSFER PROCESSES IN SOLAR TANK-ACCUMULATOR.

Nasirdinova Sairagul Muchambetovna, senior teacher, Kyrgyzstan, 720044, c. Bishkek, KSTU named after I. Razzakov, e-mail: sai-ra@mail.ru

The objective of the paper is the comparison of theoretical research result of heat transfer processes in accumulator container with results of experimental studies. In earlier published works questions of systems of heat supply with use of a seasonal accumulators were considered as well as the issues of timing of natural cooling of accumulator.

The paper considers results of these conducted research and time of natural cooling on real imitating accumulator, depending on the different thickness of insulation and without insulation. Results of research showed that obtained results of theoretical research are acceptable for practical designing of similar systems.

Keywords: seasonal tank accumulator, the program algorithm, a mathematical model, experimental study, thermal insulation material.

Объектом исследования является система солнечного теплоснабжения с сезонным аккумулятором тепла для жилых домов и помещений.

В настоящей статье приведены результаты экспериментальных исследований процесса остывания теплоносителя в баке аккумуляторе в зависимости от температурных параметров внешней среды.

В проведенных ранее теоретических исследованиях [1,2,3] были получены результаты изменения температуры бака аккумулятора в зависимости от физико-теплотехнических свойств изоляционного материала и толщины его слоя. По результатам этих работ были построены графики, которые представлены на рис 1.

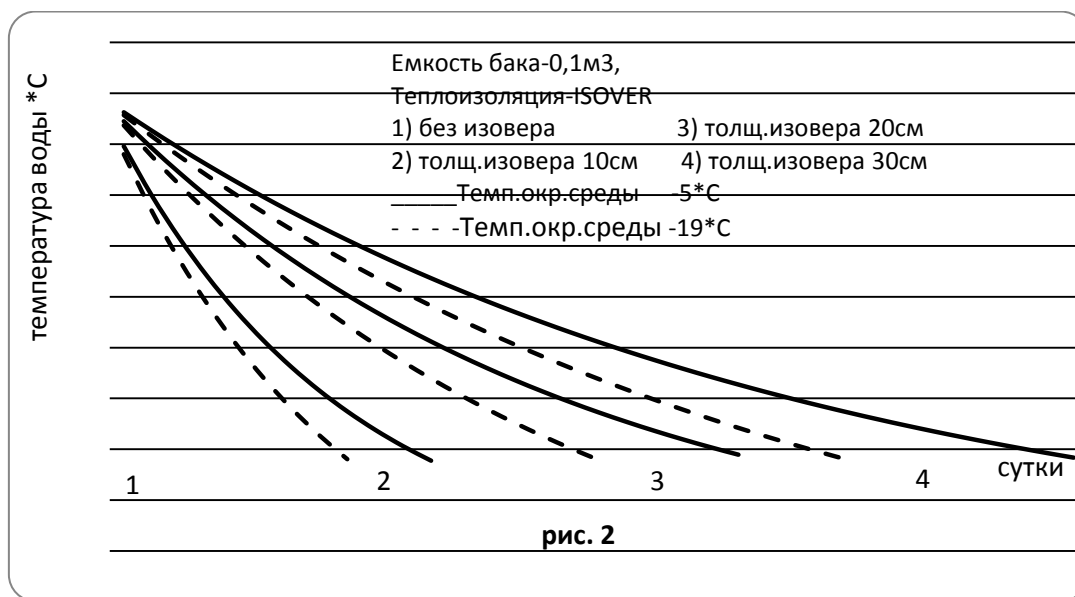


Рис.1. Диаграммы изменения температуры теплоносителя в баке-аккумуляторе

Эти данные были получены на основе разработанной математической модели процесса тепловых потерь бака-аккумулятора и процессов зарядки, разрядки сезонного бака -аккумулятора. [2]

В данной статье представлены результаты экспериментальных исследований, проведенных на имитационной модели бака-аккумулятора емкостью 0,1м³.

Схема разработанного экспериментального стенда приведена на рис. 2. Бак-аккумулятор представляет собой металлическую емкость -1, установленную на опорных ножках 3. Нагрев теплоносителя осуществляется за счет электронагревателя -2, вмонтированного в бак. Заполнение бака осуществляется через вентильный кран 4. Бак- аккумулятор сверху закрывается герметичной крышкой 6. Для измерения температуры в крышке бака-аккумулятора предусмотрены гнезда 5, в которых устанавливаются контрольные термопары. Гнезда установлены таким образом, что можно получать данные о температуре в баке-аккумуляторе на 3х уровнях - внизу, в середине и в верхней части.

Отслеживание изменения температуры в течение определенного времени, осуществляется измерительным прибором КСМ – 2, где в качестве датчика используются хромель – капелевые термопары.

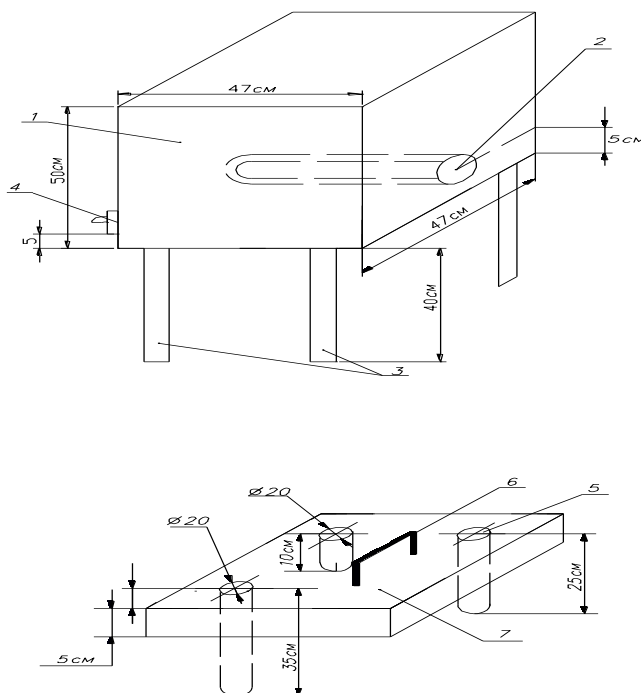


Рис. 2. Схема экспериментального стенда бака-аккумулятора 1-корпус; 2- электронагреватель, 3- опорные ножки, 4- сливной вентиль, 5- гнезда для термометра, 6-крышка корпуса.

Устройство многоточечного прибора КСМ – 2 и бака- аккумулятора, используемого в процессе эксперимента приведены на рис. 3.



Рис.3. Бак-аккумулятор с прибором для измерения температуры

1- измерительный прибор КСМ, 2-электронагреватель, 3-бак - аккумулятор, 4-термодатчики

Запись показаний в многоточечных приборах циклическая и осуществляется путем отпечатывания на диаграммной ленте точек с цифрой, обозначающие номер переключенного датчика. При этом происходит частичное наложение отпечатков номеров датчиков.

Процесс нагрева воды до температуры кипения в баке осуществляется с помощью электронагревателя –2. Питание электронагревателя осуществляется от источника напряжения 220 В.

Экспериментальные исследования и последовательность шагов в измерении температуры теплоносителя в баке-аккумуляторе осуществляются в следующей последовательности.

Первоначально после заполнения бака-аккумулятора водой через вентиль 4 включается электронагреватель 2. И температура воды доводится до 90°C , после чего электронагреватель отключается. Затем при комнатной температуре, $t = 28-30^{\circ}\text{C}$ происходит естественное остывание воды в баке и при этом фиксируется изменение температуры воды $t_{\text{вб}} = f(\tau)$ автоматически в КСМ-2.

Одновременно измеряем температуру окружающего воздуха. Процесс продолжается до момента наступления равновесия, то есть когда температура воды в баке сравняется с температурой окружающей среды:

$$t_{\text{вб}} = t_{\text{ок}}$$

Полученная зависимость $t_{\text{вб}} = f(\tau)$ позволяет определить время разрядки аккумулятора для любого промежутка времени. Следует отметить, что в период эксперимента температура окружающей среды практически была постоянной.

На рис.4 а-б приведены общий вид экспериментального стенда бака-аккумулятора с изоляцией и фрагменты измерения плотности теплового потока с помощью тепловизора.



а



б

Рис. 4. Общий вид экспериментального стенда бака-аккумулятора: а – бак, при снятии изоляции толщиной 10см; б – бак с теплоизоляцией толщиной 20 см, при измерении плотности теплового потока

Первая серия экспериментальных исследований была проведена для случая, когда бак-аккумулятор не имеет какой либо теплоизоляции, а температура воздуха на момент начала и конца остывания колеблется в пределах $28 \div 30^{\circ}\text{C}$. Первоначальная температура воды в баке составляет $t_{\text{ок}} = 90^{\circ}\text{C}$.

Проведенные экспериментальные исследования показали, что реальный процесс остывания неизолированного бака происходит за 7 часов. Расчетные данные по разработанной методике и предложенному ранее алгоритму с параметрами и условиями реального эксперимента показали время остывания 8 часов.

На рис. 4 показан фрагмент ленты с записью диаграммы измерения температуры воды в баке - аккумуляторе без изоляции.

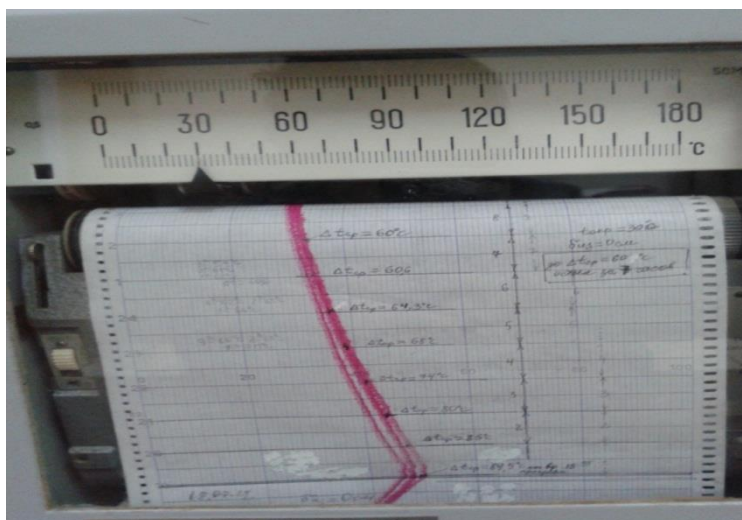


Рис.4. Фрагмент записи ленты с температурой воды в баке-аккумуляторе.

По результатам эксперимента были получены данные, которые приведены в табл. 1

Данные результатов эксперимента с неизолированным баком-аккумулятором, табл.1

	$t_1, ^\circ\text{C}$	$t_2, ^\circ\text{C}$	$t_3, ^\circ\text{C}$	$\Delta t_{\text{сп}}, ^\circ\text{C}$	$t_{\text{co}}, ^\circ\text{C}$
Начало времени остывания	88	89,5	92	89,8	30
16 часов 05 мин.	83	85	87	85	30
17 часов 05 мин.	78	80	82	80	29,5
18 часов 05 мин.	72	74	76	74	29
19 часов 05 мин.	66	68	70	68	29
20 часов 05 мин.	62	65	66	64,3	28
21 часов 05 мин.	59	61	62	60,6	28

Как видно из приведенных данных, практически остается постоянной температура окружающего воздуха, равной в среднем 29°C . За промежуток времени с 15^{00} до 21^{00} температура в баке - аккумуляторе упала с 90°C до $60,6^\circ\text{C}$. Следует отметить, что измерения проводились лишь до момента, когда температура воды в баке-аккумуляторе падала до 60°C .

Это было связано с тем, что минимальный температурный потенциал для системы отопления, при котором возможен положительный эффект, не должен быть ниже 60°C .

По полученным результатам была построена диаграмма измерения температуры в баке-аккумуляторе за рассматриваемый промежуток времени (рис.5).

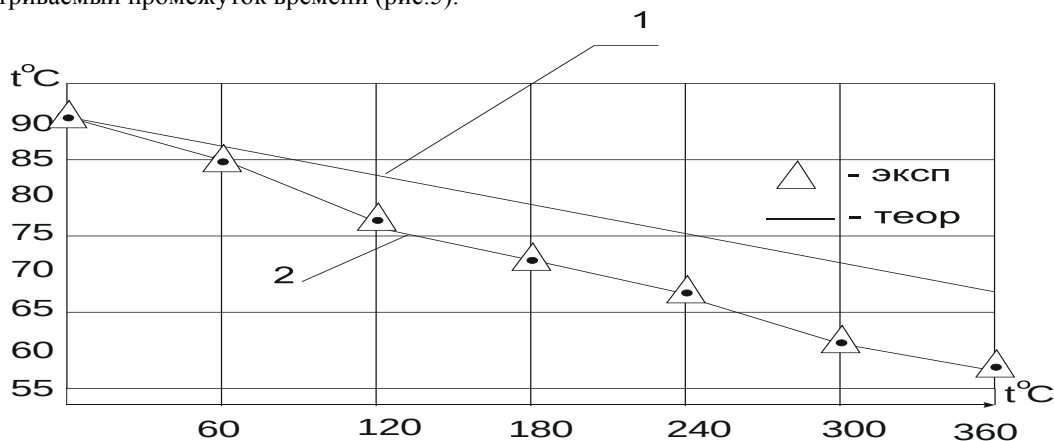


Рис. 5. Изменение температуры теплоносителя в баке-аккумуляторе (при толщине изоляции 0 см)

Затем точно таким же образом был проведен эксперимент с изоляционным материалом БАЗАЛЬТОВОЕ ВОЛОКНО с толщиной изоляции для бака 30 см, 20 см. Проведенные экспериментальные исследования показали, что действительно с увеличением толщины изоляции темпы роста охлаждения бака снижаются. Результат экспериментальных исследований бака с изоляцией наблюдается в следующем:

- Реальный процесс остывания с изоляцией 30 см и $\lambda_{из} = 0,039 \text{ Вт}\cdot\text{м}\cdot\text{К}$ составил 3,8 суток. Теоретические исследования при тех же параметрах и условиях показали 3,4 суток;

- Реальный процесс остывания с изоляцией 20 см составил 3,2 суток, а теоретические исследования при тех же параметрах - 3,4 суток.

Таким образом, проведенный анализ экспериментальных исследований показал, что в 1-м случае, когда бак не изолирован, разница в остывании 1 час и погрешность составляет 12 %.

Во 2-м случае, при изолированном баке толщиной изоляции 30 см, разница в остывании 0,4 суток, что составляет погрешность 10,6%.

В 3-м случае, при изоляции 20 см, разница в остывании 0,2 суток, что составляет погрешность 8,1%. Причину такой разницы удалось установить при снятии изоляции с бака-аккумулятора после завершения экспериментальных исследований.

Результат исследования показал, что в процессе нагрева теплоносителя в баке-аккумуляторе происходило испарение жидкости, которая в последующем конденсировалась на внешней поверхности бака и, как следствие наполняла влагой часть теплоизоляции, при которой естественно резко снижались его теплоизоляционные свойства, что приводило в свою очередь к более интенсивному охлаждению бака-аккумулятора.

Еще одной возможной причиной погрешностей, на наш взгляд, являются сомнения не -соответствия теплофизических свойств изоляционного материала, представляемых в паспортных данных и их фактических данных. В частности, нами был проведен небольшой расчет, в котором мы сделали оценку фактического коэффициента теплопроводности изоляционного материала. В результате обнаружено, что значение коэффициента теплопроводности, на наш взгляд, несколько завышено, и это является, возможно, второй причиной.

Таким образом, констатируя факт, можно сказать, что:

- 1) Алгоритмы и программы, составленные для определения времени остывания бака, вполне приемлемы;
- 2) Между теоретическим и экспериментальными исследованиями есть небольшая разница, которая связана с парообразованием;
- 3) Сомнения в несоответствии паспортных данных и используемого изоляционного материала, а также металла, из которого изготовлен бак.

Несмотря на полученное расхождение результатов эксперимента и расчетных данных можно считать, что ранее предложенные теоретические исследования разработанного алгоритма могут быть приемлемы для использования практических расчетов этих систем, при которых погрешность не превышает 10-12 %.

Список литературы

1. А.Дж. Обозов, В.И. Саньков, С.М. Насирдинова. «Исследование и разработка технических средств и технологий работающих на ВИЭ для энергоснабжения малоэнергоёмких объектов». Отчет НИР. Бишкек-2010 г.
2. А.Дж. Обозов, В.И. Саньков, С.М. Насирдинова «Выбор рациональных параметров сезонного бака-аккумулятора системы солнечного теплоснабжения». Материалы научно-технической конференции, г. Душанбе 2011 г.
3. Обозов А.Дж, Саньков В.И. Насирдинова С.М. «Энергоэффективный солнечный дом» Материалы 52-й научно-технической конференции, Бишкек-2010 г.

References

1. A.Dg. Obozov, V.I.Sankov, S.M.Nasirdinova «Research and development of technical means and technologies running on renewable energy for power small-energy-intensive facilities. Report of research works . Bishkek-2010
2. A.Dg. Obozov, V.I.Sankov, S.M.Nasirdinova «The choice of rational parameters of seasonal storage tank solar heating system». Materials of research conference, Dushanbe-2010
3. A.Dg. Obozov, V.I.Sankov, S.M.Nasirdinova «Energy efficient solar home» Materials of the 52-th scientific and technical conference

РАЗВИТИЕ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ В КЫЗЫЛОРДИНСКОЙ ОБЛАСТИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Обозов Алайбек Джумабекович, д.т.н., проф. КГТУ им. И.Раззакова

Калимбетов Галим Примжанович, старший преподаватель, Центральный Азиатский университет, Казахстан, г.Алматы, ул.Жандосова 60, e-mail: gala_84_11@mail.ru

В данной статье рассматриваются проблемы развития электроэнергетики Республики Казахстан на примере Кызылординской области с использованием альтернативной источников Республики Казахстан. Сделана оценка потенциала ВИЭ. Проведен анализ перспектив различных альтернативных источников энергии для условий Казахстана. Рекомендуется развитие солнечной и ветровой энергетики.

Ключевые слова: электроэнергетика, энергоснабжение, солнечная энергия, электрическая сеть, возобновляемые источники энергии, ветроэнергетика, малые гидроэлектростанции, солнечные установки.

DEVELOPMENT OF RENEWABLE ENERGY IN KYZYL-ORDA REGION OF KAZAKHSTAN

Kalimbetov Galym P., Senior teacher, Kazakhstan, c. Almaty, Central Asian University, e-mail: gala_84_11@mail.ru

This article explores the problems of the development of the electricity of the Republic of Kazakhstan on the example of Kyzyl-Orda region using alternative sources of the Republic of Kazakhstan. The estimation of the potential of renewable energy. The analysis of the prospects of various alternative sources of energy for the conditions of Kazakhstan. It is recommended that the development of solar and wind energy.

Keywords: power industry, power supply, solar energy, electric network, renewable sources of energy, wind power, small hydroelectric power stations, solar installations.

Кызылординская область расположена к востоку от Аральского моря в нижнем течении реки Сырдарья. Основная часть территории области расположена в пределах Туранской низменности (высота 50-200 м).

Климат Кызылординской области резко континентальный с жарким сухим продолжительным летом и холодной короткой малоснежной зимой. Такой климатический режим обусловлен расположением области внутри евроазиатского материка, южным положением, особенностями циркуляции атмосферы, характером подстилающей поверхности и другими факторами.

Континентальность климата проявляется в больших колебаниях метеорологических элементов, в их суточном, месячном и годовом ходе.

Лето жаркое и продолжительное. Резких различий в температурах в этот период не наблюдается. Повсеместно средняя температура июля 36-39 С. Абсолютный максимум температуры на преобладающей части территории области 44-48С. Зимой же разница в температурах между севером и югом области заметна. Например, средняя температура самого холодного месяца – января-35-36 С.

Для всей территории области характерны частые и сильные ветры, преимущественно северо-восточного направления. Средняя годовая скорость их колеблется от 3,1 до 6,0 м/с. Сильные ветры зимой при низких температурах сдувают незначительный снежный покров с возвышенных частей рельефа, что вызывает глубокое промерзание и растрескивание верхних слоев почвы. В летнее время наблюдаются пыльные бури.[1]

Поэтому для Кызылординской области по энергоснабжению в 2014 году из республиканского и областного бюджета выделено 27 млн. тенге на строительно-монтажные работы объекта «Развитие систем электроснабжения напряжением 10/0,4 кВ г.Кызылорда (территория Сырдарьинского РЭС)» и выполнены строительно-монтажные работы на 90 %: (сделана подвеска проводов 6-10 кВ-3,7 км, 0,4кВ-1,62км, установлены железобетонные опоры П27-10 шт., стойки вибрированные СВ 95-3-20 шт, гидроизоляция-105,15м2).

На выделенную сумму 217,9 млн тенге в т.г. по проектам «Развитие систем электроснабжения районных центров Кызылординской области. Пос Айтеке би, Шиели, Жанакорган» выполнено также в кенте Айтеке би на сумму 84326,7 млн тенге (подвеска проводов 6-10 кВ-2,68 км, установка железобетонных опор П27-233 шт. стойки вибрированные СВ 95-3-439 шт, гидроизоляция-767,517м2), в пос Шиели на сумму 16 547 млн тенге (подвеска проводов 0,4 кВ-14,5 км, установка железобетонных опор П27-121 шт., стойки вибрированные СВ 95-3-42шт, гидроизоляция-515,835м2, установлены светильники - 158 шт), в пос Жанакорган на сумму 27 296,2 млн тенге (монтаж железобетонных опор ВЛ-10кВ. обеспечено электроснабжение м/р Алтыкрант, установка КТПН-400).[2]

Кроме этого, в министерство индустрии и новой технологии РК и министерство развития регионов РК для финансирования в 2015-2017 гг. представлены бюджетные заявки на 9 проектов. По этим проектам в марте т.г. после защитной работы с министерством развития регионов РК дано согласие на 4 проекта с общей суммой 2,8 млрд. тенге.

С другой стороны, Казахстан, в том числе и Кызылординская область, имеет все возможности для обеспечения своего устойчивого развития на базе использования возобновляемых ресурсов и может не только войти в число 50-ти наиболее конкурентоспособных стран мира, но и сохранить эти позиции за будущими поколениями.

В настоящее время доля использования альтернативных источников энергии в Казахстане от общего энергопотребления составляет всего лишь 0,02%, при этом эта доля в Европейском Союзе составляет 6%, в США - 3%, в Российской Федерации - 0,3%. [3]

У страны имеется также значительный нераскрытый потенциал возобновляемых ресурсов, а благоприятная конъюнктура на минерально-сырьевом рынке должна дать возможность инвестировать дополнительные доходы в эффективные технологии воспроизводства и эксплуатации возобновляемых ресурсов в сельском, водном, лесном и рыбном хозяйстве, а также энергетике. Импорт технологий и экспорт капитала для непосредственного изучения опыта в соответствующих отраслях за рубежом, с одной стороны, снизят инфляционное давление внутри страны, с другой стороны, обеспечат Казахстану в долгосрочной перспективе стабильный доход, по нашим оценкам - более 12 млрд. долларов США в год.

Во-вторых, благодаря развитию рентабельных, географически диверсифицированных производств на основе возобновляемых ресурсов, будет обеспечена оптимизация структуры занятости и рост благосостояния населения страны, более 40 % которого проживает в сельской местности. Более того, будут созданы дополнительные рабочие места для трудовых ресурсов, которые высвободятся из отраслей, потенциально неконкурентоспособных в условиях глобализации.

В-третьих, переход к высокоэффективным технологиям безотходной переработки растительного и животного сырья для производства экологически чистой продукции, а также использование возобновляемых источников энергии обеспечит общее оздоровление нации и окружающей среды.

В-четвертых, обеспечив себе устойчивое поступательное развитие, Казахстан сможет внедрять достигнутый опыт в странах-партнерах по ЕврАзЭС, прежде всего в Центральной Азии, тем самым укрепляя экономическую и политическую стабильность в регионе.

Возобновляемые источники энергии практически неисчерпаемы и доступны благодаря быстрому распространению современных технологий. Их использование соответствует стратегии использования различных энергетических источников. Возобновляемые ресурсы являются общепризнанным способом защиты экономики от ценовых колебаний на мировом энергетическом рынке и будущих расходов по защите и восстановлению окружающей среды. Технологии, основанные на использовании возобновляемых источников энергии, являются экологически чистыми из-за отсутствия выбросов загрязняющих веществ в атмосферу. Их применение практически не вызывает образования парникового эффекта и, соответственно, связанных с ним климатических изменений. Кроме того, их использование не приводит к образованию радиоактивных отходов. Возобновляемые источники энергии соответствуют, таким образом, политике защиты окружающей среды, а их использование формирует лучшую окружающую среду и обеспечивает устойчивое развитие.

Поэтому по Кызылординской области для включения в республиканскую карту индустриализации в Министерство по инвестициям и развитию РК направлены нижеследующие проекты на сумму 136,4 млрд.тенге с созданием 1600 рабочих мест [4]:

-проект ТОО «ЮжШахтоСтрой» - строительство ветроэлектростанции мощностью 75 Мвт», сумма – 52,5 млрд.тенге, рабочие места – 30 чел, период реализации – 2015-2019гг, место реализации – Жанакорганский район.

-проект ТОО «Global Energy Company» - строительство ветро-солнечной электростанции мощностью 24,94 Мвт», сумма – 8,0 млрд.тенге, рабочие места – 30 чел, место реализации – Жанакорганский район.

Также, планируется направить в Министерство по инвестициям и развитию РК 3 крупных проектов на общую сумму 66,8 млрд.тенге с созданием порядка 1160 рабочих мест, в том числе:

-проект «Строительство солнечной электростанции» ТОО «Жанакорган энерджи» мощностью 50 Мвт в Жанакорганском районе, сумма - 17,1 млрд.тенге, 40 рабочих мест. По проекту создана проектная компания, сформирован уставный капитал, разработано ТЭО, направленное на госэкспертизу, выделен земельный участок.

С другой стороны идеальна ли солнечная энергетика с технической и экономической точки зрения? К сожалению, не совсем. Мы постараемся выделить основные преимущества и недостатки этого способа добычи энергии.

Начнем с положительных сторон. Достоинства и недостатки солнечной энергетики:

- Общедоступность и неисчерпаемость источника.

- Теоретически полная безопасность для окружающей среды (однако в настоящее время в производстве фотоэлементов и в них самих используются вредные вещества). Существует вероятность того, что повсеместное внедрение солнечной энергетики может изменить альбедо земной поверхности и привести к изменению климата (однако при современном уровне потребления энергии это крайне маловероятно).

Недостатки:

- Солнечная электростанция не работает ночью и недостаточно эффективно работает в утренних и вечерних сумерках.
- Дороговизна солнечных фотоэлементов. Вероятно, с развитием технологии этот недостаток преодолеют. В 1990--2005 гг. цены на фотоэлементы снижались в среднем на 4% в год.
- Недостаточный КПД солнечных элементов (вероятно, будет вскоре увеличен).
- Поверхность фотопанелей нужно очищать от пыли и других загрязнений. При их площади в несколько квадратных километров это может вызвать затруднения.
- Эффективность фотоэлектрических элементов заметно падает при их нагреве, поэтому возникает необходимость в установке систем охлаждения, обычно водяных.
- Через 30 лет эксплуатации эффективность фотоэлектрических элементов начинает снижаться.

Вывод. Сегодня солнечная энергетика широко применяется в случаях, когда малодоступность других источников энергии в совокупности с изобилием солнечного излучения оправдывает её экономически. В России солнечная энергетика существует только в виде небольших установок автономного энергоснабжения, не подключенных к энергосистеме и применяемых частными лицами и небольшими организациями.

Достоинства и недостатки ветрогенераторов:

- Экологически чистый вид энергии;
- Эргономика;
- Возобновимая энергия;
- Ветровая энергетика - лучшее решение для труднодоступных мест.

Недостатки:

- Нестабильность;
- Относительно невысокий выход электроэнергии;
- Высокая стоимость;
- Природные условия;
- Шумовое загрязнение;
- Пожары.

Вывод. Ветроэнергетика является наиболее развитой сферой практического использования природных возобновляемых энергоресурсов. Мировыми лидерами в ветроэнергетике являются США, Германия, Нидерланды, Дания, Индия. В настоящее время в России возникли новые организации, занимающиеся ветроэнергетикой, постепенно налаживается сотрудничество с зарубежными партнерами.

По нашему мнению, применительно к альтернативной энергетике необходимо использование результатов современных научно-технических достижений, которые позволяют создать новый или усовершенствованный рыночный продукт (например, экологически чистые и бесшумные энергоустановки на основе топливных элементов разной мощности и предназначения) для повышения конкурентоспособности отечественной экономики в условиях глобализации. С известной долей условности можно сказать, что наука — это превращение денег в знания, а инновации — это трансформация знаний в деньги. Поясним эту формулу.

Первая часть связана с государственными и частными инвестициями в образование, поисковые и научно-исследовательские разработки. В результате мы получаем научные кадры, разрабатывающие технологические ноу-хау в энергетике, закрепляемые в патентной базе, технических регламентах и т.д.

Вторая часть — это «материализация знаний», или их техническая реализуемость. Речь идет об использовании материалов и современного оборудования для производства высокотехнологичной продукции, а в условиях рыночной экономики это еще и коммерциализация инноваций (вывод продукции на внутренний и внешний рынки, ее реализация и получение прибыли).

Выводы. Сегодня солнечная энергетика широко применяется в случаях, когда малодоступность других источников энергии в совокупности с изобилием солнечного излучения оправдывает её экономически. Ветроэнергетика является наиболее развитой сферой практического использования природных возобновляемых энергоресурсов. Мировыми лидерами в ветроэнергетике являются США, Германия, Нидерланды, Дания, Индия. В настоящее время в России возникли новые организации, занимающиеся ветроэнергетикой, постепенно налаживается сотрудничество с зарубежными партнерами.

Список литературы

1. Стратегия эффективного использования энергии и возобновляемых ресурсов Республики Казахстан в целях устойчивого развития до 2024 года и Стратегический план развития Кызылординской области на 2009 –2015 годы
2. <http://e-kyzylorda.gov.kz>
3. О проекте Указа Президента Республики Казахстан "О Стратегии эффективного использования энергии и возобновляемых ресурсов Республики Казахстан в целях устойчивого развития до 2024 года"
4. <http://www.stroyca.ru/>

References

1. Strategy of effective use of energy and renewable resources of the Republic of Kazakhstan for a sustainable development till 2024 and the Strategic plan development of Kyzylordinsky area for 2009 - 2015 years
2. <http://e-kyzylorda.gov.kz>
3. About the draft of the Decree of the President of the Republic of Kazakhstan "About Strategy of effective use of energy and renewable resources of the Republic of Kazakhstan for a sustainable development till 2024"
4. <http://www.stroyca.ru/>

УДК 321.316

ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Калимбетов Галим Примжанович, старший преподаватель, Центральный Азиатский университет, Казахстан, г. Алматы, ул. Жандосова, 60, e-mail: gala_84_11@mail.ru

Цель статьи - анализ развития электрической системы Республики Казахстан с учетом одного из наиболее развивающихся видов возобновляемых источников энергии. Проведен анализ современного состояния энергетики. Обобщен опыт ведущих стран в области ветроэнергетики. Проведена сравнительная оценка себестоимости выработки кВт/ч электроэнергии на традиционных и альтернативных источниках энергии.

Ключевые слова: электроэнергетика, электрическая сеть, возобновляемые источники энергии, ветроэнергетика, малые гидроэлектростанции, солнечные установки.

PROBLEMS AND PROSPECTS OF ELECTRIC POWER THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

Kalimbetov Galym P., Senior teacher, Kazakhstan, c. Almaty, Central Asian University, e-mail: gala_84_11@mail.ru

Purpose of this article analyzes the electrical system of the Republic of Kazakhstan considering on one of the fastest growing forms of renewable energy. The analysis of the current state of energy. The experience of the leading countries in the field of wind energy. A comparative evaluation of the cost of production of kW / h of electricity in the traditional and alternative energy sources.

Keywords: power industry, electric network, renewable sources of energy, wind power, small hydroelectric power stations, solar installations.

Неоспорима роль энергии в поддержании и дальнейшем развитии цивилизации. В современном обществе трудно найти хотя бы одну область человеческой деятельности, которая не требовала бы - прямо или косвенно - больше энергии, чем ее могут дать мускулы человека. Потребление энергии - важный показатель жизненного уровня. Однако на развитие хозяйствующих субъектов в нашей стране существенное негативное влияние оказывает высокая доля энергетических затрат в издержках производства, которая на промышленных предприятиях составляет в среднем 8-12 % и имеет устойчивую тенденцию к росту в связи с большим моральным и физическим износом основного оборудования и значительными потерями при транспортировке энергетических ресурсов. По различным данным, на жилищный сектор приходится до 25-30 % потребляемой энергии по республике.

Электроэнергетика Казахстана характеризуется изношенностью значительной части основных фондов. На электростанциях 65% оборудования имеет возраст более 20 лет, 31% - более 30 лет. Не лучше и состояние электросетевого хозяйства – изношенность оборудования составляет 60–80%. Особенно плачевно состояние энергетических сетей в селах. [1]

Реализация госпрограммы форсированного индустриально-инновационного развития Казахстана позволит увеличить до 2014 года объем экономики в полтора раза. В целом за последующие пять лет предусмотрено реализовать более 320 инвестиционных проектов, из них в текущем году будет введено 142 новых предприятия общей стоимостью инвестиций более 5 млн. долларов.

В связи с этим в перспективе потребление электроэнергии резко возрастет и достигнет 124–130 млрд. кВт·ч. Одним из путей решения проблемы являются строительство новых станций, модернизация электрических сетей в целях увеличения производства энергии и избежания проблемы дефицита энергии в будущем, а вследствие этого и торможения развития экономики страны в целом.

Основной базой производства электроэнергии в Республике Казахстан являются тепловые электростанции, доля которых в общем производстве электроэнергии составляет 87%, оставляя для ГЭС и других источников возобновляемой энергии 13%. При этом действующие ТЭС потребляют 65% общего объема поставок угля. Как результат, с увеличением производства и потребления электроэнергии существенно возрастет потребление топлива, а также экологическая нагрузка на окружающую среду.

В обозримой перспективе уголь будет по-прежнему играть значительную роль в энергетике страны. Сегодня угольная отрасль республики обеспечивает выработку в Казахстане 80% электроэнергии. По подтвержденным запасам угля Казахстан занимает 8 место в мире и содержит в недрах 4 % от общемирового объема запасов.[2]

Наряду со значительными запасами ископаемого органического топлива Республика Казахстан обладает и обширными запасами возобновляемых ресурсов и источников энергии (солнечной, ветровой, гидравлической, геотермальной, энергии биомассы и твердых бытовых отходов (далее - ТБО), водородной и др. альтернативной энергетики). Технический потенциал возобновляемых ресурсов и источников энергии только по ветру составляет около 1 820 млрд. кВт.ч в год, что в 25 раз превышает объем потребления всех топливно-энергетических ресурсов республики Казахстан, а экономический потенциал определен более чем в 110 млрд. кВт.ч, что в 1,5 раза больше годового внутреннего потребления энергоресурсов в Республики Казахстан. С увеличением стоимости первичных топливно-энергетических ресурсов доля экономически обоснованного потенциала ветроэлектростанций будет возрастать.[3]

В соответствии с разработанным правительством РК планом, в период до 2015 года предполагается ввод новых генерирующих объектов общей мощностью 8164 МВт, в том числе за счет строительства новых – 5456 МВт и расширения действующих электростанций – 2708 МВт, а также реализация проектов по развитию НЭС РК и реабилитации электрических сетей РЭК.

Динамичное развитие энергетической отрасли Казахстана, все возрастающий интерес инвесторов, а также широкое внедрение и использование новейшего оборудования и технологий открывают новые горизонты сотрудничества отечественным и зарубежным компаниям, занятым в энергетической и смежных отраслях.

Правильное решение всех накопленных проблем позволит не только обеспечить энергетическую безопасность Казахстана, но и значительно расширить роль электроэнергетики в диверсификации отечественной экономики.

В мировой экономике энергосбережение за последние годы проявляет себя как самое надежное средство решения глобальной энергетической проблемы, которая характеризуется снижением запасов и истощаемостью невозобновляемых топливно-энергетических ресурсов, экологическими проблемами, связанными со снижением выбросов парниковых газов.

Опыт развитых стран показывает, что вложение средств в энергосбережение стало полноправной альтернативой строительству энергетических объектов, а в ряде случаев даже более целесообразным.

Потенциал возобновляемых источников энергии значительно превосходит потребление энергии всем населением Земли как сейчас, так и в будущем.[4]

Таблица 1

Оценка глобального потенциала возобновляемой энергии

Наименование ресурса	Ресурсная база, ТВт	Экономически эффективны, ТВт
Солнечное излучение	90 000	1000
Ветер	1200	10
Волны	3	0,5
Приливы	30	0,1
Геотермальные потоки	30	-
Биомасса на корню, ТВт/год	450	-
Геотермальное тепло	1011	> 50

По поверхности Земли ресурсы возобновляемой энергии распространены значительно равномернее и доступнее, чем залежи угля, нефтяные и газовые месторождения или уран. В настоящее время доля возобновляемых ресурсов в производстве всех видов энергии в мире занимает порядка 13,5 %, доля возобновляемых ресурсов в производстве электроэнергии - 18 %. Прогнозируется дальнейший рост доли возобновляемых источников энергии.

Поэтому одним из приоритетных направлений развития электроэнергетики и решения экологических проблем Казахстана является использование возобновляемых источников энергии, оно составляет 0,5%. Согласно целевым показателям Государственной программы по форсированному индустриально-инновационному развитию Республики Казахстан (далее - ГПФИИР), в 2014 году достижение объема вырабатываемой электроэнергии возобновляемыми источниками энергии должно составить - 1 млрд. кВт.ч в год, что более 1 % от общего объема электропотребления. При этом стратегической целью в сфере энергетики «О стратегическом плане развития Республики Казахстан до 2020 года» доля использования альтернативных источников энергии к 2020 г. составит более 3 % в общем объеме энергопотребления.[5]

Для территории Казахстана наиболее перспективны следующие виды возобновляемых источников энергии: ветроэнергетика; малые гидроэлектростанции; солнечные установки для производств тепловой и электрической энергии.

Таблица 2

Выработка электроэнергии

	Германия	Россия
ТЭС	58%	66%
АЭС	36%	14%
ГЭС	5%	19%
другие	1%	<1%

Таблица 3

Стоимость 1 кВтч электроэнергии

	США, цент.	Россия, коп
ТЭС	3,0	20,3
АЭС	1,8	15
ГЭС	-	3,0
ВЭС	2,5	25,0
СЭС	-	30,0
ПЭС	-	3,0

Одним из наиболее развивающихся видов возобновляемых источников энергии в мире выступает ветроэнергетика. С географической и метеорологической точки зрения Казахстан является благоприятной страной для крупномасштабного использования ветроэнергетики

Использование энергии ветра развивается наиболее динамично. В США за 2003-2005 годы установлено около 4500 МВт - ветроагрегатов, или почти столько же, сколько было установлено за все предыдущие годы. В целом по миру за 2 последних года установленные мощности ветроэнергетики выросли в 1,5 раза и составляют более 60000 МВт.

Таблица 4

Динамика развития ветроэнергетики (МВт)

Страна	годы		
	2003	2004	2005
Германия	14609	16628	18427
Испания	6202	8263	10027
США	6370	6740	9149
Индия	2110	2985	4430
Китай	567	764	1260
Япония	506	896	1040
Франция	248	386	757
Норвегия	100	276	276
Россия	10	10,8	14
Европа	28730	34616	40932
Весь мир	39293	47617	58982

По экспертным оценкам, ветроэнергетический потенциал Казахстана оценивается в 929 млрд. кВт.ч. электроэнергии в год. Исследования, проведенные в рамках совместного с Программой развития ООН (далее – ПРООН) проекта по ветроэнергетике, показали наличие хорошего ветрового климата и условий для строительства ВЭС в Южной, Западной, Северной и в Центральной зонах Казахстана. Наличие свободного пространства в этих районах позволяет развивать мощности ВЭС до тысячи мегаватт.

Казахстан исключительно богат ветроэнергетическими ресурсами. На большей территории страны среднегодовые скорости ветра составляют 4-5 м/с, а в ряде регионов превышают 6 м/с, что создает хорошие условия для развития ветроэнергетики. По экспертным оценкам, величина потенциала ветроэнергетики в Казахстане составляет порядка 1820 млрд. кВт.ч в год, и возможности его использования ограничиваются только потребностями в энергии и возможностями энергетической системы балансировать мощность ветроэлектростанций.

Значительными ветровыми ресурсами обладает центральная часть Казахстана, побережье Каспийского моря, ряд районов на юго-востоке Казахстана. Например, ветроэнергетический потенциал Джунгарских ворот оценивается в 37 млн. кВт.ч/км². По оценкам международных экспертов Джунгарские ворота являются одним из лучших мест в мире для развития ветроэнергетики.

В связи с увеличением спроса на электроэнергию и генерирующую мощность, тарифы будут продолжать увеличиваться и могут составить 7-10 тенге/кВт.ч для удаленных регионов уже в ближайшей перспективе. Таким образом, использование ветроэнергетики является экономически обоснованным уже сейчас, начиная с обеспечения энергоснабжения небольших населенных пунктов, не имеющих надежного централизованного электроснабжения, либо не подключенных к ним. В целях поддержки использования возобновляемых источников энергии 4 июля 2009 года был принят Закон Республики Казахстан «О поддержке использования возобновляемых источников энергии».

Законом предусматривается ряд мер по поддержке возобновляемых источников энергии, в том числе: резервирование и приоритет при предоставлении земельных участков для строительства объектов возобновляемых источников энергии; обязательства энергопередающих организаций по покупке электроэнергии, произведенной с использованием возобновляемых источников энергии; освобождение возобновляемых источников энергии от платы за транспорт электроэнергии по сетям; поддержка при подключении объектов по использованию возобновляемых источников энергии к сетям энергопередающей организации, предоставление физическим и юридическим лицам, осуществляющим проектирование, строительство и эксплуатацию объектов по использованию возобновляемых источников энергии, инвестиционных преференций в соответствии с законодательством Республики Казахстан об инвестициях.

Во исполнение плана мероприятий правительства Республики Казахстан по реализации Государственной программы по форсированному индустриально-инновационному развитию, министерством разработан проект «Отраслевой программы развития электроэнергетики на 2010-2014 годы» (далее – проект Программы). Одним из разделов проекта Программы является развитие и использование возобновляемых источников энергии, а также привлечение инвестиций в данной сфере.

Стоимость строительства электростанции (условно тенге/кВт)

ТЭС	500
АЭС	1250
ГЭС	1650
ВЭС	1500
СЭС	1500
ПЭС	2500

Поэтому Республика Казахстан испытывает недостаток инвестиций в индустрию производства электроэнергии - по предварительным оценкам, в течение следующих 15 лет потребуется около 15 млрд. долларов США, а в перспективе до 2030 года - 24 млрд. долларов США.

Ожидается, что в Казахстане произойдет увеличение спроса на энергию еще на 50 % в течение последующих 10-12 лет (до 2018 года).

Выводы. В связи с увеличением спроса на электроэнергию и генерирующую мощность, тарифы будут продолжать увеличиваться и могут составить 7-10 тенге/кВт.ч для удаленных регионов уже в ближайшей перспективе. Таким образом, использование ветроэнергетики является экономически обоснованным уже сейчас, начиная с обеспечения энергоснабжения небольших населенных пунктов, не имеющих надежного централизованного электроснабжения, либо не подключенных к ним. В целях поддержки использования возобновляемых источников энергии 4 июля 2009 года был принят Закон Республики Казахстан «О поддержке использования возобновляемых источников энергии».

Список литературы

1. Стратегия эффективного использования энергии и возобновляемых ресурсов Республики Казахстан в целях устойчивого развития до 2024 года. Астана-2010.
2. Андрижиевский А.А., Володин В.И. Энергосбережение и энергетический менеджмент: Учеб. пособие. — Минск: Вышэйш. шк., 2005. — 294 с.
3. Данияров Н., Малыбаев С., Келисбеков А. Использование топливно-энергетических ресурсов на железнодорожном транспорте // Промышленность Казахстана. — 2012. — № 2 (71). — С. 24 — 26.
4. Каренов Р.С. Формирование рынка минерально-сырьевых ресурсов
5. <http://www.regnum.ru/news/economy/813613.html#ixzz3T09USgMx>

References

1. Strategy of effective use of energy and renewable resources of the Republic of Kazakhstan for a sustainable development till 2024. Astana-2010
2. Andrizhiyevsky A.A., Volodin V. I. Energy saving and power management: Studies. grant. - Minsk: Vysheysh. sh., 2005. - 294 p.
3. Daniyarov N., Malybayev S., Kelisbekov A. Use of fuel and energy resources on railway transport//the Industry of Kazakhstan. - 2012. - No. 2 (71). -24-26p.
4. Karenov R. S. Formation of the market of mineral raw material resources.
5. <http://www.regnum.ru/news/economy/813613.html#ixzz3T09USgMx>

ПРИКЛАДНАЯ МАТЕМАТИКА И МЕХАНИКА

УДК 519.633

**АСИМПТОТИКА РЕШЕНИЯ СИНГУЛЯРНО ВОЗМУЩЕННОГО ПАРАБОЛИЧЕСКОГО
УРАВНЕНИЯ С КВАДРАТИЧНОЙ НЕЛИНЕЙНОСТЬЮ**

Омуралиев А.С., проф. док. 720044, Бишкек, проспект Мира, 56, Кыргызско-Турецкий университет “Манас”, e-mail: asan.omuraliev@mail.ru,

Кожошова А. Ж., КГТУ им. И.Раззакова, 720044, г.Бишкек, пр. Мира 66, e-mail: mooriam@gmail.com

В данной статье, строится асимптотика решения сингулярно возмущенного дифференциального уравнения параболического типа, содержащего квадратичную нелинейность. С позиции метода регуляризации для сингулярно возмущенных задач впервые изучается нелинейное, сингулярно возмущенное уравнение.

Ключевые слова: Сингулярно возмущенная параболическая задача, асимптотика, метод регуляризации.

**ASYMPTOTICS OF SOLUTIONS THE SINGULARLY PERTURBED PARABOLIC EQUATIONS WITH
QUADRATIC NONLINEARITY.**

Omuraliyev A. S., Prof.Dr., Turkey University "Manas", 56 Mir avenue, 720044, Bishkek, Kyrgyzstan, e-mail: asan.omuraliev@mail.ru

Kozhoshova A. Zh., KSTU named after I. Razzakov, 66 Mir avenue, 720044, Bishkek, Kyrgyzstan, e-mail: mooriam@gmail.com

In this thesis we construct an asymptotic solution of singularly perturbed differential equation of parabolic type containing quadratic nonlinearity. From the position of the regularization method of singularly perturbed problems the nonlinear singularly perturbed equation is being studied for the first time in this thesis.

Keywords: singularly perturbed parabolic problem, asymptotic behavior, regularization method.

П.1. ВВЕДЕНИЕ

Асимптотическому решению сингулярно возмущенного линейного дифференциального уравнения параболического типа посвящены работы [1]-[3]. В данной работе, с позиции метода регуляризации для сингулярно возмущенных задач, впервые изучается нелинейное сингулярно возмущенное уравнение

$$L_\varepsilon \equiv \partial_t u - \varepsilon^2 a(x) \partial_x^2 u - u^2(x, t, \varepsilon) = 0, \quad (x, t) \in \Omega$$

$$u|_{t=0} = h(x), \quad u|_{x=0} = 0, \quad (1)$$

когда малый параметр $\varepsilon \rightarrow 0$, здесь $\Omega = \{(x, t): x \in (0, \infty), t \in (0, T]\}$.

Задача (1) изучается при следующих приближениях:

- 1) существует гладкое решение задачи Коши для вырожденного уравнения $\partial_t V = V^2(x, t)$, $V(x, 0) = h(x)$;
- 2) функция $a(x) > 0, \forall x \in [0, \infty)$ и $a(x) \in C^\infty[0, +\infty)$;
- 3) согласованы начальные и граничные условия $h(0) = 0$.

П.2. РЕГУЛЯРИЗАЦИЯ ЗАДАЧИ

Для регуляризации сингулярно возмущенной задачи (1) введем регуляризующие функции

$$\tau = \frac{t}{\varepsilon}, \quad \xi = \frac{\varphi(x)}{\varepsilon}, \quad \varphi(x) = \int_0^x \frac{ds}{\sqrt{a(s)}} \quad (2)$$

и объявим их, наряду с переменными (x, t) , независимыми переменными расширенной функции $\tilde{u}(M, \varepsilon)$, $M = (x, t, \xi, \tau)$. Расширенная функция $\tilde{u}(M, \varepsilon)$ вводится так, чтобы ее сужение посредством регуляризующих функций совпало с искомой функцией

$$\tilde{u}(M, \varepsilon)|_{\eta=\psi(x, t, \varepsilon)} \equiv u(x, t, \varepsilon), \quad \eta = (\tau, \xi), \quad \psi(x, t, \varepsilon) = \left(\frac{t}{\varepsilon}, \frac{\varphi(x)}{\varepsilon} \right). \quad (3)$$

С учётом (2), найдем из (3) производные

$$\partial_t u \equiv \left(\partial_t \tilde{u} + \frac{1}{\varepsilon} \partial_\tau \tilde{u} \right)_{\eta=\psi(x, t, \varepsilon)}$$

$$\partial_x u = \left(\partial_x \tilde{u} + \frac{1}{\sqrt{\varepsilon^3}} \varphi'(x) \partial_\xi \tilde{u} \right)_{\eta=\psi(x, t, \varepsilon)},$$

$$\partial_x^2 = \left(\partial_x^2 u + \left(\frac{\varphi'(x)}{\sqrt{\varepsilon^3}} \right)^2 \partial_\xi^2 \tilde{u} + \frac{1}{\sqrt{\varepsilon^3}} L_1 \tilde{u} \right)_{\eta=\psi(x,t,\varepsilon)},$$

$$L_1 = 2\varphi'(x)\partial_{x\xi}^2 + \varphi''(x)\partial_\xi$$
(4)

На основании (1), (3), (4) для расширенной функции $\tilde{u}(M, \varepsilon)$ поставим задачу:

$$\begin{aligned} \widetilde{L_\varepsilon} \tilde{u} &\equiv \frac{1}{\varepsilon} (\partial_\tau \tilde{u} - \partial_\xi^2 \tilde{u}) - \sqrt{\varepsilon} L_\xi \tilde{u} - \tilde{u}^2(M, \varepsilon) + \partial_t \tilde{u} - \varepsilon^2 L_x \tilde{u} = 0 \\ \tilde{u}|_{t=\tau=0} &= h(x), \quad \tilde{u}|_{x=\xi=0} = 0 \\ L_\xi &\equiv a(x)L_1, \quad L_x = a(x)\partial_x^2 \end{aligned}$$
(5)

причем имеет место тождество

$$\widetilde{L_\varepsilon} \tilde{u}(M, \varepsilon)|_{\eta=\psi(x,\varepsilon)} \equiv L_\varepsilon u(x, t, \varepsilon)$$
(6)

Расширенная задача (5) является регулярной по ε при $\varepsilon \rightarrow 0$, поэтому решение этой задачи ищем в виде ряда

$$\tilde{u}(M, \varepsilon) = \sum_{i=0}^{\infty} (\sqrt{\varepsilon})^i u_i(M)$$
(7)

П.3. ИТЕРАЦИОННЫЕ ЗАДАЧИ

Подставим ряд (7) в задачи (5) и приравняем коэффициенты при одинаковых степенях ε , при этом для коэффициентов получим следующие итерационные задачи:

$$\begin{aligned} Tu_0(M) &\equiv \partial_\tau u_0 - \partial_\xi^2 u_0 = 0, \quad Tu_1(M) = 0, \\ Tu_2(M) &= u_0^2(M) - \partial_t u_0, \quad Tu_3(M) = 2u_0 u_1(M) - \partial_t u_1 + L_\xi u_0, \\ Tu_i(M) &= -\partial_t u_{i-2} + 2u_0(M)u_{i-2}(M) + P(u_1, \dots, u_{i-3}) + L_3 u_{i-3} + L_x u_{i-5} \\ u_0|_{t=\tau=0} &= h(x), \quad u_i|_{t=0} = 0 \quad \forall i \geq 1, \quad u_i|_{x=0, \xi=0} = 0 \end{aligned}$$
(8)

Решением задачи (8) при $i = 0, 1$ является

$$u_v(M) = V_v(x, t) + C_v(x, t) \operatorname{erfc} \left(\frac{\xi}{2\sqrt{\tau}} \right), \quad v = 0, 1.$$
(9)

Непосредственно подставив эту функцию в уравнение (8) при $i = 0, 1$, убеждаемся, что она удовлетворяет его. Краевые условия дают соотношения

$$\begin{aligned} V_0(x, 0) &= h(x), \quad V_1(x, 0) = 0, \quad C_v(x, 0) = C_v^0(x), \\ C_v(0, t) &= -V_v(0, t), \quad v = 0, 1. \end{aligned}$$
(10)

Так как

$$\lim_{\tau \rightarrow 0} \operatorname{erfc} \left(\frac{\xi}{2\sqrt{\tau}} \right) = 0,$$

то в качестве начальной функции для $C_v(x, 0)$ выбираем произвольную функцию $C_v^0(x)$.

Перейдем к следующему уравнению (8) при $i = 2$, правая часть этого уравнения, после подстановки (9), примет вид

$$\begin{aligned} F_2(M) &= -\partial_t V_0 - \partial_t C_0(x, t) \operatorname{erfc} \left(\frac{\xi}{2\sqrt{\tau}} \right) + V_0^2(x, t) + \\ &+ 2V_0(x, t)C_0(x, t) \operatorname{erfc} \left(\frac{\xi}{2\sqrt{\tau}} \right) + \left(C_0(x, t) \operatorname{erfc} \left(\frac{\xi}{2\sqrt{\tau}} \right) \right)^2 \end{aligned}$$

Положим

$$\begin{aligned} \partial_t V_0(x, t) &= V_0^2(x, t), \\ \partial_t C_0(x, t) &= 2V_0(x, t)C_0(x, t), \end{aligned}$$
(11)

тогда функция $F_2(M)$ примет вид

$$F_2(M) = \left(C_0(x, t) \operatorname{erfc} \left(\frac{\xi}{2\sqrt{\tau}} \right) \right)^2$$

Согласно предположению 1) задачи (10), (11) разрешимы, из этих задач определим

$$V_0(x, t) \text{ и } C_0(x, t) = C_0^0(x)B(x, t), \quad B(x, t) = \exp(2 \int_0^t V_0(x, s) ds)$$

Решением уравнения (8) при $i = 2$, с такой правой частью будет функция

$$u_2(M) = V_2(x, t) + \omega_2(M),$$
(12)

если $\omega_2(M)$ будет решением уравнения

$$\partial_\tau \omega_2 = \partial_\xi^2 \omega_2 + \left(C_0(x, t) \operatorname{erfc} \left(\frac{\xi}{2\sqrt{\tau}} \right) \right)^2$$

Решением этого уравнения будет функция

$$\omega_2(M) = C_2(x, t) \operatorname{erfc} \left(\frac{\xi}{2\sqrt{\tau}} \right) +$$
(13)

$$+ \frac{1}{2\sqrt{\pi}} \int_0^{\tau} \int_0^{\infty} (C_0(x, t))^2 \frac{\left(\operatorname{erfc} \left(\frac{y}{2\sqrt{\mu}} \right) \right)^2}{\sqrt{(\tau - \mu)}} \left[\exp \left(-\frac{(\xi - y)^2}{4(\tau - \mu)} \right) - \exp \left(-\frac{(\xi + y)^2}{4(\tau - \mu)} \right) \right] dy d\mu,$$

причем для нее справедлива оценка (см.[3])

$$|\omega_2(M)| < c \exp \left(-\frac{\xi^2}{8\tau} \right).$$

Удовлетворяя функцию (12), с учетом (13), краевым условием (8) при $i = 2$, получим

$$V_2(x, 0) = 0, \quad C_2(x, 0) = C_2^0(x), \quad C_2(0, t) = -V_2(0, t), \quad (14)$$

здесь $C_2^0(x)$ – произвольная функция.

В следующем шаге итерационное уравнение (8) при $i = 3$ имеет свободный член:

$$\begin{aligned} F_3(M) &= 2u_0(M)u_1(M) - \partial_t u_1(M) + L_{\xi} u_0(M) = \\ &= 2 \left[V_0(x, t) + C_0(x, t) \operatorname{erfc} \left(\frac{\xi}{2\sqrt{\tau}} \right) \right] \left[V_1(x, t) + C_1(x, t) \operatorname{erfc} \left(\frac{\xi}{2\sqrt{\tau}} \right) \right] - \\ &\quad - \left[\partial_t V_1 + \partial_t C_1(x, t) \operatorname{erfc} \left(\frac{\xi}{2\sqrt{\tau}} \right) \right] + \\ &\quad + a(x) [2\varphi'(x) \partial_x C_0(x, t) + \varphi''(x) C_0(x, t)] \partial_{\xi} \left(\operatorname{erfc} \left(\frac{\xi}{2\sqrt{\tau}} \right) \right). \end{aligned}$$

Обеспечивая разрешимость уравнения (8) при $i = 3$, положим

$$\begin{aligned} \partial_t V_1 &= 2V_0(x, t)V_1(x, t), \\ \partial_t C_1(x, t) &= 2V_0(x, t)C_1(x, t) + V_1(x, t)C_0(x, t) \\ 2\varphi'(x) \partial_x C_0(x, t) + \varphi''(x) C_0(x, t) &= 0. \end{aligned} \quad (15)$$

Первое уравнение имеет тривиальное решение, так как оно решается при нулевом начальном условии. В силу того, что начальное условие для второго уравнения выражается через $V_1(x, t)$, то и второе уравнение также имеет нулевое решение. а поэтому получим $u_1(M)=0$.

Подставим значение $C_0(x, t)$ в третье уравнение

$$2\varphi'(x) \frac{dC_0^0}{dx} B(x, t) + \varphi''(x) \partial_x B(x, t) C_0^0(x) = 0,$$

решая которое, при начальном условии

$$C_0^0(0) = -B^{-1}(0, t)V_0(0, t),$$

определим $C_0^0(x)$, а потом и $C_0(x, t)$.

На основании (15) свободный член $F_3(M)$ примет вид

$$F_3(M) = 2C_0(x, t)C_1(x, t) \left(\operatorname{erfc} \left(\frac{\xi}{2\sqrt{\tau}} \right) \right)^2,$$

что обеспечивает существование решения уравнения (8) при $i=3$ в классе непрерывно дифференцируемых решений. Это решение представимо в виде (12), (13).

Далее, проводя аналогичное рассуждение, можно показать, что $u_3(M)=0$ и, вообще, коэффициенты ряда (7) с нечетными номерами $u_{2i+1}(M)=0$.

Продолжая данный процесс, найдем все коэффициенты частичной суммы

$$u_{\varepsilon, n}(M) = \sum_{i=0}^n \varepsilon^i u_{2i}(M) \quad (16)$$

П.4. ОЦЕНКА ОСТАТОЧНОГО ЧЛЕНА

Сужение частичной суммы (16) посредством регуляризующей функции $\xi = \varphi(x)/\varepsilon$, на основании необходимого условия регуляризации (6), является формальным асимптотическим решением задачи (1).

Принимая во внимание (8) для функции $u_{\varepsilon, n}(M)$, получим задачу

$$\tilde{L}_{\varepsilon} u_{\varepsilon, n}(M) = f(x, t) + \varepsilon^{n+1} g_n(M), \quad (17)$$

где функция $g_n(M)$ равномерно ограничена по ε и непрерывна по M в изучаемой области для любого $n=0, 1, 2, \dots$. Производя сужение в (17), с учетом (6), получим задачу

$$\begin{aligned} L_{\varepsilon} u_{\varepsilon, n} \left(x, t, \frac{\varphi(x)}{\varepsilon} \right) &= f(x, t) + \varepsilon^{n+1} g_n \left(x, t, \frac{\varphi(x)}{\varepsilon} \right), \\ u_{\varepsilon, n} \left(x, t, \frac{\varphi(x)}{\varepsilon} \right) \Big|_{t=0} &= h(x), \quad u_{\varepsilon, n} \left(x, t, \frac{\varphi(x)}{\varepsilon} \right) \Big|_{x=0} = 0. \end{aligned} \quad (18)$$

Исходя из задач (1), (18), для остаточного члена $R_n(x, t, \varepsilon) = u(x, t, \varepsilon) - u_{\varepsilon, n}\left(x, t, \frac{\varphi(x)}{\varepsilon}\right)$, получим задачу

$$L_\varepsilon R_n(x, t, \varepsilon) = -\varepsilon^{n+1} g_n\left(x, t, \frac{\varphi(x)}{\varepsilon}\right), R_n(x, t, \varepsilon)|_{t=0} = R_n(x, t, \varepsilon)|_{x=0} = 0.$$

В наших предположениях функция $g_n\left(x, t, \frac{\varphi(x)}{\varepsilon}\right)$ равномерно ограничена по ε и непрерывна по x, t в изучаемой области для любого $n=0, 1, 2, \dots$. Справедлива следующая теорема об оценке остаточного члена.

Теорема. Пусть выполнены условия 1)-3). Тогда для достаточно малых $\varepsilon > 0$ имеет место следующая оценка:

$$|R_n(x, t, \varepsilon)| < c \varepsilon^{n+1}, \quad \forall n = 0, 1, 2, \dots$$

Список литературы

1. Ломов С.А. Введение в общую теорию сингулярных возмущений. – Москва.: Наука, 1981- 400 с.
2. Омуралиев А.С. Регуляризация сингулярно возмущенных параболических задач. – Бишкек, 2005 – 151 с.
3. Омуралиев А.С. Регуляризация двумерной сингулярно возмущенной параболической задачи//Журн.вычисл. математ. и математ.физики.- 2006, т.46, N 8. С.1423-1432.

References

1. Lomov S. A. Vvedenie v obshuyu teoriyu singulyarnih vozmusheniy.-Moskva. : Nauka, 1981-400 s.
2. Omuraliyev A. S. Regularizatsiya singulyarno vozmushennih parabolicheskikh zadach. – Bishkek, 2005 – 151 s.
3. Omuraliyev A. S. Regularizatsiya dvumernoi singulyarno vozmushennoi parabolicheskoi zadachi//Jurn.vichisl.matem. I matemat.fiziki.-2006, t.46, N 8. S.1423-1432.

УДК 532.517.4

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТУРБУЛЕНТНЫХ ТЕЧЕНИЙ В ОТКРЫТЫХ РАЗВЕТВЛЁННЫХ КАНАЛАХ

Жайнаков Аманбек Жайнакович, д.ф.-м.н, профессор, институт горного дела и горных технологий им. У.И.Асаналиева Кыргызского государственного технического университета им. И. Раззакова, Кыргызстан, 714000, г. Бишкек, пр. Чуй - 216, e-mail: jainakov-41@mail.ru

Калеева Анара Колбаевна, старший преподаватель, Кызыл-Кийский гуманитарно-педагогический институт Баткенского государственного университета, Кыргызстан, 715200, г. Кызыл-Кия, ул. Дехканская - 1, e-mail: Kaleeva79@mail.ru

Курбаналиев Абдикерим Ырысбаевич, д.ф.-м.н, профессор, Кызыл-Кийский гуманитарно-педагогический институт Баткенского государственного университета, Кыргызстан, 715200, г. Кызыл-Кия, ул. Дехканская - 1, e-mail: kurbanaliev@rambler.ru

Турганбаева Акпар Балтабаевна, преподаватель, Ошский государственный педагогический институт, Кыргызстан, г. Ош, ул. Н. Исанова – 73, e-mail: turganbaeva@mail.ru

Течение вязкой жидкости в различных разветвленных сетях открытых каналов часто встречается во многих гидротехнических сооружениях. При этом динамика потока в области перехода от одного канала в другой является слишком сложной. По сравнению с экспериментом трехмерное численное моделирование может быть полезно для получения более полного представления о динамике потока, что весьма существенно при составлении различных гидротехнических проектов. В данной работе представлены результаты численного моделирования турбулентных течений в открытом разветвленном канале. Для моделирования использовался открытый пакет OpenFOAM. Сравнение результатов расчета с соответствующими экспериментальными данными свидетельствует об адекватности использованной математической модели.

Ключевые слова: Разветвленный открытый канал, трехмерное моделирование, турбулентность, метод конечных объемов, OpenFOAM.

MODELING OF TURBULENT FLOWS IN OPEN CHANNEL JUCTIONS

Jainakov A. J., d.f.-m.n., professor, institute of mining and mining technology named after U. Asanaliyev under KSTU named after I. Razzakov, Kyrgyzstan, Bishkek, Chu prospect-216, e-mail: jainakov-41@mail.ru

Kaleeva A. K., senior teacher, Kyzyl-Kiya humanitarian pedagogic institute under Batken State University, Kyrgyzstan, 715200, Kyzyl-Kiya town, Dehkanskaya-1, e-mail: Kaleeva79@mail.ru

Kurbanaliev A. Y., Dr., professor, Kyzyl-Kiya humanitarian pedagogic institute under Batken state university, Kyrgyzstan, 715200, Kyzyl-Kiya town, Dehkanskaya-1, e-mail: kurbanaliev@rambler.ru

Turganbaeva Akpar Baltabaevna, teacher, Osh state pedagogic institute, Kyrgyzstan, Osh town, N. Isanov - 73, e-mail: turganbaeva@mail.ru

Viscous fluid flow in open-channel confluence is a common occurrence in many hydraulic structures. The dynamics of the flow in the junction of from one channel to another is too complicated. In comparison with experiment, three-dimensional numerical simulation can be useful for better understanding of the dynamics of the flow, which is very important in the preparation of various hydro technical projects. This paper presents the results of numerical simulation of turbulent flows in open channel junction. Open source package OpenFOAM was used for modeling. The comparison of the numerical results with the corresponding experimental data indicates the adequacy of the used mathematical model.

Keywords: Open channel junction, three dimensional modeling, turbulence, finite volume method, OpenFOAM.

Введение. Течение жидкостей в открытых каналах часто встречается в природе и технике. Типичными примерами таких течений являются течения в городских очистных сооружениях, оросительных и дренажных каналах и системах естественных речных каналов. Особый интерес к таким течениям связан с практическим интересом к ряду важных явлений, вызванных различными гидравлическими условиями: объединение, разъединение потоков, изменения уровня каналов из-за местных осадков, подмыва и эрозии боковых стенок каналов.

Некоторые из отличительных характеристик такого класса течений показаны на рис. 1.

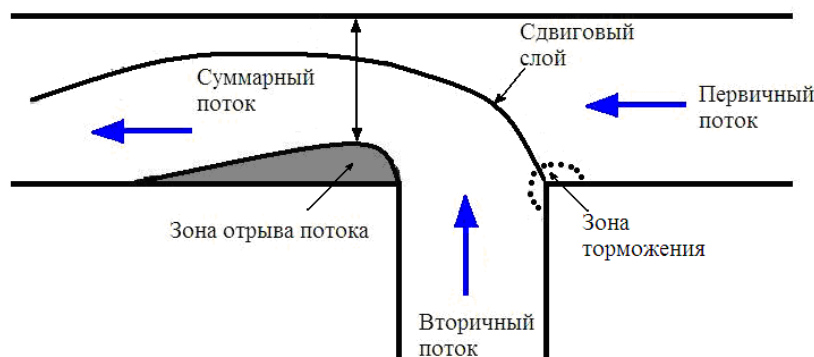


Рис. 1. Течение в канале с разветвлением 90° .

Здесь можно заметить зону отрыва, расположенную непосредственно за вторичным каналом, зону торможения перед вторичным каналом, размер которой зависит от расходов первичного и вторичного потоков, а также образование сдвигового слоя из-за взаимодействия двух потоков, имеющих разные расходы. Исследование гидродинамических характеристик таких течений, в силу ряда особенностей, является актуальным.

При решении ряда инженерных практических задач, таких как регулирование пропускной способности каналов зависимости от выбора их геометрических параметров и характера крепления, прогнозирование русловых процессов в реках с учетом многообразия факторов, влияющих на эти процессы, возникает необходимость проведения расчетов гидродинамических характеристик потока в поперечном сечении русел рек и каналов. Поставленная задача является достаточно сложной даже для установившегося режима движения в призматических руслах. Наименее изучены следующие вопросы: выбор модели турбулентного движения, позволяющей получить поля осредненных скоростей, касательных напряжений, а также характеристик пульсационного движения в поперечных сечениях различной формы; влияние формы сечений на вышеперечисленные величины, пропускную способность, коэффициенты сопротивлений; моделирование граничных условий с учетом шероховатости.

Цель работы заключается в проверке возможности открытого пакета OpenFOAM[1] для моделирования вязкого течения несжимаемой жидкости в открытых каналах.

Краткое сведение о использованном пакете OpenFOAM.

OpenFOAM - это перспективное и динамично развивающееся открытое программное обеспечение для моделирования задач механики сплошных сред. OpenFOAM обладает большой функциональностью и соответствует всем основным требованиям, предъявляемым к современному программному обеспечению для расчета широкого класса задач вычислительной гидродинамики.

В пакете есть готовые решатели для различных физических задач механики сплошных сред. Дифференциальные уравнения в частных производных записываются в форме тех или иных математических операторов и решаются методом конечных объемов на произвольной расчетной сетке с многогранными ячейками. Это позволяет вносить изменения в решатель, например, добавлять новые слагаемые в уравнения, что значительно расширяет возможности пакета OpenFOAM.

Платформа OpenFOAM работает с программным интерфейсом MPI, что позволяет разбивать расчетную область на части и проводить вычисления параллельно, используя одновременно до 2000 ядер. При этом можно

использовать как структурированные, так и неструктурированные сетки. Все используемые в OpenFOAM величины имеют размерные единицы системы СИ. Как обычно, численное решение задачи состоит из трех этапов, включающих создание расчетной сетки, сам численный расчет и визуализацию полученных данных. В OpenFOAM входят утилиты для создания сетки, кроме них можно использовать и другие программы. Для визуализации результатов используется приложение ParaView [3], которое устанавливается вместе с OpenFOAM. Можно выполнять процедуру визуализации с помощью других программ. Для этого необходимо конвертировать соответствующие файлы в нужный формат с помощью утилит OpenFOAM.

Математическая модель. Рассматриваемый класс течений описывается усредненными по Рейнольдсу трехмерными уравнениями Навье-Стокса, которые при отсутствии массовых сил имеют следующий вид [2, с. 293]:

$$\frac{\partial}{\partial x_j}(\rho \bar{u}_i) = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial}{\partial x_j}(\rho \bar{u}_i \bar{u}_j + \rho \overline{u'_i u'_j}) = -\frac{\partial \bar{p}}{\partial x_i} + \frac{\partial \bar{\tau}_{ij}}{\partial x_i} + \rho g_i \quad (2)$$

где u_i – компоненты средней скорости, ρ – плотность, $\bar{p}$ – среднее давление, $\bar{\tau}_{ij} = \mu \left(\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_i} \right)$

– тензор вязких напряжений, связанный с молекулярной вязкостью μ , $\rho \overline{u'_i u'_j}$ – напряжения Рейнольдса, требующие моделирования. Усреднение производится по времени, а штрих относится к флуктуационной части.

Замыкание систем уравнений (1-2) основано на $k - \varepsilon$ – модели турбулентности, согласно которой кинетическая энергия турбулентности k и скорость ее диссипации ε определяются из следующих транспортных уравнений [2, стр. 295-296]:

$$\frac{\partial(\rho \bar{u}_i k)}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} + P_k - \rho \varepsilon \quad \frac{\partial(\rho \bar{u}_i \varepsilon)}{\partial x_i} = C_{\varepsilon 1} P_k \frac{\varepsilon}{k} - \rho C_{\varepsilon 2} \frac{\varepsilon^2}{k} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j}$$

где $P_k = \mu_t \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \frac{\partial u_i}{\partial x_j}$ – скорость генерации энергии турбулентности средним течением, а

коэффициенты модели имеют следующие стандартные значения:
 $C_{\mu} = 0.09$; $C_{\varepsilon 1} = 1.44$; $C_{\varepsilon 2} = 1.92$; $\sigma_k = 1.0$; $\sigma_\varepsilon = 1.3$.

При этом в стандартной $k - \varepsilon$ – модели турбулентности напряжения Рейнольдса вычисляются как произведение изотропной вихревой вязкости на локальную скорость тензора вязких напряжений. Вихревая вязкость определяется как произведение локальной длины турбулентности и масштаба скорости турбулентности $\sqrt{k}$. Здесь k – кинетическая энергия турбулентности на единицу объема и длины турбулентности определяется из скорости диссипации кинетической энергии турбулентности ε на единицу объема.

Методы дискретизации и методы решения СЛАУ. Дискретизация расчетной области в OpenFOAM осуществлялся при помощи утилиты blockMesh, которая создает конечное число контрольных объемов гексаэдральной формы, а дискретная форма получается методом контрольных объемов [2, стр.71]. Использование разностной схемы против потока для конвективных и Gauss linear схемы для диффузионных членов дает приемлемую точность численных расчетов. Численное решение связанных через давление стационарных уравнений основывалось на методе SIMPLE [2, стр.176].

Для решения полученной системы линейных алгебраических уравнений (СЛАУ) использовались итерационные решатели PCG и PBiCG – методы сопряженных и бисопряженных градиентов с предобуславливанием [2, стр.110]. Процедуры, основанные на упрощенной схеме неполной факторизации Холецкого DIC и на упрощенной неполной LU факторизации DILU, были использованы в качестве предобусловителя.

Более детальную информацию о граничных и начальных условиях, методах дискретизации и решения систем алгебраических уравнений можно найти в [1].

Постановка задачи. Геометрия рассматриваемой задачи без сохранения пропорции приведена на рис. 2 и соответствует условиям экспериментальной работы [3]. Линейные размеры приведены в системе СИ.

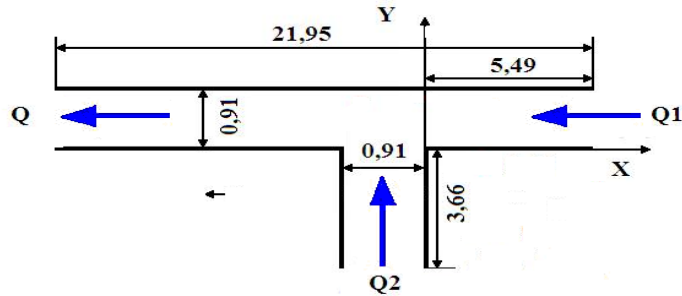


Рис. 2. Геометрия задачи

Суммарный расход Q во всех расчетах был постоянным и равнялся величине $0,17\text{ м}^3/\text{с}$. Координаты представлены в единицах ширины канала $w=0,91\text{ м}$. Глубина водного потока на выходе из трубы была постоянной и равной $h=0,296\text{ м}$. Скорость потока на выходе равнялась величине $U_0=0,628\text{ м/с}$, что соответствует числу Рейнольдса $Re = 186000$. Расчеты были проведены для двух значений отношения $q=0,75$ и $q=0,25$ расходов главного канала $Q1$ к суммарному расходу Q .

Результаты численных расчетов и обсуждение. Определение уровня турбулентного водного потока имеет существенное практическое значение при проектировании различных гидротехнических сооружений. На рис. 3 представлено сравнение численных данных по продольной скорости u (сплошная линия) с соответствующими экспериментальными данными (точки) для различных сечений вниз по потоку. Здесь координаты представлены в единицах ширины канала, а скорость нормирована на величину U_0 . Характер изменения численных результатов вполне соответствуют экспериментальным данным, и совпадение между ними можно признать удовлетворительным.

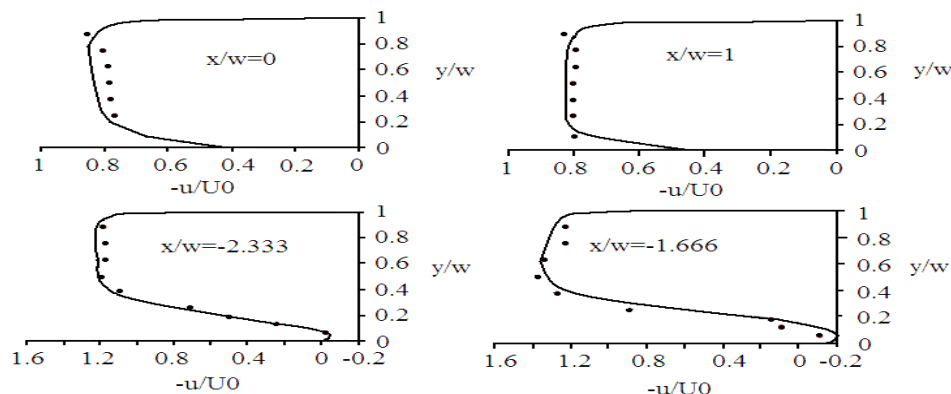


Рис. 3. Профили продольной скорости.

Проведенные методические расчеты при разных значениях отношения расходов q показывают, что структура течения и размер зоны рециркуляции зависят от этой величины. Увеличение q приводит к тому, что течение за стыком быстрее достигает равномерного условия.

Выводы. В данной работе представлены результаты численного моделирования турбулентных течений в открытом разветвленном канале с углом 90° . Для моделирования использовался открытый пакет OpenFOAM. Сравнение результатов расчета с соответствующими экспериментальными данными свидетельствует об адекватности использованной математической модели.

Список литературы

1. OpenFOAM 2.3 user' guide. – Available at: <http://cfcdirect/openfoam/user-guide/>. (Accessed April 14 2015).
2. Ferziger J. H., Peric M. Computational Methods for Fluid Dynamics. New York. Springer Verlag, 2002. 423 p.
3. Shumate, E.D. Experimental Description of Flow at an Open Channel Junction. Master Thesis, University of Iowa, Iowa, USA. 1998.

References

1. www.openfoam.org/docs/. OpenFOAM 2.3 user 'guide.
2. Ferziger J.H, Peric M. Computational Methods for Fluid Dynamics. New York. Springer Verlag, 2002. 423 p.
3. Shumate, E.D. Experimental Description of Flow at an Open Channel Junction. Master Thesis, University of Iowa, Iowa, USA.

РЕГУЛЯРИЗАЦИЯ И ЕДИНСТВЕННОСТЬ РЕШЕНИЙ ЛИНЕЙНЫХ ИНТЕГРАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ ВОЛЬТЕРРА ПЕРВОГО РОДА НА ОСИ

Асанов Авыт, д.ф.-м.н., профессор, КТУ «Манас», Кыргызстан, 720044, г. Бишкек, пр. Мира 56, e-mail: avyt.asanov@mail.ru

Камбарова Айсалкын Даминовна, преподаватель, ОшГУ, Кыргызстан, 723500, г. Ош, ул. Курманжан Датка 331, e-mail: aysalkun.kambarova@mail.ru

Целью данной статьи является нахождение достаточных условий единственности решения и построение регуляризирующего оператора по Лаврентьеву М.М. для линейных интегральных уравнений Вольтерра первого рода на оси. Линейные интегральные уравнения Вольтерра первого рода применяются в различных прикладных задачах, в частности, в задачах сейсмологии. Чтобы выполнить поставленную цель, авторы сначала построили регуляризирующие операторы по Лаврентьеву М.М. для решения данного интегрального уравнения первого рода. Затем доказали теорему единственности. При исследовании данной задачи авторы применили метод, предложенный Иманалиевым М.И. и Асановым А. Особенностью этого метода является то, что от ядра не требуется гладкость ядра данного интегрального уравнения. Кроме того, не требуется гладкость от решения данного линейного интегрального уравнения первого рода. Показан конкретный пример, иллюстрирующий результаты данной работы. Этот пример решен на основе предложенного метода.

Ключевые слова: линейные, интегральные, уравнения Вольтерра, первого рода, регуляризация по Лаврентьеву М.М., единственность, пример.

REGULARIZATION AND UNIQUENESS SOLUTION OF THE LINEAR VOLTERRA INTEGRAL EQUATIONS ON THE FIRST KIND ON THE AXIS

Asanov A., PhD (Mathematics), professor, Kyrgyzstan, 720044, c.Bishkek, KTMU, e-mail: avyt.asanov@mail.ru

Kambarova A. D., lecturer, Kyrgyzstan, 723500, c.Osh, OshSU, e-mail: aysalkun.kambarova@mail.ru

The purpose of this article is to find sufficient conditions for the uniqueness of the solution and the construction of a regularizing operator M.M. Lavrentiev for linear Volterra integral equations of the first kind on the axis. Volterra integral equations of the first kind are used in various applications, in particular in the problems of seismology. To complete the first objective of the authors built a regularizing operator for M.M. Lavrentiev to solve this integral equation of the first kind. Then prove a uniqueness theorem. In the study of this problem, the authors applied the method proposed by M. Imanaliev and A. Asanov feature of this method is that the nucleus is not required smoothness of the kernel of the integral equation. Also, do not require smoothness of solutions of linear integral equations of the first kind. Shows a specific example illustrating the results of this work. This example is solved on the basis of the proposed method.

Keywords: linear integral equations of Volterra, the first kind MM Lavrentiev regularization, the only example.

Рассмотрим уравнение

$$\int_{-\infty}^t K(t,s)u(s)ds = f(t), \quad t \in (-\infty, +\infty) \quad (1)$$

где $a(t)$ и $f(t)$ – заданные функции, $u(t)$ – неизвестная функция.

Различные вопросы для интегральных уравнений Вольтерра первого и третьего рода исследованы в работах [1-6]. В частности, в работе [4] доказаны теоремы единственности и построен регуляризирующий оператор для систем интегральных уравнений Вольтерра первого рода на отрезке. В данной работе построен регуляризирующий оператор и доказана теорема единственности для решения уравнения (1).

Наряду с уравнением (1) будем рассматривать уравнение

$$\varepsilon v(t, \varepsilon) + \int_{-\infty}^t K(t,s)v(s, \varepsilon)ds = f(t) + \varepsilon u_0, \quad (2)$$

где $0 < \varepsilon$ – малый параметр, $u_0 = \lim_{t \rightarrow -\infty} u(t)$, $u(t)$ – решение уравнения (1).

Введем обозначения:

1) Обозначим через $C(-\infty, +\infty)$ пространство всех функций $u(t)$ – непрерывных и ограниченных на $(-\infty, +\infty)$, $\|\cdot\|_C$ – норма в $C(-\infty, +\infty)$, т.е. для любого $u(t) \in C(-\infty, +\infty)$

$$\|u(t)\|_C = \sup_{t \in (-\infty, +\infty)} |u(t)|.$$

2) Через $L_1(-\infty, +\infty)$ обозначим пространство всех функций $u(t)$, таких, что

$$\int_{-\infty}^{+\infty} |u(t)| dt < \infty.$$

3) Обозначим через $C_0(-\infty, +\infty)$ – пространство всех функций $u(t) \in C(-\infty, +\infty)$, таких, что $\lim_{t \rightarrow -\infty} u(t) = u_0 \in R$.

$$\|u(t)\|_C = \sup_{t \in (-\infty, +\infty)} |u(t)|.$$

4) Через $L_{1,loc}(-\infty, +\infty)$ обозначим пространство всех функций $u(t)$, таких, что для любого $T \in (-\infty, +\infty)$

$$\int_{-\infty}^T |u(t)| dt < \infty.$$

5) Обозначим через $C_0^\gamma(-\infty, +\infty)$, $0 < \gamma \leq 1$, пространство всех функций $u(t) \in C_0(-\infty, +\infty)$, таких, что для любых $t_1, t_2 \in (-\infty, +\infty)$

$$|u(t_1) - u(t_2)| \leq M_0 \left| \int_{t_1}^{t_2} K(s, s) ds \right|^\gamma,$$

где положительная постоянная M_0 не зависит от t_1, t_2 , но зависит только от $u(t), K(t, t) \in L_{1,loc}(-\infty, +\infty)$ и $K(t, t) \geq 0$ при всех $t \in (-\infty, +\infty)$.

Предположим выполнение следующих условий:

а) $K(t, t) \geq 0$ при всех $t \in (-\infty, +\infty)$

$$\int_{-\infty}^t \|K(t, s)\| ds \in C(-\infty, +\infty), K(t, t) \in L_{1,loc}(-\infty, +\infty).$$

б) Для любых $t_1, t_2 \in (-\infty, +\infty)$,

$$|K(t_1, s) - K(t_2, s)| \leq l(s) \left| \int_{t_1}^{t_2} K(s, s) ds \right|,$$

где $0 \leq l(t)$ при всех $t \in (-\infty, +\infty)$, $l(t) \in L_1(-\infty, +\infty)$.

Решение уравнения (2) будем искать в виде

$$v(t, \varepsilon) = u(t) + \xi(t, \varepsilon). \quad (3)$$

Подставляя (3) в (2), имеем $\xi(t, \varepsilon) = -\frac{1}{\varepsilon} \int_{-\infty}^t K(s, s) \xi(s, \varepsilon) ds - \frac{1}{\varepsilon} \int_{-\infty}^t [K(t, s) - K(s, s)] \xi(s, \varepsilon) ds + [u_0 - u(t)]$.

Отсюда, используя резольвенту $R(t, s, \varepsilon) = -\frac{1}{\varepsilon} K(s, s) e^{-\frac{1}{\varepsilon} \int_s^t K(\tau, \tau) d\tau}$ ядра $[-\frac{1}{\varepsilon} K(s, s)]$, имеем

$$\begin{aligned} \xi(t, \varepsilon) = & -\frac{1}{\varepsilon} \int_{-\infty}^t [K(t, s) - K(s, s)] \xi(s, \varepsilon) ds + [u_0 - u(t)] + \\ & + \int_{-\infty}^t \frac{1}{\varepsilon} K(\tau, \tau) e^{-\frac{1}{\varepsilon} \int_\tau^t K(\tau, \tau) d\tau} \frac{1}{\varepsilon} \int_{-\infty}^\tau [K(\tau, s) - K(s, s)] \xi(s, \varepsilon) ds d\tau - \\ & - \frac{1}{\varepsilon} \int_{-\infty}^t K(\tau, \tau) e^{-\frac{1}{\varepsilon} \int_\tau^t K(\tau, \tau) d\tau} [u_0 - u(\tau)] d\tau. \end{aligned} \quad (4)$$

Применяя формулу Дирихле, уравнение (4) запишем в виде

$$\xi(t, \varepsilon) = \int_{-\infty}^t H(t, s, \varepsilon) \xi(s, \varepsilon) ds + \varphi(t, \varepsilon), t \in (-\infty, +\infty), \quad (5)$$

где

$$H(t, s, \varepsilon) = -\frac{1}{\varepsilon} [K(t, s) - K(s, s)] +$$

$$+ \frac{1}{\varepsilon^2} \int_s^t K(\tau, \tau) e^{-\frac{1}{\varepsilon} \int_\tau^t K(\tau, \tau) d\tau} [K(\tau, s) - K(s, s)] d\tau, \quad (t, s) \in G, \quad (6)$$

$$\varphi(t, \varepsilon) = u_0 - u(t) - \frac{1}{\varepsilon} \int_{-\infty}^t K(\tau, \tau) e^{-\frac{1}{\varepsilon} \int_\tau^t K(\tau, \tau) d\tau} [u_0 - u(\tau)] d\tau. \quad (7)$$

$$G = \{(t, s) : -\infty < s \leq t < +\infty\}, \quad t \in (-\infty, +\infty).$$

Теорема. Пусть выполняются условия а), б) и $u(t) \in C_0^Y(-\infty, +\infty)$, где $u(t)$ – решение уравнения (1). Тогда решение $v(t, \varepsilon)$ уравнения (2) при $\varepsilon \rightarrow 0$ стремится к решению $u(t)$ уравнения (1). При этом справедлива оценка

$$\|v(t, \varepsilon) - u(t)\|_C \leq M_2 \varepsilon^Y, \quad (8)$$

где $M_2 = M_1 \exp\{\int_{-\infty}^{\infty} l(s) ds\}$, $\forall t_1, t_2 \in (-\infty, +\infty)$,

$$|u(t_1) - u(t_2)| \leq M_0 \left| \int_{t_1}^{t_2} K(s, s) ds \right|^Y, M_1 = \sup_{v \geq 0} (e^{-v} v^Y) + \int_0^{\infty} e^{-v} v^Y dv.$$

Доказательство. Учитывая формулы

$$\begin{aligned} \frac{1}{\varepsilon} \int_s^t K(\tau, \tau) e^{-\frac{1}{\varepsilon} \int_\tau^t K(\tau, \tau) d\tau} d\tau &= 1 - e^{-\frac{1}{\varepsilon} \int_s^t K(\tau, \tau) d\tau} \\ \frac{1}{\varepsilon} \int_{-\infty}^t K(\tau, \tau) e^{-\frac{1}{\varepsilon} \int_\tau^t K(\tau, \tau) d\tau} d\tau &= 1 - e^{-\frac{1}{\varepsilon} \int_{-\infty}^t K(\tau, \tau) d\tau} \end{aligned}$$

из (6) и (7) получим

$$\begin{aligned} H(t, s, \varepsilon) &= -\frac{1}{\varepsilon} [K(t, s) - K(s, s)] e^{-\frac{1}{\varepsilon} \int_s^t K(\tau, \tau) d\tau} - \\ &- \frac{1}{\varepsilon^2} \int_{-\infty}^t K(\tau, \tau) e^{-\frac{1}{\varepsilon} \int_\tau^t K(\tau, \tau) d\tau} [K(t, s) - K(\tau, s)] d\tau, \end{aligned} \quad (9)$$

$$\varphi(t, \varepsilon) = -[u(t) - u_0] e^{-\frac{1}{\varepsilon} \int_{-\infty}^t K(\tau, \tau) d\tau} - \frac{1}{\varepsilon} \int_{-\infty}^t K(\tau, \tau) e^{-\frac{1}{\varepsilon} \int_\tau^t K(\tau, \tau) d\tau} [u(t) - u(\tau)] d\tau \quad (10)$$

Учитывая условие б), из (9) имеем

$$\begin{aligned} |H(t, s, \varepsilon)| &\leq l(s) \left[\frac{1}{\varepsilon} \int_s^t K(\tau, \tau) d\tau \right] e^{-\frac{1}{\varepsilon} \int_s^t K(\tau, \tau) d\tau} + \frac{1}{\varepsilon} \int_s^t K(\tau, \tau) e^{-\frac{1}{\varepsilon} \int_\tau^t K(\tau, \tau) d\tau} l(s) \left[\frac{1}{\varepsilon} \int_\tau^t K(\tau, \tau) d\tau \right] d\tau \\ &= l(s) \left[\frac{1}{\varepsilon} \int_s^t K(\tau, \tau) d\tau \right] e^{-\frac{1}{\varepsilon} \int_s^t K(\tau, \tau) d\tau} + l(s) \int_s^t \left[\frac{1}{\varepsilon} \int_\tau^t K(\tau, \tau) d\tau \right] d\tau \left[e^{-\frac{1}{\varepsilon} \int_\tau^t K(\tau, \tau) d\tau} \right] \end{aligned}$$

Отсюда, интегрируя по частям, получим

$$|H(t, s, \varepsilon)| \leq l(s) \int_s^t e^{-\frac{1}{\varepsilon} \int_\tau^t K(\tau, \tau) d\tau} K(\tau, \tau) d\tau = l(s) \left[1 - e^{-\frac{1}{\varepsilon} \int_s^t K(\tau, \tau) d\tau} \right].$$

Из последнего неравенства имеем

$$|H(t, s, \varepsilon)| \leq l(s), \quad (t, s) \in G = \{(t, s) : -\infty < s \leq t < +\infty\}. \quad (11)$$

В силу $u(t) \in C_0^Y(-\infty, +\infty)$, из (10) имеем

$$\begin{aligned} |\varphi(t, \varepsilon)| &\leq M_0 \left[\int_{-\infty}^t K(\tau, \tau) d\tau \right]^Y e^{-\frac{1}{\varepsilon} \int_{-\infty}^t K(\tau, \tau) d\tau} \\ &+ M_0 \int_{-\infty}^t \frac{1}{\varepsilon} K(\tau, \tau) e^{-\frac{1}{\varepsilon} \int_\tau^t K(\tau, \tau) d\tau} \left[\int_\tau^t K(\tau, \tau) d\tau \right]^Y d\tau \\ &= M_0 \varepsilon^Y \left[\frac{1}{\varepsilon} \int_{-\infty}^t K(\tau, \tau) d\tau \right]^Y e^{-\frac{1}{\varepsilon} \int_{-\infty}^t K(\tau, \tau) d\tau} \\ &- M_0 \varepsilon^Y \int_{-\infty}^t e^{-\frac{1}{\varepsilon} \int_\tau^t K(\tau, \tau) d\tau} \left[\frac{1}{\varepsilon} \int_\tau^t K(\tau, \tau) d\tau \right]^Y d\tau \left[\frac{1}{\varepsilon} \int_\tau^t K(\tau, \tau) d\tau \right] \leq \\ &\leq M_0 \varepsilon^Y \{ \sup_{v \geq 0} (e^{-v} v^Y) + \int_0^{\infty} e^{-v} v^Y dv \}. \end{aligned}$$

Отсюда получим

$$\|\varphi(t, \varepsilon)\|_C \leq M_0 M_1 \varepsilon^\gamma. \quad (12)$$

Учитывая (11) и (12), из (5) получим

$$|\xi(t, \varepsilon)| \leq \int_{-\infty}^t l(s) |\xi(s, \varepsilon)| ds + M_0 M_1 \varepsilon^\gamma, \quad t \in (-\infty, +\infty). \quad (13)$$

Применяя формулу Гронуолла-Белмана, из (13) имеем (8). Теорема доказана.

Следствие. Пусть выполняются условия а), б) и $K(t, t) > 0$ почти при всех $t \in (-\infty, +\infty)$. Тогда решение уравнения (1) единственно в пространстве $C_0^\gamma(-\infty, +\infty)$.

Доказательство. Пусть $u(t) \in C_0^\gamma(-\infty, +\infty)$ является решением уравнения (1) при $f(t) = 0$, $t \in (-\infty, +\infty)$. В этом случае сначала в силу условий а), б) доказываем, что $\lim_{t \rightarrow -\infty} u(t) = 0$. В самом деле

$$\int_{-\infty}^t K(t, s) u(s) ds = 0, \quad t \in (-\infty, +\infty).$$

Отсюда имеем

$$\int_{-\infty}^t K(s, s) u(s) ds = - \int_{-\infty}^t [K(t, s) - K(s, s)] u(s) ds, \quad t \in (-\infty, +\infty). \quad (14)$$

В силу условий а) и б), из (14) имеем

$$|u(t^*)| \int_{-\infty}^t K(s, s) ds = \left| \int_{-\infty}^t K(s, s) u(s) ds \right| \leq \int_{-\infty}^t l(s) \left[\int_s^t K(\tau, \tau) d\tau \right] ds \|u(t)\|_C,$$

где $-\infty < t^* \leq t < \infty$.

Из последнего неравенства получим

$$|u(t^*)| \leq \|u(t)\|_C \int_{-\infty}^t l(s) ds, \quad -\infty < t^* \leq t < +\infty$$

Отсюда вытекает, что

$$\lim_{t \rightarrow -\infty} |u(t^*)| = 0.$$

Далее в силу оценки (8) доказывается $u(t) = 0$ при всех $t \in (-\infty, +\infty)$.

Пример. Рассмотрим уравнения (1) и (2) при

$$K(t, s) = \frac{1}{1+s^2} \left[\frac{|s|}{1+s^2} + \int_s^t \frac{|s|}{(1+s^2)^2} ds \right], \quad (t, s) \in G. \quad (15)$$

В этом случае условия теоремы выполняются при

$$K(s, s) = \frac{|s|}{(1+s^2)^2}, \quad l(s) = \frac{1}{1+s^2}, \quad s \in (-\infty, +\infty).$$

В самом деле, в силу (15) для любых $t_1, t_2 \in (-\infty, +\infty)$ имеем

$$K(t_1, s) - K(t_2, s) = \frac{1}{1+s^2} \int_{t_2}^{t_1} \frac{|s|}{(1+s^2)^2} ds,$$

Отсюда

$$|K(t_1, s) - K(t_2, s)| \leq l(s) \left| \int_{t_1}^{t_2} K(s, s) ds \right|.$$

Поэтому утверждения теоремы справедливы для уравнения (1) и (2), когда $K(t, s)$ определяется по формуле (15).

Выводы. Полученный результат является важным вкладом в теорию интегральных уравнений и может быть применен для приближенного решения различных прикладных задач, в частности задач сейсмологии.

Список литературы

1. Магницкий Н.А. Линейные интегральные уравнения Вольтерра первого и третьего рода //Вычисл. матем. и матем. физики,- 1979, Т.19, № 4 – С.970-988.
2. Лаврентьев М.М., Романов В.Г., Шишатский С.Р. Некорректные задачи математической физики и анализ.- М: Наука, 1980. С.286.
3. Денисов А.М. О приближенном решении уравнения Вольтерра первого рода, связанного с одной обратной задачей для уравнения теплопроводности //Вести. Моск. ун-та, Сер.15 Вычисл. матем. и киберн.- 1980. №3, - С.49-52.
4. Иманалиев М.И., Асанов А. О решениях систем нелинейных интегральных уравнений Вольтерра первого рода //Докл. АН СССР,- 1989, - Т.309, № 5,- С.1052-1055.
5. Иманалиев М.И., Асанов А. О решениях систем нелинейных двумерных интегральных уравнений Вольтерра первого рода //Докл. АН СССР,- 1991, - Т.317, № 1,- С.22-35.
6. Иманалиев М.И., Асанов А. О решениях систем нелинейных интегральных уравнений Вольтерра третьего рода //Докл. РАН,- 2007, - т.415, № 1, с.14-17.

References

1. Magnitsky N.A. Linear Volterra Integral Equations of the first and third kind // Journ. Vychisl. Matem. i matem. fiziki. 1979, t.19, №4, p.970-988.
2. Lavrentev M.M., Romanov V.G., Shishatsky S.P. Ill-posed problems of mathematical physics and analysis. M.: Nauka, 1980, 286 p.
3. Denisov A.M. On the approximate solution of the Volterra equation of the first kind associated with an inverse problem for the heat equation // Vesti. Mosk. Univ-ta, Ser.15 Vychisl. matem. i kibern.- 1980. № 3, - p.49-52.
4. Imanaliev M.I., Asanov A. On solutions of systems of nonlinear Volterra integral equations of the first kind // Doklady AN SSSR, 1989, t-309, №5, p.1052-1055.
5. Imanaliev M.I., Asanov A. On solutions of systems of nonlinear two-dimensional Volterra integral equations of the first kind // Doklady AN SSSR, - 1991, - t.317, № 1, - p.22-35.
6. Imanaliev M.I., Asanov A. On solutions of systems of nonlinear Volterra integral equations of the third kind // Doklady RAN, - 2007, - t.415, № 1, p.14-17.

УДК 539.10

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ КОНФИГУРАЦИИ УПРУГОЙ ПЛАСТИНЫ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ ЕЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ

Дуйшеналиев Т.Б., Аскарбеков Р.Н., Искендер Козубай, Кыргызский государственный технический университет им. И.Раззакова, 720044, г.Бишкек, пр. Мира 66, e-mail: duishenaliev@mail.ru

В статье приводится пример расчета прямоугольной пластины. На основе нетрадиционного решения краевой задачи теории упругости произведен анализ напряженно-деформированного состояния пластины при значительных деформациях и перемещениях.

Ключевые слова: тензор Коши, тензор вращения, перемещение, деформированное состояние, кручение.

MATHEMATICAL DESCRIPTION OF THE ELASTIC PLATES CONFIGURATION AT CHANGE STRESS-STRAIN STATE

Duishenaliev T.B., Askarbekov R.N., Iskender Kozubai, Kyrgyz State Technical University named after I. Razzakov, Bishkek, Kyrgyz Republic, e-mail: duishenaliev@mail.ru

In this article provides an example of calculating a rectangular plate. On the basis of non-traditional solutions of the boundary value problem of elasticity theory analyzed the stress-strain state of the plate with large deformations and displacements.

Keywords: Cauchy tensor, the tensor of rotation, displacement, strain state, torsion.

В работе [1] приведена постановка статической краевой задачи в перемещениях и напряжениях. Установлен порядок составления уравнений равновесия в напряжениях, перемещениях, граничные условия, условия совместности деформаций в компонентах деформаций и напряжений. Предложен новый нетрадиционный подход к решению статической краевой задачи. Получено ее аналитическое решение. На основе этого решения можно установить напряженно-деформированное состояние многих конструкций и элементов.

Обратимся к конкретной задаче о равновесии прямоугольной пластины. В ней декларируется, что тело находится в равновесии в области V , заданной выражениями $-b/2 \leq x_1 \leq b/2$, $0 \leq x_2 \leq \ell$, $-h/2 \leq x_3 \leq h/2$ (рис.1).

Укажем внешние силы p_i на поверхности S .

На гранях, где $x_1 = \pm b/2$, $0 \leq x_2 \leq \ell$, $-h/2 \leq x_3 \leq h/2$: $p_i(b/2, x_2, x_3) = 0$, $p_i(-b/2, x_2, x_3) = 0$. На гранях, где $-b/2 \leq x_1 \leq b/2$, $0 \leq x_2 \leq \ell$, $x_3 = \pm h/2$: $p_i(x_1, x_2, h/2) = 0$, $p_i(x_1, x_2, -h/2) = 0$.

На левой торцевой грани, где $-b/2 \leq x_1 \leq b/2$, $x_2 = 0$, $-h/2 \leq x_3 \leq h/2$: $p_i(x_1, 0, x_3) = -\delta_{i2} c x_3$.

На правой торцевой грани, где $-b/2 \leq x_1 \leq b/2$, $x_2 = \ell$, $-h/2 \leq x_3 \leq h/2$: $p_i(x_1, \ell, x_3) = \delta_{i2} c x_3$.

Изгибающие моменты на левом и правом торцевых гранях соответственно равны:

$$m_1 = - \int_{-b/2}^{b/2} \int_{-h/2}^{h/2} c x_1^2 dx_1 dx_2 = -cbh^3/12, \quad m_2 = \int_{-b/2}^{b/2} \int_{-h/2}^{h/2} c x_1^2 dx_1 dx_2 = cbh^3/12$$

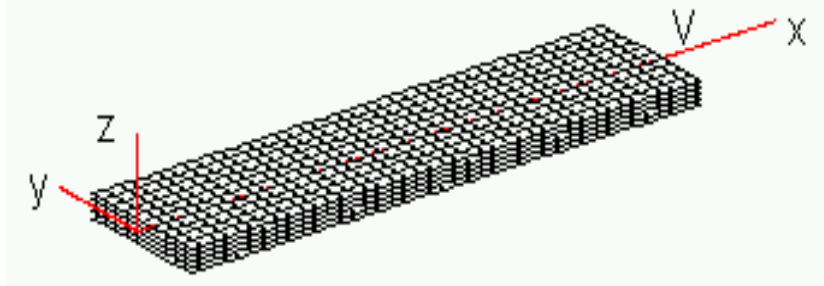


Рис. 1. Прямолинейная плита находится в равновесии.

Решение этой задачи приведено в [1] и оно имеет вид

$$\sigma_{ij} = \delta_{i2} \delta_{j2} c x_3 \quad (1)$$

Этот тензор второго порядка имеет только один отличный от нуля элемент

$$(\sigma_{ij}) = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & c & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Из (1) определим компоненты линейного тензора

$$\varepsilon_{ij} = \frac{c}{E} x_3 (-\nu(\delta_{i1} \delta_{j1} + \delta_{i3} \delta_{j3}) + \delta_{i2} \delta_{j2}), \quad (2)$$

которые приведем в развернутом виде:

$$\begin{aligned} \varepsilon_{11} &= -\frac{c}{E} \nu x_3, & \varepsilon_{23} &= 0, \\ \varepsilon_{22} &= \frac{c}{E} x_3, & \varepsilon_{31} &= 0, \\ \varepsilon_{33} &= -\frac{c}{E} \nu x_3, & \varepsilon_{12} &= 0. \end{aligned}$$

Этот тензор имеет три отличные от нуля элемента

$$(\varepsilon_{ij}) = \frac{c}{E} \begin{bmatrix} -\nu x_3 & 0 & 0 \\ 0 & x_3 & 0 \\ 0 & 0 & -\nu x_3 \end{bmatrix}.$$

Функции перемещений имеют вид

$$\begin{aligned} u_i(x) &= u_i(x^0) + \omega_{ij}(x^0) (x_j - x_j^0) - \\ &- \frac{c}{E} (\delta_{i1} \nu x_3 (x_1 - x_1^0) - \delta_{i2} x_3 (x_2 - x_2^0) + \delta_{i3} (x_2^2 + \nu(x_3^2 - x_1^2) \\ &- x_2^0 (2x_2 - x_2^0) - \nu((x_3^0)^2 - x_1^0 (2x_1 - x_1^0))) / 2), \end{aligned} \quad (3)$$

где x_i^0 - любая точка области V , $u_i(x^0)$, $\omega_{ij}(x^0)$ - компоненты перемещения и вращения в выбранной точке x^0 области V .

Из (3) нетрудно определить и компоненты вращения в произвольной точке

$$\omega_{ij}(x) = \omega_{ij}(x^0) - \frac{c}{E} (\nu(x_1 - x_1^0)(\delta_{i1} \delta_{3j} - \delta_{3i} \delta_{1j}) - (x_2 - x_2^0)(\delta_{2i} \delta_{3j} - \delta_{3i} \delta_{2j})) \quad (4)$$

Этот антисимметричный тензор имеет вид следующей матрицы

$$(\omega_{ij}) = \begin{bmatrix} 0 & \varpi_{12}(x^0) & \varpi_{13}(x^0) - \frac{c}{E} \nu(x_1 - x_1^0) \\ \varpi_{21}(x^0) & 0 & \varpi_{23}(x^0) + \frac{c}{E} (x_2 - x_2^0) \\ \varpi_{31}(x^0) + \frac{c}{E} \nu(x_1 - x_1^0) & \varpi_{32}(x^0) - \frac{c}{E} (x_2 - x_2^0) & 0 \end{bmatrix}$$

Наконец с помощью формул (1), (2) можно установить и конфигурацию (объем V_0 , поверхность S_0) начального состояния тела.

Обратимся к вопросу об уровнях деформации. Как сказано выше, величины деформации являются прерогативой только массовых сил и условий на поверхности тела. В качестве произвольной точки x^0 выберем центр поперечного сечения

$$x_2 = \frac{1}{2} l, \text{ т.е. точку } x_1^0 = 0, \quad x_2^0 = \frac{1}{2}, \quad x_3^0 = 0. \quad (5)$$

Далее, пусть произвольно задаваемые величины - компонент перемещения и вращения в этой точке равны нулю, что не ущемляет общность, ибо они нисколько не сказываются на величинах деформации

$$u_i(x^0)=0, \quad \omega_{ij}(x^0)=\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

В данной задаче массовые силы отсутствуют, следовательно, в ней

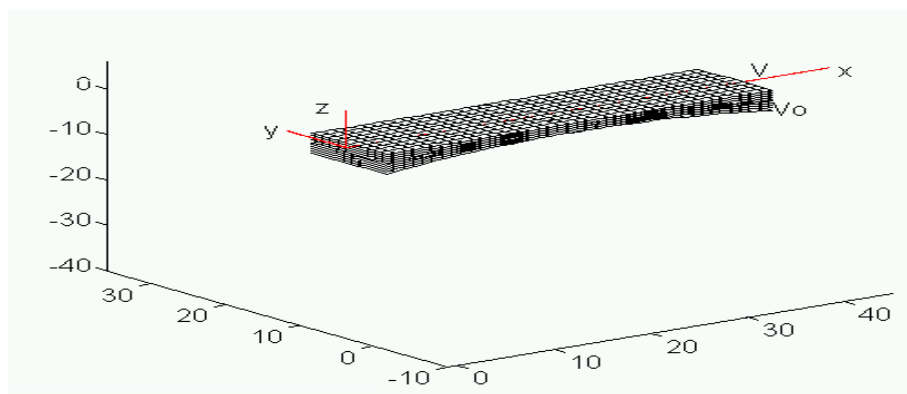


Рис.2. V_0 - сравниваемое, V - конечное состояния плиты.

уровень деформации зависит только от величин внешних сил, приложенных на поверхность тела.

Пусть внешние силы малы, $s=-50$. Подставляя (5), (6), в (3) и используя выражение $z_i=x_i-u_i(x)$, $x_i \in V$ (6), можно установить начальную конфигурацию тела (рис.2)

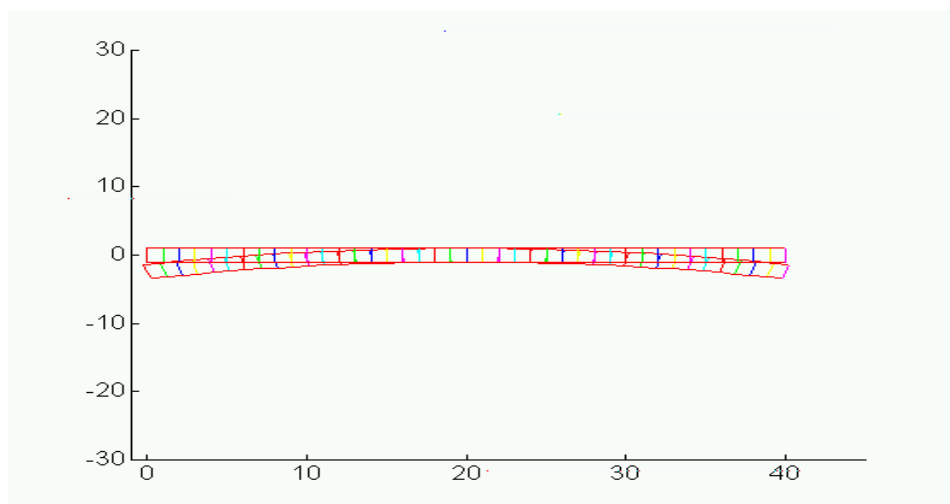


Рис.3. Очертания сечения $x_1=0$ в сравниваемом (криволинейное) и конечном (прямолинейное) состояниях.

На рисунках 3 и 4 показаны начальные очертания продольных и поперечных сечений плиты.

Как видно из (2), элементы тензора ε_{ij} зависят только от координаты x_3 . Они достигают наибольших величин в точках верхней и нижней граней плиты. На верхней грани этот тензор имеет вид

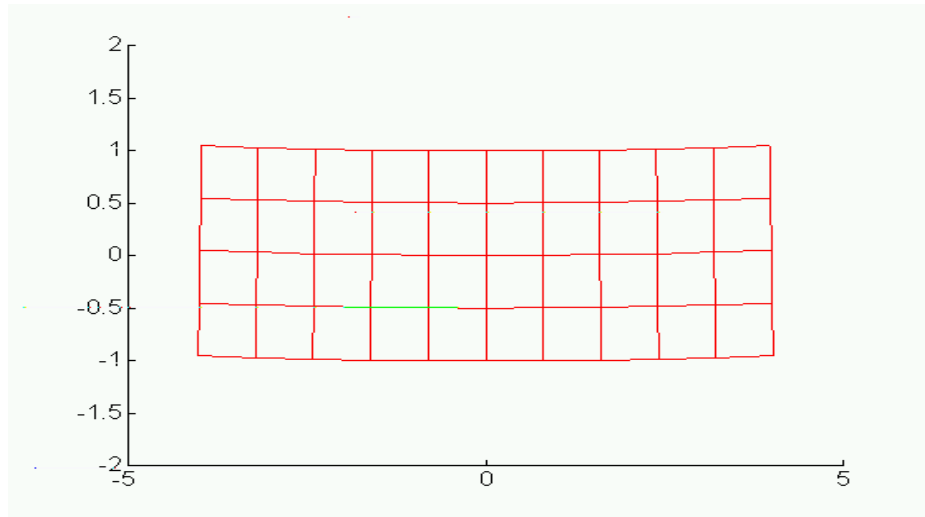


Рис.4. Очертание сечений $x_2=\text{const}$ в сравниваемом состоянии.

$$\varepsilon_{ij}(x_1, x_2, 2) = \begin{bmatrix} .0234 & 0 & 0 \\ 0 & -.0483 & 0 \\ 0 & 0 & .0234 \end{bmatrix}. \quad (7)$$

Тензор вращения, как видно из (4), зависит от координат x_1 , x_2 и X_1^0, X_2^0 . Элементы этого антисимметричного тензора достигают наибольших значений в угловых точках правой и левой торцевых граней. К примеру, в точке (4.40.2), находящейся в верхнем углу правой грани плиты

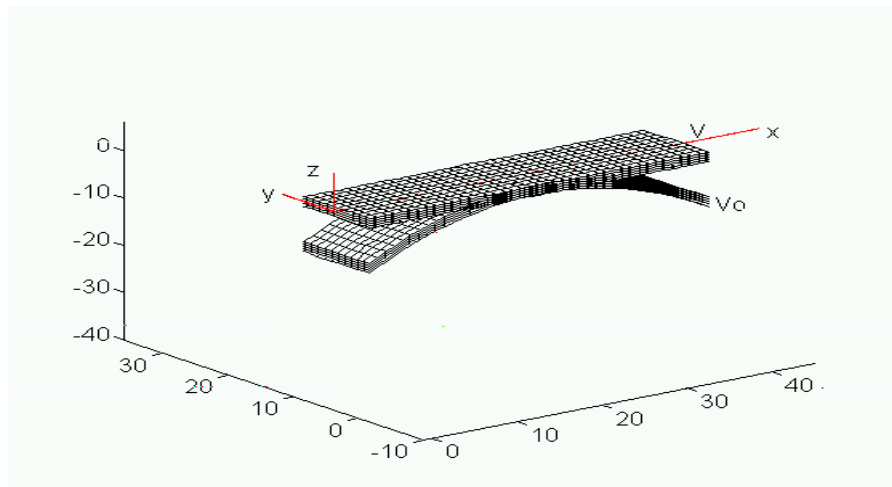


Рис. 5. Сравнимое (V_0) и конечное (V) состояния плиты.

$$\omega_{ij}(4, 40, 2) = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0.0234 \\ 0 & 0 & -0.242 \\ -0.0234 & 0.242 & 0 \end{bmatrix}. \quad (8)$$

Увеличим теперь величины приложенных к поверхности плиты внешних усилий. Пусть $c=-200$. (9)

Здесь нельзя упускать из виду то обстоятельство, что область определения уравнений статической краевой задачи не зависит от величин приложенных внешних усилий. В рассматриваемой задаче определенная область V неизменяема (аксиома равновесия). Величины внешних усилий, как сказано выше, определяют степень напряженности.

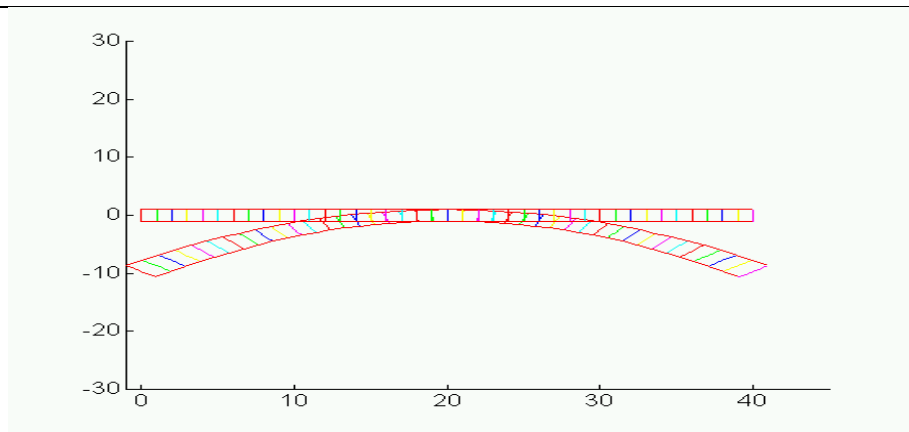


Рис. 6. Сравняемое (криволинейное) и конечное (прямолинейное) очертания сечения $x_1 = 0$.

Подставляя (5), (6), (10) в (5), находим следующее поле перемещений

$$u_i(x_1, x_2, x_3) = \frac{200}{E} (\delta_{i1} v x_3 x_1 - \delta_{i2} x_3 (x_2 - \frac{1}{2}) + \delta_{i3} (x_2^2 + v (x_3^2 - x_1^2) - \frac{1}{2} (2x_2 - \frac{1}{2})) / 2). \quad (10)$$

Это поле определяет напряжения

$$\sigma_{ij}(x_1, x_2, x_3),$$

которые удовлетворяют уравнениям равновесия и совместности

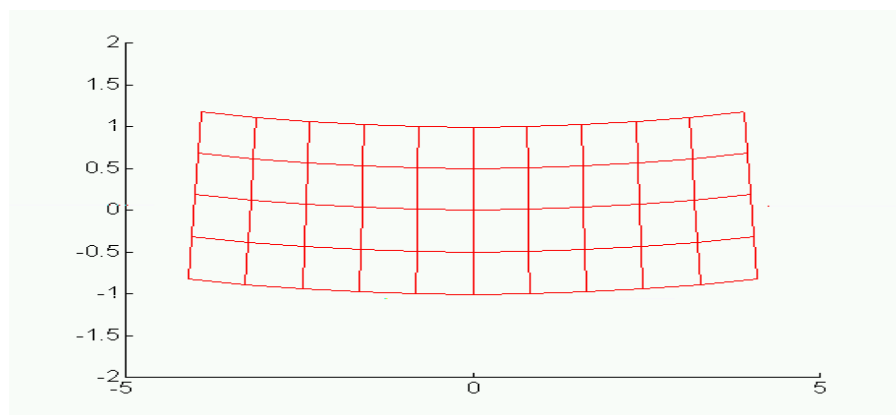


Рис.7. Очертание сечений $x_2 = \text{const}$ в сравняваемом состоянии.

деформации в области V и граничным условиям на границе S . Здесь нет обычного координатного различия: в функциях перемещений $u_i(x_1, x_2, x_3)$, напряжений $\sigma_{ij}(x_1, x_2, x_3)$, также как и во всех предыдущих выражениях, только координаты конечного состояния. На рис.6 приведено положение сравняемого состояния плиты, которое обозначено через V_0 . Надо отметить, что в области V_0 нет никаких напряжений, а на ее поверхности S_0 - никаких внешних усилий.

Приведем наибольшие значения ε_{ij} , ω_{ij} . Выше были указаны те точки тела, где это имеет место.

$$\varepsilon_{ij}(x_1, x_2, 2) = \begin{bmatrix} .0936 & 0 & 0 \\ 0 & -.1932 & 0 \\ 0 & 0 & .0936 \end{bmatrix},$$

$$\omega_{ij}(4, 40, 2) = \begin{bmatrix} 0 & 0 & .0936 \\ 0 & 0 & -.968 \\ -.0936 & .968 & 0 \end{bmatrix}.$$

Здесь мы видим, что линейный тензор ε_{ij} является полной характеристикой деформированного

состояния. Его компоненты (2) могут быть бесконечно малыми ($c \rightarrow 0$), малыми ($c = -50$), большими ($c = -200$). В любом из этих случаев этот тензор определяет поле перемещения (формулы Чезаро), из которого можно найти все, что касается деформированного состояния.

Выбрав любое направление n_i в произвольной точке области V , можно определить функции:

-относительного удлинения в направлении n_i

$$\varepsilon(x_1, x_2, x_3) = \varepsilon_{ij} n_i n_j,$$

-относительного сдвига на площадке, перпендикулярной к выбранному направлению

$$\gamma(x_1, x_2, x_3) = (\varepsilon_{ki} \varepsilon_{kj} n_i n_j - \varepsilon^2)^{1/2},$$

-компонент вращения

$$(\omega_{ij}) = \begin{bmatrix} 0 & \varpi_{12}(x^0) & \varpi_{13}(x^0) - \frac{c}{E} \nu(x_1 - x_1^0) \\ \varpi_{21}(x^0) & 0 & \varpi_{23}(x^0) + \frac{c}{E} (x_2 - x_2^0) \\ \varpi_{31}(x^0) + \frac{c}{E} \nu(x_1 - x_1^0) & \varpi_{32}(x^0) - \frac{c}{E} (x_2 - x_2^0) & 0 \end{bmatrix},$$

позволяющих найти перемещения от вращения окрестности вокруг ротора поля в этой точке,

-разности квадратов длин после и до деформации

$$dx^2 - dz^2 = (2\varepsilon - (\varepsilon^2 + \gamma^2) - (2\omega_{kj}\varepsilon_{ki} + \omega_{ki}\omega_{kj})n_i n_j) dx^2,$$

-компонент тензора Альманси

$$a_{ij} = \varepsilon_{ij} - \frac{1}{2} u_{k,i} u_{k,j}$$

и так далее.

Наконец, можно построить конфигурацию тела в сравниваемом состоянии. Координаты z_i этого состояния определяются по формулам

$$\begin{aligned} z_i = x_i - u_i(x) = x_i - (u_i(x^0) + \omega_{ij}(x^0)(x_j - x_j^0) - \\ - \frac{c}{E} (\delta_{i1} \nu x_3 (x_1 - x_1^0) - \delta_{i2} x_3 (x_2 - x_2^0) + \delta_{i3} (x_2^2 + \nu(x_3^2 - x_1^2) - \\ - x_2^0 (2x_2 - x_2^0) - \nu((x_3^0)^2 - x_1^0 (2x_1 - x_1^0)))/2)), \quad x_i \in V. \end{aligned}$$

Для определения координат поверхности начальной конфигурации тела в предыдущее выражение надо вносить $x_i \in S$.

Список литературы

1. Жакыпбек А.Б., Дуйшеналиев Т.Б. Новое воззрение на некоторые основы механики деформируемого тела. - Бишкек, 1999, 236 с.

References

1. Zhakypbek A.B, T.B. Duyshenaliev. A new view on some of the basics mechanics of body deformation. - Bishkek, 1999, 236 p.

УДК620.10

РАСЧЕТ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В ИЗОГНУТЫХ СТЕРЖНЯХ ИЗ СПЛАВА С ЭФФЕКТОМ ПАМЯТИ ФОРМЫ

Ибрагимов Рахманберди Шабданович, к.т.н., доцент, КНУ им. Ж. Баласагына, Кыргызстан, 720033, г.Бишкек, ул. Фрунзе, 547, e-mail: rahman.ibragimov.sh@gmail.com

Целью работы является получение простых расчетных формул зависимости распределения деформаций различной природы и остаточных напряжений в поперечном сечении деформируемого на чистый изгиб стержня из сплава с эффектом памяти формы, с использованием гипотез и теорем механики деформируемого твердого тела. Проанализирована природа появления остаточных напряжений в изогнутых стержнях из никелида титана. Характер распределения остаточных напряжений в сплавах с термоупругим мартенситным механизмом не существенно отличается от таковых для сплавов с дислокационным механизмом.

Ключевые слова: эффект памяти формы; схематизация диаграммы растяжения; испытания на изгиб; мартенситная деформация; остаточная неупругая деформация; остаточная упругая деформация; остаточное напряжение.

CALCULATION OF RESIDUAL STRESSES IN THE BENT RODS OF ALLOY WITH SHAPE MEMORY EFFECT

Ibragimov Rahmanberdy Shabdanovich, Ph.D (Engineering), Associate Professor, KNU named after J. Balasagyn, Kyrgyzstan, 720033, Bishkek, str. Frunze 547, e-mail: rahman.ibragimov.sh@gmail.com

The aim is to obtain simple calculation formulas depending on the strain distribution of different nature and residual stresses in the cross section of the deformable to pure bending rod of alloy with shape memory effect, with use a hypothesis and theory of solid mechanics. The nature of the appearance of residual stresses in the bent rod of NiTi has been analysed. The pattern of distribution of residual stresses in alloys with thermoelastic martensitic mechanism does not differ significantly from those for alloys with dislocation mechanism.

Keywords: shape memory effect; modeling of stress-strain curves; bending test; martensitic deformation; residual inelastic deformation; residual elastic deformation; residual stress.

Введение

Анализ диаграммы деформирования показывает, что имеются существенные отличия в деформационном поведении между сплавами с дислокационным механизмом и термоупругим мартенситным механизмом. Первое отличие состоит в том, что у сплавов с мартенситным механизмом формоизменения, в некотором температурном интервале, на начальном участке диаграммы деформирования, статический модуль упрочнения примерно на порядок ниже, чем нормальный модуль, определенный динамическими методами [2, 3, 4, 6]. Дефект модуля объясняется низким критическим напряжением мартенситной деформации, то есть, с самого начала нагружения стержня начинается мартенситная деформация внутри зерен. Второе отличие сплавов с мартенситной деформацией - низкий предел мартенситной текучести. При достижении напряжения предела мартенситной текучести, мартенситная деформация передается с одного зерна в другое [6]. Для никелида титана предел мартенситной текучести не превышает ~130 МПа [2, 6], а для других сплавов этого класса еще ниже [2]. Третья особенность сплава с мартенситной деформацией - проявление нетрадиционных поведений деформированных стержней, таких как псевдоупругость, эффект памяти формы, генерация реактивных усилий и т.д. [1, 2], что не наблюдается в сплавах с дислокационным механизмом формоизменения.

В неоднородно упруго-неупруго деформированном стержне (изгиб, кручение) при разгрузке, в результате перераспределения внутренних сил, в поперечном сечении формируется новое распределение внутренних (остаточных) напряжений. Это напряжение в разгруженном стержне, при комнатной температуре, находится в термодинамически неравновесном состоянии. Поэтому остаточные напряжения могут влиять на поведение изогнутого стержня на стадии нагрева, оказывая влияние на процессы формовосстановления и генерации реактивных сил. Таким образом, целью работы является получение простых расчетных формул зависимости распределения деформаций различной природы и остаточных напряжений в поперечном сечении деформируемого на чистый изгиб стержня из сплава с эффектом памяти формы, с использованием гипотез и теорем механики деформируемого твердого тела.

1. Растяжение. Как отмечено в [4], на начальном участке диаграммы растяжения, деформация не пропорциональна напряжению и не является полностью обратимой при изотермической разгрузке.

Для упрощения расчетов схематизируем диаграмму растяжения так, как показано на рис. 1, на которой будем рассматривать только два участка ОА и АВ. Величина наклона линии ОА не удовлетворяет закону Гука [4], поэтому здесь коэффициент упрочнения участка обозначим через kE , где k – коэффициент относительного упрочнения на первом участке, E – модуль нормальной упругости. Коэффициент относительного упрочнения участка АВ обозначим n . Здесь по аналогии с работой [1], записываем зависимости напряжений от деформаций для различных участков схематизированной диаграммы:

$$\text{для участка ОА } 0 < \varepsilon < \varepsilon_m = \frac{\sigma_m}{kE}; \quad \sigma = kE\varepsilon; \quad (1)$$

$$\text{для участка АВ } \varepsilon > \varepsilon_m, \quad \sigma = kE\varepsilon_m + nE(\varepsilon - \varepsilon_m) \quad (2)$$

Здесь предел мартенситной текучести никелида титана $\sigma_m = 130$ МПа, $\varepsilon_m = 1,5$ % – деформация, соответствующая мартенситному пределу текучести, E – модуль упругости, определенный динамическим методом. Участок ОА наклонен к оси абсцисс (ε) под углом $\alpha = \arctg(kE)$, а участок АВ – под углом $\beta = \arctg(nE)$. На стадии разгрузки угол наклона зависимости $\sigma - \varepsilon$ составляет, с осью абсцисс, угол $\gamma = \arctg(mE)$ (при разгрузке также не выполняется закон Гука). По оси ε , участок ОС характеризует величину остаточной деформации $\varepsilon_{ост}$, а участок CD – упруговозвращаемую деформацию $\varepsilon_{ув}$. Величины σ_m , ε_m , и коэффициенты k , n , m можно определить из диаграммы растяжения, при этом для никелида титана получается, что $n < k < m < 1$. Для сплавов с дислокационным механизмом формоизменения, в частности, для малоуглеродистой стали, соотношение между коэффициентами: $n < k = m = 1$. В поперечном сечении растягиваемого стержня все точки находятся в одинаковом напряженно-деформированном состоянии.

2. Деформация в изогнутом стержне. В стержнях, испытанных на изгиб, напряженно-деформированное состояние в поперечных сечениях изменяется от точки к точке. Экспериментальные

диаграммы растяжения позволяют аналитически рассчитать распределения деформаций и напряжений в поперечном сечении чисто изогнутого стержня. В изогнутом стержне до точки В (рис. 1), осесимметричное поперечное сечение состоит из двух зон (рис. 2), в первой зоне деформируемые волокна имеют модуль упрочнения κE , а во второй зоне - nE . Высота от нейтральной плоскости y_m , разделяющая эти зоны, определяется по формуле

$$y_m = \frac{\varepsilon_m}{\kappa}. \quad (3)$$

Здесь $\kappa = \frac{1}{\rho}$ – кривизна стержня, ρ – его радиус кривизны. Коэффициент жесткости сечения, при изгибе стержня, обозначим D . Этот коэффициент для никелида титана, без учета нарушения закона Гука и закона разгрузки, то есть $\kappa = m = 1$, выведен в работе [1]. В данной работе при получении D учитывались экспериментально обоснованные особенности поведения никелида титана при его нагружении и разгрузке:

$$D = \frac{1}{J_0} [kJ_1 + (k - n)y_m S_2 + nJ_2], \quad (4)$$

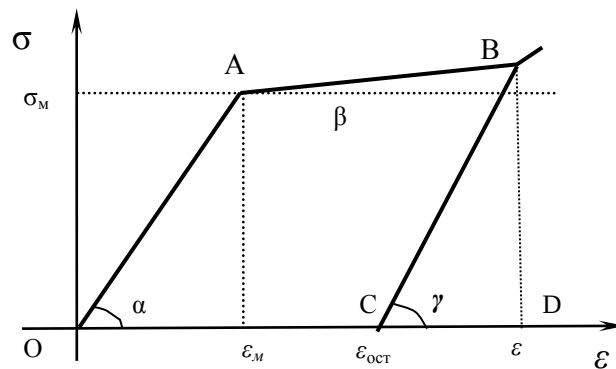


Рис. 1. Схематизация диаграммы растяжения никелида титана

где J_0 – момент инерции сечения «упруго» деформированного стержня (для никелида титана – гипотетический случай); J_1 – момент инерции зоны сечения с модулем деформационного упрочнения κE , находится интегрированием в интервале $[0, y_m]$, J_2 – момент инерции зоны сечения с модулем упрочнения nE , в этом случае предел интегрирования y изменяется в интервале $[y_m, h]$, S_2 – статический момент сечения с модулем деформационного упрочнения nE . Из (4) следует, что величина D определяется значением y_m , а величина y_m зависит от заданной кривизны стержня κ . Анализ формулы (4) показывает, что с ростом кривизны κ стержня

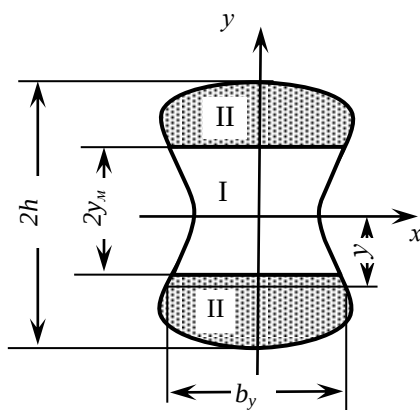


Рис. 2. Поперечное сечение изогнутого стержня (обозначение в тексте)

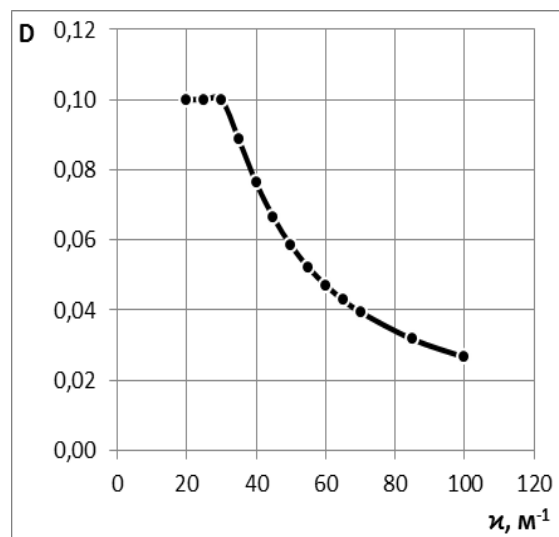


Рис. 3. Изменение D с ростом κ стержня

коэффициент D уменьшается (рис 3). Для никелида титана коэффициент D изменяется в интервале $[k, n]$. Здесь расчет D проведен для стержня с круглым поперечным сечением, диаметр которого равен 0,001 м.

В активно деформируемом на чистый изгиб стержне максимальное напряжение в любом сечении рабочей длины определяется по формуле (2).

Связь между остаточной кривизной и кривизной перед разгрузкой стержня в нашем случае имеет вид:

$$\text{если } \varepsilon < \varepsilon_m, \text{ то } \kappa_{\text{ост}} = \left(1 - \frac{k}{m}\right) \kappa \quad (5)$$

$$\text{если } \varepsilon > \varepsilon_m, \text{ то } \kappa_{\text{ост}} = \left(1 - \frac{D}{m}\right) \kappa \quad (5a)$$

Напряжение в растянутом стержне перед его разгрузкой можно определить по величине ε_{yb} :

$$\sigma = mE\varepsilon_{yb}. \quad (6)$$

2.1. Считаем, что на внешних волокнах изогнутого стержня $\varepsilon \leq \varepsilon_m$. Тогда поперечное сечение стержня состоит только из одной зоны с модулем упрочнения kE . Рассмотрим распределение составляющих деформаций в поперечном сечении изогнутого стержня. В волокне с координатой y заданная деформация ε состоит из составляющих упруговозвращаемой ε_{yb} и остаточной $\varepsilon_{\text{ост}}$:

$$\varepsilon = \kappa y = \varepsilon_{yb} + \varepsilon_{\text{ост}}. \quad (7)$$

А остаточная деформация состоит из одной составляющей:

$$\varepsilon_{\text{ост}} = \kappa_{\text{ост}} y = \varepsilon_n. \quad (8)$$

Здесь ε_n – неупругие деформации, это часть деформаций, накопленных в волокнах стержня на этапе нагружения, они сохраняются и после разгрузки. А при разгрузке изогнутого стержня упругие деформации в поперечном сечении полностью исчезают. Расчеты дали следующие результаты:

$$\varepsilon_{yb} = \frac{k}{m} \kappa y \quad (9)$$

$$\varepsilon_{\text{ост}} = \varepsilon_n = \frac{m-k}{m} \kappa y \quad (10)$$

Отсюда следует, что в изогнутом стержне и ε_{yb} , и ε_n линейно растут с удалением от нейтральной линии. При изотермической разгрузке во всех продольных волокнах стержня ε_{yb} полностью возвращаются, а ε_n остаются неизменными.

2.2. Пусть на внешних волокнах изогнутого стержня $\varepsilon > \varepsilon_m$, тогда в поперечных сечениях образуются две зоны с разными деформационными упрочнениями (рис. 2). При активном нагружении стержня деформация ε изменяется линейно по высоте его сечения, причем она также состоит из двух составляющих, которые определяются по формуле (7). В поперечном сечении стержня в зоне I с увеличением кривизны стержня от нейтральной оси до волокна, где деформация равна ε_m , ε_n растет согласно (10) линейно. А в зоне II, в связи с низкой жесткостью, считаем, что ε_n растет также линейно, значительно быстрее с удалением от нейтральной оси. При этом неоднородное распределение ε_n в разгруженном стержне вызывает нелинейное распределение остаточных упругих деформаций $\varepsilon_{\text{ост.уп}}$ по высоте сечения стержня.

Рассмотрим распределение элементарных деформаций по высоте сечения активно деформируемого на изгиб стержня. Из (6) и (2) находим:

$$\varepsilon_{yb} = \kappa \left(\frac{k-n}{m} y_m + \frac{n}{m} y \right). \quad (11)$$

Для определения ε_n поступим следующим образом. Известно, что при разгрузке для каждого волокна зависимость $\sigma - \varepsilon$ линейная с «деформационным разупрочнением mE » независимо от того, на какой стадии деформирования, в пределах линии ОАВ (рис. 1), проведена разгрузка. Для каждого волокна изогнутого стержня выполняются формулы (2), (7), (8) и (11), из них находим:

$$\varepsilon_n = \kappa \left(\frac{m-n}{m} y - \frac{k-n}{m} y_m \right). \quad (12)$$

Значения y изменяются в интервале $[y_m; r]$, y_m – высота волокна, где $\varepsilon = \varepsilon_m$. При разгрузке упругая часть деформаций частично возвращается. В волокнах изогнутого стержня ε_n не изменяется при разгрузке стержня. $\varepsilon_{\text{ост.уп}}$ деформация является частью деформаций ε_{yb} . В отличие от (10) здесь $\varepsilon_{\text{ост}}$ является сложной деформацией:

$$\varepsilon_{\text{ост}} = \varepsilon_{\text{ост.уп}} + \varepsilon_n = \kappa_{\text{ост}} y, \quad (13)$$

которая распределена линейно по высоте сечения, что свидетельствует о выполнении гипотезы плоских сечений. Из (12) и (13) находим $\varepsilon_{\text{ост.уп}}$:

$$\varepsilon_{\text{ост.уп}} = \varepsilon_{\text{ост}} - \varepsilon_n = \kappa_{\text{ост}} y - \varepsilon_n. \quad (14)$$

3. Эпюры деформаций по высоте сечения изогнутого стержня. Построим эпюры деформаций разной природы в поперечном сечении стержня из никелида титана. Расчет деформаций проведен для стержня с круглым поперечным сечением, диаметр которого $2r=0,001$ м, кривизна изогнутого стержня перед разгрузкой $\kappa=50$ м⁻¹. Из диаграммы растяжения определены коэффициенты: $k=0,1$; $n=0,0001$; $m=0,124$; при этом $y_m=0,3 \cdot 10^{-3}$ м, значение $D=0,05848$ вычислено по (4). Расчеты эпюр деформаций произведены по формулам (7) - (13) в программе Microsoft Excel.

На рис. 4 представлены эпюры деформаций по высоте растянутой части сечения изогнутого стержня: в нагруженном стержне: 1 – ε , 2 – ε_{yb} , 4 – ε_n ; и в разгруженном стержне: 3 – $\varepsilon_{\text{ост}}$; 5 – $\varepsilon_{\text{ост.уп}}$. Перелом эпюры элементарных деформаций происходит на высоте y_m . Анализ кривых эпюр деформаций в поперечном сечении стержня показывает, что ε_{yb} (кр 2) имеет аномально высокое значение не только в нагруженном состоянии, но и после его разгрузки (кр. 5). При разгрузке стержня во всех волокнах из-за неравномерного распределения ε_n по высоте сечения значительная часть деформации ε_{yb} возвращается, а не – возвратившуюся упругую деформацию обозначим как $\varepsilon_{\text{ост.уп}}$ (кр. 5). Отметим, что на внешних волокнах растянутой части сечения изогнутого и разгруженного стержня величины $\varepsilon_{\text{ост.уп}}$ имеют отрицательные значения.

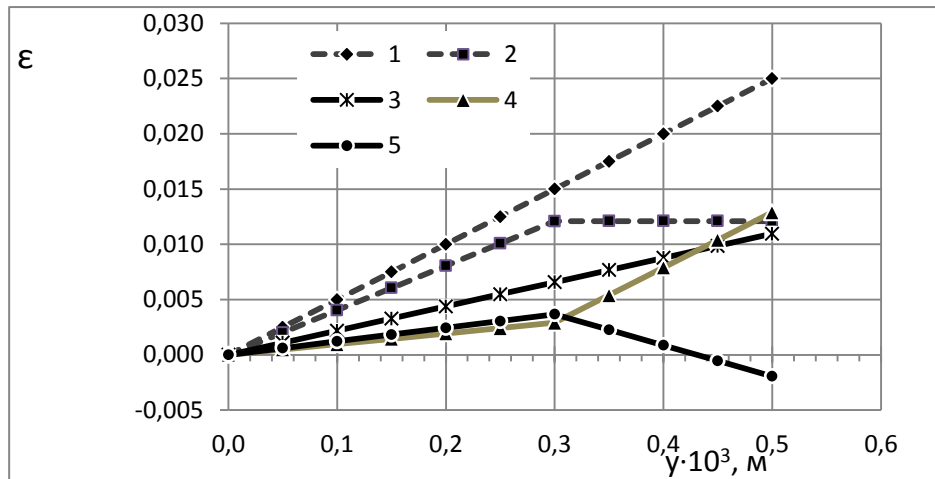


Рис. 4. Эпюры деформаций различной природы по сечению стержня (обозначение в тексте).

4. Эпюры остаточных напряжений в изогнутых стержнях из никелида титана.

Внутреннее остаточное напряжение в изогнутых и разгруженных стержнях прямо пропорционально остаточной упругой деформации. Поэтому в нашем случае очень просто определяются численные значения остаточных напряжений - умножением остаточных упругих деформаций на модуль разгрузки mE . На рис. 5 представлены изменения напряжений в нагруженном состоянии (кр. 1), и после его разгрузки (кр. 2) по высоте сечения. На рис. 6 представлены изменения остаточных напряжений на уровне y_m (кр. 1) и на внешних волокнах (кр. 2) в зависимости от заданной кривизны. Из рис. 6 следует, что при некоторой кривизне стержня остаточное напряжение и на уровне y_m , и на внешнем волокне стабилизируется.

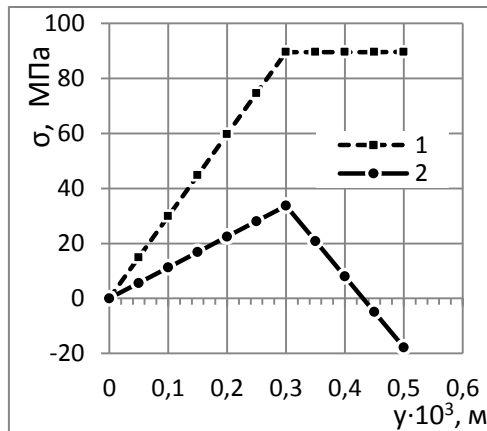


Рис. 5. Эпюра напряжений под нагрузкой (1) и после разгрузки (2) в сечении стержня.

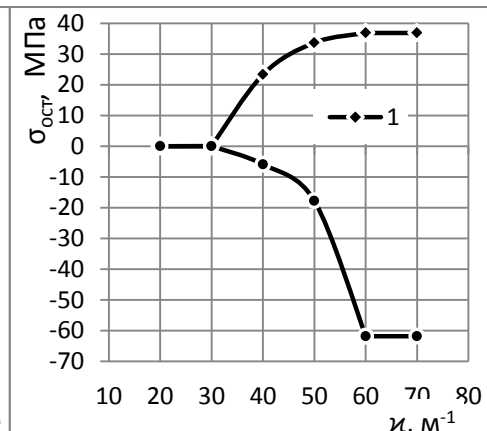


Рис. 6. Остаточные напряжения в сечении в зависимости от кривизны стержня: на границе раздела двух зон (1) и на внешних волокнах (2).

Таким образом, в нашем случае для расчета остаточных напряжений внутри изогнутого стержня нет необходимости вводить фиктивный разгружающий момент, как это сделано в большинстве монографий, например [1, 5].

По результатам исследования можно сделать следующие выводы:

1. Распределение элементарных деформаций по высоте изогнутого стержня зависит от жесткости зоны.
2. После изотермической разгрузки изогнутого стержня в его поперечном сечении остается остаточное напряжение, обусловленное неоднородным распределением неупругих деформаций по высоте

сечения. Характер распределения остаточных напряжений в сплавах с мартенситной деформацией несущественно отличается от таковых для сплавов с дислокационным механизмом.

3. Предложен новый метод расчета распределения деформаций различной природы и внутренних напряжений в поперечном сечении изогнутого стержня, когда он находится и под нагрузкой, и после разгрузки. Здесь для расчета внутренних остаточных напряжений отпала необходимость вводить фиктивный разгружающий момент.

Список литературы

1. Абдрахманов С.А., Ибрагимов Р.Ш., Джаналиев Н.Р. Деформация гибкой балки из материала с эффектом памяти формы. Бишкек. ИЦ "Техник", 2007. - 260 с.
2. Лихачев И.А., Кузьмин С.Л., Каменцева З.П. Эффект памяти формы. – Ленинград. Изд. ЛГУ. 1987. 216 с.
3. Медицинские материалы и имплантаты с памятью формы. Т.1. /Под ред. В.Э. Гюнтера. Томск: Изд-во МИЦ, 2011. 534 с.
4. Паскаль Ю.И., Ерофеев В.Я и др. Мартенситная деформация никелида титана. //Известия вузов. Физика. 1982. № 6. с.103 – 116.
5. Филин А.П. Прикладная механика твердого деформируемого тела. Том 2. М. Наука. 1978. 616 с.
6. Хачин В.Н., Пушин В.Г., Кондратьев В.В. Никелид титана. Структура и свойства. –М. Наука.1992. -160 с.

References

1. Abdrakhmanov S.A., Ibragimov R.Sh., Dzhanaliev N.R. Deformation of the flexible beam from the material with shape memory effect. Bishkek. Publishing Center "Technique". 2007. -260 p.
2. Likhachev I.A., Kuzmin, S.L., Kamentsev Z.P. The shape memory effect. -Leningrad. Ed. LSU. 1987. 216 p.
3. Medical materials and implants with shape memory. V.1. / Ed. V.E. Gunther. Tomsk: Publishing House of the MIC, 2011. 534 p.
4. Pascal Y.I., Erofeev V.Y. et al. Martensitic deformation of NiTi. // Proceedings of the universities. Physics. 1982. № 6. p.103 - 116.
5. Filin A.P. Applied Mechanics of Solid Bodies. Volume 2. M. Science. 1978. 616 p.
6. Khachin V.N., Pushin V.G., Kondratiev V.V. Nikelid titanium. The structure and properties. - M. Nauka.1992. -160 With.

УДК 663.631

ВЛИЯНИЕ УРОВНЯ ВОДЫ НА ВЕЛИЧИНУ ФИЛЬТРАЦИОННОГО РАСХОДА И НА ПРОЦЕСС ТАЯНИЯ ПОД ОСНОВАНИЕМ ВОДОЕМА

Джаманбаев М.Дж., Турсункулова З.С., д.ф-м.н., профессор, старший преподаватель **Душенова У.Дж.**, Кыргызский государственный технический университет им. И. Раззакова, Кыргызстан, 720044, г. Бишкек, пр. Мира, 66, jamambaev@mail.ru

Цель статьи - исследование влияния уровня воды на величину фильтрационного расхода и на глубины таяния мерзлого грунта с помощью численно аналитического метода.

Ключевые слова: мерзлый грунт, коэффициент температуропроводности, коэффициент теплопроводности, метод конечных элементов, фронт таяния, процесс таяния под основанием водоема, фильтрационный расход, глубина таяния.

INFLUENCE OF THE WATER LEVEL FO SIZE AND FLOW FILTRATION MELTING PROCESS UNDER THE BASE POND

Jamanbaev M. Dj, Tursunkulova Z.S., professor senior Lecturer senior Lecturer **Dushenova U. Dj**, Kyrgyz State Technical University named after I. Razzakova, Kyrgyzstan, 720044, Bishkek, Mir ave. 66, jamambaev@mail.ru

Purpose of the article - Study of the impact of the water level on the amount of filtration of flow rate and depth of thawing frozen ground, with the help of numerical analytical method.

Keywords: frozen ground, thermal diffusivity, thermal conductivity, finite element method, the front melting, melting process under the base of the reservoir, the filtration rate, the depth of melting.

Постановка задачи. Рассматривается процесс таяния мерзлого грунта под основанием водоема

глубиной H под влиянием температуры воды. До наполнения водоема водой область под его основанием считается мерзлой. Температурно-фильтрационный процесс под основанием водоема предполагается одномерным.

Математическая модель. Считая, что температура грунта и температура фильтрующейся воды одинаковы, т.е. принимается модель Фурье-Кирхгофа (2). В зоне талого грунта учитывается фильтрация воды из водоема, а в зоне мерзлого грунта фильтрация не учитывается. Математическая модель такого процесса имеет вид согласно [1]:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial T_T}{\partial t} &= a_T \frac{\partial^2 T_T}{\partial x^2} - v \frac{\partial T_T}{\partial x}, \quad 0 \leq x \leq h, \\ \frac{\partial T_M}{\partial t} &= a_M \frac{\partial^2 T_M}{\partial x^2}, \quad h \leq x \leq L \end{aligned} \right\} \quad (1) \quad (2)$$

Начально-граничные условия имеют вид:

$$\begin{aligned} t &= 0; \quad x \in [0, L]; \quad T_M = f_1(x), \\ x &= 0, \quad T_T = T_b, \\ x &= h, \quad T_T = T_M = T_0 \\ x &= L, \quad T_M = T_1, \end{aligned} \quad (3)$$

где соответственно - T_0 , T_1 температура таяния мерзлого грунта и температура вечной мерзлоты. Условие сопряжения на границе талого и мерзлого грунта описывается уравнением Стефана:

$$\lambda_T \left[\frac{\partial T_T}{\partial x} \right]_{x=h} - \lambda_M \left[\frac{\partial T_M}{\partial x} \right]_{x=h} = q_0 w \gamma \frac{\partial h}{\partial t}, \quad (4)$$

Где T_T – температура зоны талого грунта, T_M – температура мерзлого грунта, являющиеся решением начально-краевой задачи (1)-(2)-(3); T_b – температура воды; a_T , a_M , λ_T , λ_M – коэффициенты температуропроводности и теплопроводности грунта в талых и мерзлых грунтах; h – глубина таяния; w – количество льда в грунте; q_0 – теплота плавления льда, γ – удельный вес грунта, v – скорость фильтрации воды из водоема.

Методика решения аналогична работам [2]. Используя идею метода конечных элементов (МКЭ), строится аналитическое решение задачи (1)-(3), удовлетворяющее начально - граничным условиям. Решения находятся отдельно для талой зоны и для мерзлой зоны. В качестве базисных функций для мерзлой зоны используются линейно-независимые частные решения уравнения теплопроводности (2)

$$\begin{aligned} T_1(x, t, a) &= e^{-\sqrt{\frac{2\pi}{a}}x} \cos\left(\sqrt{\frac{2\pi}{a}}x - 4at\right), \\ T_2(x, t, a) &= e^{-\sqrt{\frac{2\pi}{a}}x} \sin\left(\sqrt{\frac{2\pi}{a}}x - 4at\right). \end{aligned} \quad (5)$$

Аналитическое решение в мерзлой зоне имеет вид

$$T_M(x, t, a) = N_i^{(2)}(x, t, a) * T_0 + N_j^{(2)}(x, t, a) * T_1, \quad (6)$$

где

$$\begin{aligned} N_i^k(x, t, a) &= \frac{T_2(x_j, t, a) * T_1(x_i, t, a) - T_2(x_i, t, a) * T_1(x_j, t, a)}{T_2(x_j, t, a) * T_1(x_i, t, a) - T_2(x_i, t, a) * T_1(x_j, t, a)}, \\ N_j^k(x, t, a) &= \frac{T_2(x_i, t, a) * T_1(x_i, t, a) - T_2(x_i, t, a) * T_1(x_i, t, a)}{T_2(x_j, t, a) * T_1(x_i, t, a) - T_2(x_i, t, a) * T_1(x_j, t, a)} \end{aligned} \quad (7)$$

аналоги функции формы МКЭ, т.е. при $x = x_i$, $N_i=1$, $N_j=0$; (k) – номер элемента. Для построения аналитического решения для талой зоны используется преобразование вида

$$T(x, t, a) = e^{\frac{v(x-vt)}{2a}} U(x, t, a), \quad (8)$$

которое преобразует уравнение (1) к виду

$$\frac{\partial U}{\partial t} = a \frac{\partial^2 U}{\partial x^2}, \quad (9)$$

где $U(x, t, a)$ – новая неизвестная функция. Она находится как решение соответствующей краевой задачи через преобразование (8), a – коэффициент температуропроводности. Тогда аналитическое решение начально-краевой задачи (1)-(3) в талой зоне с учетом фильтрации запишется

$$T_T(x, t, a) = e^{\frac{v(x-vt)}{2a}} (N_i(x, t, a) U_i + N_j(x, t, a) U_j), \quad (10)$$

где $U_i = T_i e^{\frac{-v_i(x_i-v_i t)}{2a}}$, $U_j = T_j e^{\frac{-v_j(x_j-v_j t)}{2a}}$.

Начальная область мерзлого грунта длиной L разбивается на два элемента. Первый элемент начинается от дневной поверхности до фронта таяния, который является неизвестным и подвижным. Второй элемент начинается от фронта таяния до вечной мерзлоты глубиной L . В начальный момент наполнения водоема длина первого элемента (зона таяния) будет очень маленькой по сравнению со второй. С течением времени этот

элемент будет увеличиваться, т.е. происходит таяние мерзлого грунта под влиянием температуры воды в водоеме, а длина второго элемента будет уменьшаться. Подвижная граница (фронт таяния) находится численно решением обыкновенного дифференциального уравнения первого порядка (4) методом Рунге-Кутты. Уравнение (4) означает превращение тепловой энергии в механическую.

Особенность данной методики заключается в следующем: 1) известность аналитического решения начально-краевой задачи позволила снять ограничения на шаг по времени в расчете уравнения (4) и принималась равной неделе. Расчеты проводились на период одного года; 2) в отличие от других методов здесь используются только три заданные температуры: на дне водоема поддерживается постоянная температура воды, на фронте таяния - постоянная температура $+0.01^{\circ}\text{C}$ (температура плавления льда), которая движется вместе с фронтом таяния и на конце глубины L поддерживается постоянная минусовая температура (вечная мерзлота) -1.86°C ; 3) используя данные наблюдения температуры в каждые моменты времени на каждом элементе, численно находятся коэффициенты температуропроводности как решение трансцендентного уравнения

$$N_i^{(2)}(x, t, b) * T_b + N_j^{(2)}(x, t, b) * T_0 = T^*,$$

$$e^{\frac{v(x-vt)}{2a}} (N_i^{(1)}(x, t, a) * U_0 + N_j^{(1)}(x, t, a) * U_1) = T^{**},$$

где T^* , T^{**} - средние значения температуры в середине каждого элемента. Согласно изложенному алгоритму произведен расчет в двух вариантах на типичном примере.

Вариант 1. Процесс таяния под основанием водоема рассматривается без учета фильтрации воды из водоема, т.е. уровень воды в водоеме не учитывался, а учитывалась только ее температура на дне водоема. Исходные данные считались равными $\lambda_T = 1.24$, $\lambda_M = 1.54$, $L = 21\text{ м}$. Температура воды на дне водоема считалась равной $+6^{\circ}\text{C}$. Результаты показывают, что в течение года глубина таяния достигает 4.51 м .

Вариант 2. Процесс таяния под основанием водоема рассматривается с учетом фильтрации воды из водоема глубиной $H=8\text{ м}$. Математически исследуемый процесс моделируется уравнениями (1)- (4). Исходные данные были такими же, как и в предыдущем варианте, а коэффициент фильтрации считался равным $k_f=0.0312\text{ м/ч.}$, пористость $m_p=0.22$. Скорость фильтрации вычислялась по формуле Дарси. В этом случае глубина таяния в течение года достигла 6.45 м . График результатов расчета приведен на рис.1. По оси ОУ приведена глубина таяния, по оси ОХ - время в сутках. Как видно из графика, влияние фильтрации воды из водоема привело к увеличению глубины таяния на 2 м за тот же промежуток времени, т.е. процесс таяния происходит интенсивнее. Величина фильтрационного расхода, приходящаяся на длину основания водоема в 1000 м составила $Q=69.9\text{ м}^2/\text{ч}$.

Вариант 3. Рассматривается этот же пример, но глубина воды водоема на два метра больше, т.е. 10 м . В этом случае скорость фильтрации была больше, чем в предыдущем варианте, и глубина таяния достигла за один год 8.58 м . Подъем уровня воды в пруде на два метра приводит к увеличению зоны таяния мерзлого грунта на 2.13 м . т.е. чем больше глубина водоема, тем интенсивнее происходит процесс таяния. В этом случае величина фильтрационного расхода, приходящаяся на длину основания водоема в 1000 м , составила $Q=79.6\text{ м}^2/\text{ч}$. Как видно, подъем уровня воды на 2 м . привел к увеличению глубины таяния и фильтрационного расхода. Это объясняется тем, что чем выше уровень воды в водоеме, тем интенсивнее происходит фильтрационный процесс и приводит к увеличению глубины таяния и величины фильтрационного расхода. Поэтому в целях сохранения необходимой области фильтрации, который не достигает до источников подземной и поверхностной воды, следует наполнять водоем до определенного уровня.

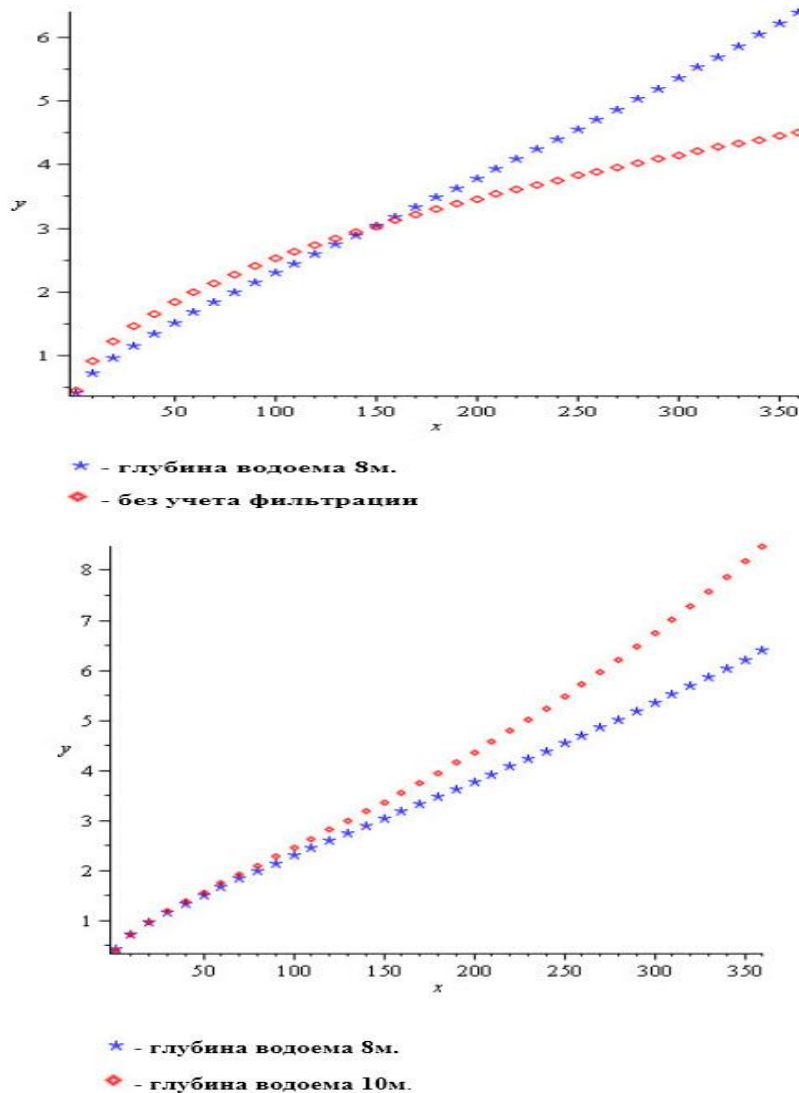


Рис. 1. Глубина протаивания

Вывод. Величина фильтрационного расхода и глубина таяния под основанием водоема значительно зависят от уровня воды в пруде и от скорости фильтрации воды из водоема.

Список литературы

1. Фельдман Г.М. Прогноз температурного режима грунтов и развития криогенных процессов. Наука. 1977. 171с.
2. Goy L., Fabre D., Menard G. Modeling of Rock Temperatures for Deep Alpine Tunnel Projects // Rock Mechanics and Rock Engineering. 1996. V. 29. N 1. 1-18.
3. Чжан Р.В. Проектирование, строительство и эксплуатация гидротехнических сооружений низкого напора в криолитозоне. Якутск: Изд-во ИМЗ СО РАН. 2000. 160 с.
4. Цыбин А.М. Некоторые вопросы расчета температурных полей, связанные со строительством и эксплуатацией гидросооружений, работающих в районах Крайнего Севера и вечной мерзлоты. Санкт-Петербург: ВНИИГ им. Б.Е.Веденеева, 1995. 344 с.
5. Bense V.F., Kooi H., Ferguson G. Read T. Permafrost degradation as a control on hydrogeological regime shifts in a warming climate// J. Geophys. Res. 2012. 117, F03036, doi:10.1029/2011JF002143.
6. Velicogna I., Tong J., Zhang T. Kimball J.S. Increasing subsurface water storage in discontinuous permafrost areas of the Lena River basin, Eurasia, detected from GRACE // Geophys. Res. Let. 2012. 39, L09403, doi:10.1029/2012GL051623.
7. Rawlins M.A., Ye H., Yang D., Shiklomanov A., McDonald K.C. Divergence in seasonal hydrology across northern Eurasia: Emerging trends and water cycle linkages // J. Geophys. Res. 2009. 114, D18119, doi:10.1029/2009JD011747.
8. Назаров Л.А., Назарова Л.А., Кучай О.А., Панов А.В., Кальметьева З.А., Джаманбаев М.Дж. Оценка состояния и свойств подземных геомеханических объектов на основе решения обратных задач по геодезическим и сейсмологическим данным. Известия КГТУ им. И.Раззакова, № 32, с.107-112. Бишкек-2014.

References

1. Feldman G. M. Forecast soil temperature regime and development of cryogenic processes. The Science. 1977. page171.
2. Goy L., Fabre D., Menard G. Modeling of Rock Temperatures for Deep Alpine Tunnel Projects // Rock Mechanics and Rock Engineering. 1996. V. 29. N 1. 1-18.
3. Zhan R.B. Design, construction and operation of hydraulic construction of low pressure in the permafrost zone. Yakutsk: Publishing House of SB RAS IMZ. 2000. 160.
4. Tsybin A.M. Some Questions of temperature fields associated with construction and operation of hydraulic structures, working in the areas of Far North and permafrost. St. Petersburg: VNIIG. Vedeneev, 1995. 344 .
5. Bense VF, Kooi H., Ferguson G. Read T. Permafrost degradation as a control on hydrogeological regime shifts in a warming climate // J. Geophys. Res. 2012. 117, F03036, doi: 10.1029 / 2011JF002143.
6. Velicogna I., Tong J., Zhang T. Kimball J.S. Increasing subsurface water storage in discontinuous permafrost areas of the Lena River basin, Eurasia, detected from GRACE //Geophys. Res. Let. 2012. 39, L09403, doi: 10.1029 / 2012GL051623.
7. Rawlins MA, Ye H., Yang D., Shiklomanov A., McDonald KC Divergence in seasonal hydrology across northern Eurasia: Emerging trends and water cycle linkages // J. Geophys.Res. 2009.114, D18119, doi: 10.1029 / 2009JD011747.
8. Nazarov L. A, Nazarova L.A., Panov O.A, Kalmetieva Z.A., Jamanbaev M.Dj., Assessment of the status and geomechanical properties of underground objects based on solving inverse problems for geodetic and seismological data Proceedings of KSTU. I.Razzakova, № 32, p.107-112. Bishkek 2014.

УДК 517.9

СИСТЕМА РЕШЕНИЯ РАЗНОСТНОГО УРАВНЕНИЯ

$$x_{n+1} = \max \left\{ \frac{1}{x_{n-4}}, \frac{y_{n-4}}{x_{n-4}} \right\}; y_{n+1} = \max \left\{ \frac{1}{y_{n-4}}, \frac{x_{n-4}}{y_{n-4}} \right\}$$

Огул Б.М., отдел математики факультета естественных наук, Кыргызско-Турецкий университет «Манас»; младший научный сотрудник, Бишкек, Кыргызстан, burak_1745@hotmail.com

Шимшек Д., отдел прикладной математики и информатики, факультет естественных наук, Кыргызско-Турецкий университет «Манас», и.о. доцента, Бишкек, Кыргызстан, dagistan.simsek@manas.edu.kg

В данной работе,

$$x_{n+1} = \max \left\{ \frac{1}{x_{n-4}}, \frac{y_{n-4}}{x_{n-4}} \right\}; y_{n+1} = \max \left\{ \frac{1}{y_{n-4}}, \frac{x_{n-4}}{y_{n-4}} \right\} \quad (1)$$

начальные условия - положительный максимум и исследуется поведение решений разностных уравнений.

Ключевые слова: разностное уравнение, точка равновесия, полуоборот.

SYSTEM SOLUTIONS OF DIFFERENCE EQUATIONS

$$x_{n+1} = \max \left\{ \frac{1}{x_{n-4}}, \frac{y_{n-4}}{x_{n-4}} \right\}; y_{n+1} = \max \left\{ \frac{1}{y_{n-4}}, \frac{x_{n-4}}{y_{n-4}} \right\}$$

Ogul Burak, Mathematics Department, Assistant, Kyrgyzstan, 720044, c.Bishkek, KSTU named after I.Razzakov e-mail: burak_1745@hotmail.com

Shimshek Dagistan., Applied Mathematics and Informatics Department, Associate Professor, Kyrgyzstan, c.Bishkek, KTMU dagistan.simsek@manas.edu.kg

This work,

$$x_{n+1} = \max \left\{ \frac{1}{x_{n-4}}, \frac{y_{n-4}}{x_{n-4}} \right\}; y_{n+1} = \max \left\{ \frac{1}{y_{n-4}}, \frac{x_{n-4}}{y_{n-4}} \right\} \quad (1)$$

the initial conditions are chosen - a positive maximum and study the behavior of solutions of difference equations.

Keywords: Maxima of Difference Equation System, Behavior of Solutions

Введение

В последние годы в литературе проведен целый ряд исследований в новых областях разностных уравнений с максимумами ([1]- [11]).

Определение 1:

$$x_{n+1} = f(x_n, \dots, x_{n-k}) \quad n = 0, 1, 2, \dots \quad (2)$$

для разностных уравнений, когда $\bar{x} = f(\bar{x}, \dots, \bar{x})$, то $\bar{x}$ является точкой равновесия.

Определение 2: Пусть $\bar{x}$ является положительной точкой равновесия уравнения (2). Одно из решений уравнения (2) $\{x_n\}$ является положительным полуоборотным решением ряда элементов $\{x_l, x_{l+1}, \dots, x_m\}$, состоящих из серии точек, и все они равны или больше значения точки равновесия $\bar{x}$. Отсюда следует, что $l \geq 0$ и $m \leq \infty$, или $l = 0$, или $l > 0$ и $x_{l-1} < \bar{x}$, или $m = \infty$ и $x_{m+1} < \bar{x}$

Определение 3: $\bar{x}$ отрицательная точка равновесия уравнения (2). $\{x_n\}$ является решением уравнения (2), отрицательное полуупражнение состоит из последовательности $\{x_l, x_{l+1}, \dots, x_m\}$, и все эти термины меньше, чем точка равновесия $\bar{x}$.

Отсюда следует, что $l \geq 0$ и $m \leq \infty$, или $l = 0$, или $l > 0$ и $x_{l-1} < \bar{x}$, или $m = \infty$ и $x_{m+1} < \bar{x}$.

Определение 4: Если $f_1 = 1, f_2 = 1, n \geq 3$, тогда $f_n = f_{n-1} + f_{n-2}$. Полученное число называются числом Фибоначчи.

Теперь находим положительную точку равновесия уравнения (1).

$$\bar{x} = \max\left\{\frac{1}{x}, \frac{\bar{y}}{x}\right\}; \bar{y} = \max\left\{\frac{1}{y}, \frac{\bar{x}}{y}\right\}. \text{ Отсюда получим}$$

$\bar{x} = \frac{1}{x}$ или $\bar{x} = \frac{\bar{y}}{x}; \bar{y} = \frac{1}{y}$ или $\bar{y} = \frac{\bar{x}}{y}$. Найдем $(\bar{x})^2 = 1$ и $(\bar{y})^2 = 1$. Также получим $\bar{x} = 1$ и $\bar{y} = 1$.

Лемма 1: $1 < x_{-4} < y_{-4}, 1 < x_{-3} < y_{-3}, 1 < x_{-2} < y_{-2}, 1 < x_{-1} < y_{-1}$ и $1 < x_0 < y_0$

По начальным условиям для уравнения (1) верно следующее:

- a) каждый положительный полуоборот состоит из пяти элементов.
- b) каждый отрицательный полуоборот состоит из пяти элементов.
- c) каждому положительному пятимерному полуобороту соответствует отрицательный пятимерный полуоборот.
- d) каждому отрицательному пятимерному полуобороту соответствует положительный пятимерный полуоборот.

Доказательство :

a), b), c), и d)

$1 < x_{-4} < y_{-4}, 1 < x_{-3} < y_{-3}, 1 < x_{-2} < y_{-2}, 1 < x_{-1} < y_{-1}, 1 < x_0 < y_0$ по начальным условиям,

$$x_1 = \max\left\{\frac{1}{x_{-4}}, \frac{y_{-4}}{x_{-4}}\right\} = \frac{y_{-4}}{x_{-4}} > \bar{x}$$

$$y_1 = \max\left\{\frac{1}{y_{-4}}, \frac{x_{-4}}{y_{-4}}\right\} = \frac{x_{-4}}{y_{-4}} < \bar{y}$$

$$x_2 = \max\left\{\frac{1}{x_{-3}}, \frac{y_{-3}}{x_{-3}}\right\} = \frac{y_{-3}}{x_{-3}} > \bar{x}$$

$$y_2 = \max\left\{\frac{1}{y_{-3}}, \frac{x_{-3}}{y_{-3}}\right\} = \frac{x_{-3}}{y_{-3}} < \bar{y}$$

$$x_3 = \max\left\{\frac{1}{x_{-2}}, \frac{y_{-2}}{x_{-2}}\right\} = \frac{y_{-2}}{x_{-2}} > \bar{x}$$

$$y_3 = \max\left\{\frac{1}{y_{-2}}, \frac{x_{-2}}{y_{-2}}\right\} = \frac{x_{-2}}{y_{-2}} < \bar{y}$$

$$x_4 = \max\left\{\frac{1}{x_{-1}}, \frac{y_{-1}}{x_{-1}}\right\} = \frac{y_{-1}}{x_{-1}} > \bar{x}$$

$$y_4 = \max\left\{\frac{1}{y_{-1}}, \frac{x_{-1}}{y_{-1}}\right\} = \frac{x_{-1}}{y_{-1}} < \bar{y}$$

$$x_5 = \max\left\{\frac{1}{x_0}, \frac{y_0}{x_0}\right\} = \frac{y_0}{x_0} > \bar{x}$$

$$y_5 = \max\left\{\frac{1}{y_0}, \frac{x_0}{y_0}\right\} = \frac{x_0}{y_0} < \bar{y}$$

$$x_1 > \bar{x}, x_2 > \bar{x}, x_3 > \bar{x}, x_4 > \bar{x}, x_5 > \bar{x}, x_6 < \bar{x}, x_7 < \bar{x}, x_8 < \bar{x}, x_9 < \bar{x}, x_{10} < \bar{x}, \dots$$

отсюда видно, что решение X_n следует P P P P P N N N N N P P P P P N N N N N ...

$y_1 < \bar{y}, y_2 < \bar{y}, y_3 < \bar{y}, y_4 < \bar{y}, y_5 < \bar{y}, y_6 > \bar{y}, y_7 > \bar{y}, y_8 > \bar{y}, y_9 > \bar{y}, y_{10} > \bar{y}$,
отсюда видно, что решение y_n следует N N N N N P P P P P N N N N N P P P P P ...

Наблюдается, что каждая положительная половина состоит из пяти элементов. Наблюдается, что каждая отрицательная половина состоит из пяти элементов. Из решений видно, что положительный возврат каждой половине половины в пять длин отрицательной доходности следуют пять длин. Из решения видно, что отрицательной возврат каждой половине половины в пять длин положительной доходности следует пять длин.

Теорема 1: Пусть $(X_n; y_n)$ является решением уравнения (1) $1 < x_{-4} < y_{-4}, 1 < x_{-3} < y_{-3}, 1 < x_{-2} < y_{-2}, 1 < x_{-1} < y_{-1}$ и $1 < x_0 < y_0$. Тогда для $n = 0, 1, 2, \dots$ имеем

$$\begin{aligned} x_{10n+1} &= \left(\frac{y_{-4}}{x_{-4}}\right)^{f(2n+2)}; x_{10n+2} = \left(\frac{y_{-3}}{x_{-3}}\right)^{f(2n+2)}; x_{10n+3} = \left(\frac{y_{-2}}{x_{-2}}\right)^{f(2n+2)}; x_{10n+4} = \left(\frac{y_{-1}}{x_{-1}}\right)^{f(2n+2)}; \\ x_{10n+5} &= \left(\frac{y_0}{x_0}\right)^{f(2n+2)}; x_{10n+6} = \left(\frac{x_{-4}}{y_{-4}}\right)^{f(2n+2)}; x_{10n+7} = \left(\frac{x_{-3}}{y_{-3}}\right)^{f(2n+2)}; x_{10n+8} = \left(\frac{x_{-2}}{y_{-2}}\right)^{f(2n+2)}; \\ x_{10n+9} &= \left(\frac{x_{-1}}{y_{-1}}\right)^{f(2n+2)}; x_{10n+10} = \left(\frac{x_0}{y_0}\right)^{f(2n+2)} \\ y_{10n+1} &= \left(\frac{x_{-4}}{y_{-4}}\right)^{f(2n+1)}; y_{10n+2} = \left(\frac{x_{-3}}{y_{-3}}\right)^{f(2n+1)}; y_{10n+3} = \left(\frac{x_{-2}}{y_{-2}}\right)^{f(2n+1)}; y_{10n+4} = \left(\frac{x_{-1}}{y_{-1}}\right)^{f(2n+1)}; \\ y_{10n+5} &= \left(\frac{x_0}{y_0}\right)^{f(2n+1)}; y_{10n+6} = \left(\frac{y_{-4}}{x_{-4}}\right)^{f(2n+3)}; y_{10n+7} = \left(\frac{y_{-3}}{x_{-3}}\right)^{f(2n+3)}; y_{10n+8} = \left(\frac{y_{-2}}{x_{-2}}\right)^{f(2n+3)}; \\ y_{10n+9} &= \left(\frac{y_{-1}}{x_{-1}}\right)^{f(2n+3)}; y_{10n+10} = \left(\frac{y_0}{x_0}\right)^{f(2n+3)} \end{aligned}$$

Доказательство: Эта теорема доказывается с помощью индуктивного умозаключения.

Теорема 2: Пусть $(X_n; y_n)$ является решением уравнения (1) $1 < x_{-4} < y_{-4}, 1 < x_{-3} < y_{-3}, 1 < x_{-2} < y_{-2}, 1 < x_{-1} < y_{-1}$ и $1 < x_0 < y_0$. Тогда для $n = 0, 1, 2, \dots$ имеем

$$\begin{aligned} \lim_{n \rightarrow \infty} x_{10n+1} &= \infty; \lim_{n \rightarrow \infty} x_{10n+2} = \infty; \lim_{n \rightarrow \infty} x_{10n+3} = \infty; \lim_{n \rightarrow \infty} x_{10n+4} = \infty; \lim_{n \rightarrow \infty} x_{10n+5} = \infty; \\ \text{а) } \lim_{n \rightarrow \infty} x_{10n+6} &= 0; \lim_{n \rightarrow \infty} x_{10n+7} = 0; \lim_{n \rightarrow \infty} x_{10n+8} = 0; \lim_{n \rightarrow \infty} x_{10n+9} = 0; \lim_{n \rightarrow \infty} x_{10n+10} = 0 \end{aligned}$$

$$\lim_{n \rightarrow \infty} y_{10n+1} = 0; \lim_{n \rightarrow \infty} y_{10n+2} = 0; \lim_{n \rightarrow \infty} y_{10n+3} = 0; \lim_{n \rightarrow \infty} y_{10n+4} = 0; \lim_{n \rightarrow \infty} y_{10n+5} = 0;$$

$$\lim_{n \rightarrow \infty} y_{10n+6} = \infty; \lim_{n \rightarrow \infty} y_{10n+7} = \infty; \lim_{n \rightarrow \infty} y_{10n+8} = \infty; \lim_{n \rightarrow \infty} y_{10n+9} = \infty; \lim_{n \rightarrow \infty} y_{10n+10} = \infty$$

Доказательство: это доказательство видно из теоремы 1 данной статьи.

Выводы: Мы исследовали поведение решений разностных уравнений максимумов только для одного из начальных условий. Исследователи могут решить разностные уравнения в соответствии с другими начальными условиями.

Список литературы

1. Папачинопулус Г. О максимальном разностном уравнении/ Г. Папачинопулус, В. Хатцифилиппидис.- Журнал математического анализа и приложений, 2001.- С.258-268.
2. Мишев Д.П. Взаимно-разностное уравнение с максимумом / Д.П. Мишев, В.Т. Патула, 2002.- С.1021-1026.
3. Вулов Х. Д. О периодическом характере некоторых разностных уравнений/ Х.Д. Вулов.- Журнал разностных уравнений и приложений, 2002.-С. 799-810.
4. Вулов Х. Д. Периодические решения разностного уравнения с максимумом/ Х.Д. Вулов.- Труды Американского математического сообщества, 2002.- С. 2155-2160.
5. Фуэр Ж. Периодические решения максимального уравнения Линесса/ Ж.Фуэр.- Журнал математического анализа и приложений, 2003.-С. 147-160.
6. Патула В. О максимальном виде рекурсивной связи с периодическими коэффициентами/ В.Патула, Х.Д. Вулов.- Журнал разностных уравнений и приложений, 2004.- С. 329-338.
7. Цинар Ц. О положительных решениях взаимно-разностного уравнения с минимумом /Ц.Цинар, С. Стевик, И. Ялчинкая.- Журнал приложений и математических вычислений, 2005.- С.307-314.
8. Шимшек Д. О решении разностного уравнения $x_{n+1} = \max\left\{\frac{1}{x_{n-1}}, x_{n-1}\right\}$ / Д.Шимшек, Ц.Цинар, И. Ялчинкая.- Международный журнал математической науки, 2006. – С.481-487.
9. Ян И. О разностном уравнении с максимумом/ И.Ян, И. Лиао, Ц. Ли.- Прикладная математика и вычисления, 2006.- С. 1-5.
10. Шимшек Д. О решении систем уравнений $x_{n+1}=\max\{1/(x_n, y_n)/x_n\}$; $y_{n+1}=\max\{1/y_n, x_n/y_n\}$ / Д. Шимшек, Б. Демир, А. Курбанли / Журнал педагогического факультета Ахмета Келешоглу, 2009.- С. 91-104.
11. Шимшек Д. О решениях системы разностных уравнений $x_{n+1}=\max\{A/x_n, y_n/x_n\}$, $y_{n+1}=\max\{A/y_n, x_n/y_n\}$ / Д.Шимшек, Б.Демир, Ц. Цинар/ Дискретная динамика в природе и обществе, 2009.- 11 с.

References

1. Papaschinopoulos, G. and Hatzifilippidis, V., (2001). On a max difference equation, Journal of Mathematical Analysis and Applications, 258, 258-268.
2. Mishev D. P. and Patula W. T.,(2002). A Reciprocal Difference Equation With Maximum, Comput. Math. Appl., 43, 1021-1026.
3. Voulov, H. D.,(2002). On the periodic character of some difference equations, Journal of Difference Equations and Applications, 8, 799-810.
4. Voulov, H. D.,(2002). Periodic solutions to a difference equation with maximum, Proceedings of the American Mathematical Society, 131, 2155-2160.
5. Feuer, J.,(2003). Periodic solutions of the Lyness max equation, Journal of Mathematical Analysis and Applications, 288, 147-160.
6. Patula, W. T. and Voulov, H. D.,(2004). On a max type recursive relation with periodic coefficients, Journal of Difference Equations and Applications, 10, 3, 329-338.
7. Cinar C., Stevic S. and Yalcinkaya I. (2005). On The Positive Solutions Of A Reciprocal Difference Equation With Minumum, J. Appl. Math. Computing, 17, 307-314.
8. Simsek, D., Cinar, C. and Yalcinkaya, I.,(2006). On the solution of the difference equation $x_{n+1} = \max\left\{\frac{1}{x_{n-1}}, x_{n-1}\right\}$, Int. J. M. Sci. 1,10, 481-487.
9. Yan, X., Liao, X. and Li, C.,(2006). On a difference equation with maximum, Applied Mathematics and Computation, 181, 1-5.
10. Simsek, D., Demir B. and Kurbanlı A.S.,(2009). $x_{n+1}=\max\{1/(x_n, y_n)/x_n\}$; $y_{n+1}=\max\{1/y_n, x_n/y_n\}$ Denklem Sistemlerinin Çözümleri Üzerine, Ahmet Keleşoğlu Eğitim Fakültesi Dergisi, 28, 91-104.
11. Simsek D., Demir B. and Cinar C.,(2009). On the Solutions of the System of Difference Equations $x_{n+1}=\max\{A/x_n, y_n/x_n\}$, $y_{n+1}=\max\{A/y_n, x_n/y_n\}$, Discrete Dynamics in Nature and Society, Volume 2009, Article ID 325296, 11 pages

ПРИБЛИЖЕННО-АНАЛИТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ДВУМЕРНОЙ ИНФИЛЬТРАЦИИ ЖИДКОСТИ В ГОРНЫХ СКЛОНАХ

Бийбосунов Б.И., д.ф.-м.н., профессор, КГУ им. И. Арабаева, Кыргызстан, 720026, Бишкек, ул. Раззакова, 51;

Уметалиев М.У., к.ф.-м.н., доцент, КГТУ им. И.Раззакова, Кыргызстан, 720044, Бишкек, пр. Мира 66;

Бексултанов Ж.Т., к.ф.-м.н., КГУ им. И. Арабаева, Кыргызстан, 720026, Бишкек, ул. Раззакова, 51

Исследуются процессы инфильтрации жидкости в нескальных горных склонах, подверженных оползневой опасности. Физический процесс инфильтрации жидкости, возникающий за счет атмосферных осадков, снеготаяния, поверхностного стока моделируется в виде нелинейной начально-краевой задачи в двумерной постановке, для решения которой применяется приближенно-аналитический метод, позволяющий находить частные решения в автомодельной форме.

Ключевые слова: жидкость, фильтрация, инфильтрация, оползень, оползневые склоны, нестационарное уравнение.

APPROXIMATE ANALYTICAL CALCULATION OF TWO-DIMENSIONAL INFILTRATION OF LIQUID AT HILLSIDES

Biibosunov B.I., professor, Kyrgyzstan, 720026, c. Bishkek, KSU named after I. Arabaev;

Umetaliyev M.U., PhD, Associate Professor, Kyrgyzstan, 720044, c. Bishkek, KSTU named after I. Razzakov;

Beksultanov J.T., PhD, Associate Professor, Kyrgyzstan, 720026, c. Bishkek, KSU named after I. Arabaev

There are researched the processes of liquid infiltration at wascally hillsides, affected by landslide risk. Physical process of liquid infiltration, occurred at the account of atmospheric sludge, snow melting, surface runoff is modelled as non-linear initial boundary value problem in two-dimensional formulation, for the solution of which is used approximate analytical method of solution, allowing to find prtial solutions in automodel form.

Keywords: liquid, filtration, infiltration, landslide, landslide slopes, nonstationary equation.

Предварительное изучение оползневых процессов, которые произошли на территории республики, показали, что основными факторами, определяющими развитие и активизацию оползневых явлений, являются процессы насыщения основной массы горных пород влагой как за счет подземных и грунтовых вод, так и за счет выпадения осадков, снеготаяния, поверхностного стока на склонах и т.д. Таким образом, значительное влияние на процессы формирования и активизации оползней Кыргызстана оказывают фильтрационные и инфильтрационные течения жидкости в горных склонах.

Математически процесс инфильтрации или движение жидкости в ненасыщенных средах можно моделировать относительно функции влажности для плоского случая в виде квазилинейного уравнения:

$$\frac{\partial W}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left[D(W) \frac{\partial W}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[D(W) \frac{\partial W}{\partial y} \right] + \frac{K(W)}{\partial y} \quad (1)$$

Начально-краевые условия, налагаемые на искомую функцию влажности, имеют вид:

$$\begin{aligned} W(x, y, t)|_{t=0} &= W_0(x, y) & 0 \leq t \leq T \\ W(x, y, t)|_{x=0} &= f_0(y, t) & 0 \leq x \leq H \\ W(x, y, t)|_{x=h} &= f_h(y, t) \\ W(x, y, t)|_{y=0} &= g_0(x, t) & 0 \leq y \leq H' \\ W(x, y, t)|_{y=h'} &= g_{h'}(x, t) \end{aligned} \quad (2)$$

Здесь $W(x, y, t)$ - искомая функция влажности, $D(W)$ - коэффициент диффузии, $K(W)$ - коэффициент влагопроводности (см. [2] – [3]).

Учитывая, что функции $W(x, y, t)$, $D(W)$, $K(W)$ являются аналитическими, их можно представить в виде ряда в окрестности точки, где $W(x, y, t)$ обращается в нуль. Тогда имеем:

Далее функции $W(x, y, t)$ и $K(W)$ разлагаем в ряд по малому параметру ε в виде:

$$W(x, y, t) = W_0(x, y, t) \cdot \varepsilon + W_1(x, y, t) \cdot \varepsilon^2 + W_2(x, y, t) \cdot \varepsilon^3 + W_3(x, y, t) \cdot \varepsilon^4 + \dots = \sum_{i=0}^{\infty} W_i(x, y, t) \cdot \varepsilon^{i+1} \quad (4)$$

$$K(W) = K_0 W_0 \cdot \varepsilon + K_1 W_1 \cdot \varepsilon^2 + K_2 W_2 \cdot \varepsilon^3 + K_3 W_3 \cdot \varepsilon^4 + \dots = \sum_{i=0}^{\infty} K_i W_i \cdot \varepsilon^{i+1} \quad (5)$$

Подставляя функции (3), (4) и (5) в уравнение (1) и приравнявая коэффициенты при одинаковых степенях ε , получаем следующие системы уравнений:

.....

Соответственно начальные и граничные условия имеют вид:

.....

Рассмотрим первое уравнение системы (6), так называемое уравнение нулевого приближения, т.е.

207

$$\begin{aligned}
 W_0(x, y, t)|_{t=0} &= W_{00}(x, y) & 0 \leq t \leq T \\
 W_0(x, y, t)|_{x=0} &= f_{00}(y, t) \\
 W_0(x, y, t)|_{x=h} &= f_{0h}(y, t) & 0 \leq x \leq H \\
 W_0(x, y, t)|_{y=0} &= g_{00}(x, t) \\
 W_0(x, y, t)|_{y=h'} &= g_{0h'}(x, t) & 0 \leq y \leq H'
 \end{aligned} \tag{9}$$

Решение начально-краевой задачи (8) – (9) ищем в автомодельной форме в виде функции:

$$W(x, y, t) = (x + y + t)^m \cdot f(z) \quad \text{где } z = \frac{1}{(x + y + t)^n} \tag{10}$$

Здесь m – показатель автомодельности. Находим частные производные:

$$\frac{\partial W_0}{\partial t}, \frac{\partial^2 W_0}{\partial x^2}, \frac{\partial^2 W_0}{\partial y^2}$$

и подставляя их в уравнение (8), после ряда несложных преобразований получим уравнение следующего вида:

$$f''(z) + \left[\frac{n-2m+1}{n} - \frac{K_0-1}{2D_0n} \cdot z^{-\frac{1}{n}} \right] \cdot z^{-n} \cdot f'(z) + \left[\frac{m(m-1)}{n^2} - \frac{m(K_0-1)}{2D_0n^2} \cdot z^{-\frac{1}{n}} \right] \cdot \frac{1}{z^{2n}} f(z) = 0 \tag{11}$$

Полагая в уравнении (11) $n=1$, получим:

$$z^3 f''(z) + \left[2(1-m) \cdot z + \frac{K_0-1}{2D_0} \right] \cdot z \cdot f'(z) + \left[m(m-1)z + \frac{m(K_0-1)}{2D_0} \right] f(z) = 0 \tag{12}$$

Введем обозначения:

$$a = 2(1-m); b = \frac{K_0-1}{2D_0}; c = m(m-1); d = \frac{m(K_0-1)}{2D_0} \tag{13}$$

Тогда уравнение (12) запишется в виде [1]:

$$z^3 f''(z) + (az + b) \cdot z \cdot f'(z) + (cz + d) f(z) = 0 \tag{14}$$

Полагая:

$$\begin{aligned}
 f(z) &= z^K \cdot U(z) \quad \text{где } K = -\frac{d}{b} = -m \text{ т.е.} \\
 f(z) &= z^{-m} \cdot U(z)
 \end{aligned} \tag{15}$$

получим из уравнения (14) следующее уравнение:

$$z^3 U''(z) + [(a-2m) \cdot z + b] \cdot z \cdot U'(z) + [(m(m+1) - ma + c) \cdot z + (d - bm)] U(z) = 0 \tag{16}$$

Как видно, $d - bm = 0$, тогда из последнего уравнения получим уравнения вида:

$$z^2 U''(z) + [(a-2m) \cdot z + b] \cdot U'(z) + [-m(a-m-1) + c] U(z) = 0 \tag{17}$$

Далее для дальнейшего упрощения полагаем:

$$U(z) = e^{\xi} \xi^{\nu} \eta(\xi) \quad \text{где } \xi = Z^{-1} \tag{18}$$

Тогда из уравнения (17) получим уравнение:

$$\begin{aligned}
 \xi^2 \eta''(\xi) + [(2-b)\xi + (2\nu+2-a)] \xi \cdot \eta'(\xi) + \\
 [(1-b)\xi + 2\nu+2-a-b\nu] \xi \cdot \eta(\xi) + [\nu^2 + (1-a)\nu + c] \eta(\xi) = 0
 \end{aligned} \tag{19}$$

В последнем уравнении потребуем, чтобы

$$\nu^2 + (1-a)\nu + c = 0 \quad (20)$$

Учитывая обозначения, из уравнения (20) получим:

$$\nu^2 + (2m-1)\nu + m(m-1) = 0, \quad (21)$$

корнями которого будут:

$$\nu_1 = 1-m; \quad \nu_2 = -m \quad (22)$$

Учитывая уравнение (20), из уравнения (19) получим:

$$\xi \cdot \eta''(\xi) + [(2-b)\xi + (2\nu+2-a)] \cdot \eta'(\xi) + [(1-b)\xi + (2\nu+2-a-b\nu)] \cdot \eta(\xi) = 0 \quad (23)$$

Для упрощения уравнения (23) полагаем, что:

$$\eta(\xi) = e^{\frac{b-3}{2}\xi} \cdot \varphi(\xi) \quad (24)$$

Подставляя функцию (24) в уравнение (23), после преобразования получаем:

$$\xi \cdot \varphi''(\xi) + [(2\nu+2-a)-\xi] \cdot \varphi'(\xi) + \left[\frac{1-b^2}{4} \xi + \frac{a+b(2-a)-2(\nu+1)}{2} \right] \cdot \varphi(\xi) = 0 \quad (25)$$

В последнем уравнении во избежание громоздких вычислений связываем коэффициенты теплопроводности и диффузивности соотношением $K_0 = 1 - 2D_0$, что вполне соответствует физическому толкованию, следовательно, $b = -1$. Тогда из последнего уравнения получаем:

$$\xi \cdot \varphi''(\xi) + [(2\nu+2-a)-\xi] \cdot \varphi'(\xi) + (\nu+2-a) \cdot \varphi(\xi) = 0 \quad (26)$$

Введем обозначения

$$p = 2\nu+2-a; \quad q = \nu+2-a \quad (27)$$

и из последнего уравнения имеем

$$\xi \cdot \varphi''(\xi) + (p-\xi) \cdot \varphi'(\xi) + q \cdot \varphi(\xi) = 0, \quad (28)$$

решение которого запишется в виде:

$$\varphi(\xi) = A_1 \cdot \Phi_1(q; p; \xi) + A_2 \cdot \xi^{1-p} \Phi_2(q-p+1; 2-p; \xi), \quad (29)$$

где A_1 и A_2 - произвольные постоянные; Φ_1 и Φ_2 - вырожденные гипергеометрические функции. Подставляя функцию (29) в формулу (24), найдем:

$$\eta(\xi) = e^{-2\xi} \cdot [A_1 \cdot \Phi_1(q; p; \xi) + A_2 \cdot \xi^{1-p} \Phi_2(q-p+1; 2-p; \xi)], \quad (30)$$

где $\xi = Z^{-1}$. Далее, подставляя функцию (30) в соотношение (18), получаем функцию:

$$U(z) = e^{\frac{1}{z}} \cdot z^{-\nu} [A_1 \cdot \Phi_1(q; p; z^{-1}) + A_2 \cdot z^{p-1} \Phi_2(q-p+1; 2-p; z^{-1})] \quad (31)$$

Теперь, подставляя функцию (31) в формулу (15), найдем решение уравнения (14):

$$f(z) = e^{\frac{1}{z}} \cdot z^{-\nu-m} [A_1 \cdot \Phi_1(q; p; z^{-1}) + A_2 \cdot z^{p-1} \Phi_2(q-p+1; 2-p; z^{-1})], \quad (32)$$

где A_1 и A_2 - произвольные постоянные; Φ_1 и Φ_2 - вырожденные гипергеометрические функции; m - показатель автомодельности; ν определяется по формуле (22), p и q - формулой (27). Теперь, учитывая корни $\nu_1 = 1-m$, $\nu_2 = -m$, определяем параметры p и q :

$$\text{при } v_1 = 1 - m; \quad q_1 = 1 + m, \quad p_1 = 2$$

$$\text{при } v_2 = -m; \quad q_2 = m, \quad p_2 = 0$$

Как видно, при $v = -m$ второй параметр $p = 0$. Это означает, что при $v = -m$, решение уравнения не существует. При $v = 1 - m$, второй параметр $p = 2$ – это целое число. Тогда согласно теории вырожденных гипергеометрических функций следует, что если второй параметр вырожденной гипергеометрической функции, т.е. p – является целым числом, то гипергеометрическая функция Φ дает лишь одно решение вырожденного гипергеометрического уравнения, следовательно, второго решения не существует. Поэтому, ввиду целочисленности параметра $p = 2$, ограничимся только первым решением, которое запишется в виде:

$$f(z) = e^{-\frac{1}{z}} \cdot z^{-v-m} A_1 \cdot \Phi(1 - m; 2; z^{-1}), \quad (33)$$

где A_1 – произвольная постоянная.

Подставляя функцию (33) в соотношение (10), получим решение уравнения (8) окончательно в виде функции:

$$W_0(x, y, t) = A e^{-(x+y+t)} \cdot (x + y + t)^{1+m} \cdot \Phi(1 + m; 2; (x + y + t)), \quad (34)$$

где A – произвольная постоянная, определяемая согласно начально-краевым условиям (2), Φ – вырожденная гипергеометрическая функция.

Список литературы

1. Камке Э. Справочник по обыкновенным дифференциальным уравнениям. – М., Наука, 1976 г.
2. Полубаринова – Кочина П. Я. Теория движения грунтовых вод. – М., Наука, 1977 г.
3. Бийбосунов Б., Уметалиев М. Аналитические и приближенно-аналитические методы фильтрации и инфильтрации жидкости в различных средах. – Бишкек, Илим, 1998 г.

References

1. Kamke E. Manual on elementary differential equations. Moscow, Science, 1976.
2. Polubarinova–Kochina P. Theory of underground water movement. Moscow, Science, 1977.
3. Biiibosunov B., Umetaliev M. Analytical and approximate analytical methods of filtration and liquid infiltration in various environment. Bishkek, Science, 1998.

УДК 532.546

ОПТИМАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ УРОВНЕМ ГРУНТОВЫХ ВОД С ПОМОЩЬЮ НАПОРНЫХ

Мурзакматов М.У., Маданбекова Э.Э., д.ф.-м.н., Ысык-Кульский государственный университет им. К.Тыныстанова, г. Каракол, Кыргызская Республика, e-mail: elmira.madanbekova.70@mail.ru

Цель статьи – разработка и апробация алгоритма решения задач по оптимальному управлению уровнем грунтовых вод с помощью напорных. Рассмотрена возможность управления уровнем грунтовых вод путем изменения напоров в напорном водоносном слое. В задаче требуется построить управляющую функцию, которая доставляет минимум функционалу. Предложен алгоритм решения этой задачи, в котором применяются метод конечных элементов, обобщенный принцип Галеркина и формула Грина. Вычисления производятся с применением итераций. Изложенный алгоритм отлажен на ряде тестовых задач. Приведены точные и приближенные значения искомых функций в некоторых узлах сетки.

Ключевые слова: оптимальное управление, уровень грунтовых вод, алгоритм, напорный горизонт, фильтрация, водоносный слой, функционал, минимизация.

OPTIMAL CONTROL OVER THE LEVEL OF THE GROUT WATERS BY MEANS OF PRESSURE

Murzakmatov M.U., Madanbekova E.E. Dr., Isyk-Kul State University after named K.Tynystanov, Karakol, Kyrgyz Republic, e-mail: elmira.madanbekova.70@mail.ru

Purpose of the article is to develop algorithm of the solution of optimal control over the level of the ground waters by means of pressure. Possibility of control over the level of the ground waters by changing pressure in pressure waters layer. Is considered in required to build the controlling function, which delivers the minimum to functional. Algorithm of the solution of this problem, in which are used method finite elements, generalised principle Galerkina and formula Grina, are offered the calculations are produced with using iteration. The Stated algorithm examined on row of the test problems. There are brought up exact and app roxinate variables of sought functions in some nodes of the net.

Keywords: Optimal control, level of the ground waters, algorithm, pressure horizon, filtering, aquifers layer, functional, minimization.

В работах [4-6] оптимальное управление уровнем грунтовых вод (УГВ) осуществляется устройством горизонтальных и вертикальных дрена в покровном слое. В случае отсутствия горизонтального течения грунтовых вод в покровном слое управление УГВ возможно лишь с помощью скважин, пробуренных в основной напорный горизонт.

Рассмотрим движение подземных вод в двухслойном пласте, при этом считаем, что движение грунтовых вод происходит только в вертикальном направлении. В такой постановке движение подземных вод в двухслойном пласте описывается следующей системой дифференциальных уравнений[1-3,7]:

$$\begin{cases} \mu_b \frac{\partial h}{\partial t} + k_b \frac{h-H}{m_b} = f, \\ \mu_{\text{ynp}} \frac{\partial H}{\partial t} - \frac{\partial}{\partial x} \left(T \frac{\partial H}{\partial x} \right) - \frac{\partial}{\partial y} \left(T \frac{\partial H}{\partial y} \right) - k_b \frac{h-H}{m_b} + \frac{k_n}{m_n} (H-Z) + F = W, \\ (x, y) \in D, \quad t > 0, \end{cases} \quad (1)$$

с начальными

$$\begin{aligned} h(x, y, 0) &= h_0(x, y), \\ H(x, y, 0) &= H_0(x, y), \end{aligned} \quad (x, y) \in D, \quad (2)$$

и граничными

$$T \frac{\partial H}{\partial n} + \beta H = \alpha, \quad (x, y) \in S = \partial D, \quad t > 0, \quad (3)$$

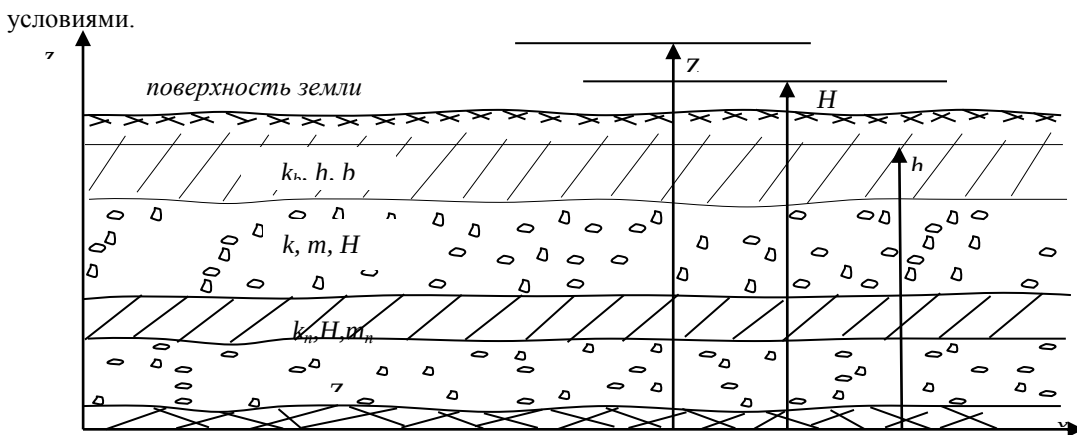


Рис.1. Схема строения многослойных пластов

В задаче (1)–(3) приняты следующие обозначения: $h(x, y, t)$, $H(x, y, t)$, $Z(x, y)$ – отметки УГВ в верхнем покровном слое и напоров в основном и нижележащем напорных пластах соответственно; $T(x, y) = k \cdot m$ – водопроницаемость основного напорного горизонта; $k_b(x, y)$, $k(x, y)$, $k_n = \text{const}$, $m_b(x, y, t) = h(x, y, t) - b(x, y)$, $m(x, y)$, $m_n = \text{const}$ – коэффициенты фильтрации и мощности верхнего, основного водоносного слоев и слабопроницаемой прослойки; $\mu_b(x, y)$ и $\mu_{\text{ynp}}(x, y)$ – коэффициенты водоотдачи и упругости верхнего и основного напорного слоев; $f(x, y, t)$ – функция

источников и стоков грунтовых вод; $W(x, y, t)$ – функция, учитывающая перетоки между напорными горизонтами; $b(x, y)$ – поверхность раздела между покровным слоем и основным напорным горизонтом; $h_0(x, y)$ и $H_0(x, y)$ – начальные распределения УГВ и напоров; $\beta(x, y, t)$ и $\alpha(x, y, t)$ – заданные функции; D – область фильтрации в плане, $S = \partial D$ – ее граница; $n = (\cos(n, x), \cos(n, y))$ – внешняя нормаль к границе области; $\frac{\partial}{\partial n}$ – производная по этой нормали.

Функция $F(x, y, t)$ выражает дебит эксплуатационных скважин, отбирающих воду из основного напорного горизонта, т.е. управление УГВ осуществляется с помощью этой функции.

Задача оптимального управления УГВ ставится следующим образом [1,4]. Требуется построить такую управляющую функцию $F(x, y, t)$, которая при $t \geq t_0$ доставляет минимум функционалу

$$J(F) = \iint_D [h(x, y, t_0; F(x, y, t_0)) - \varphi(x, y)]^2 dx dy + \gamma \iint_D \int_{t_0}^{t_1} [F(x, y, t)]^2 dx dy dt, \quad (4)$$

где $h(x, y, t; F)$ – УГВ; $\varphi(x, y)$ – заданная функция, равная оптимальному УГВ; $\gamma > 0$ – параметр регуляризации; t_0 – заданное значение времени.

Функция $F_{opt}(x, y, t)$ – доставляющая минимум функционалу (4), называется оптимальным управлением, а соответствующая ей функция $h_{opt}(x, y, t)$ – оптимальным УГВ. Функция $h(x, y, t; F)$ из формулы (4) определяется из задачи (1)–(3).

Теперь рассмотрим алгоритм решения этой задачи.

Образует временную сетку с шагом $\Delta t_s = t_s - t_{s-1}$, $s = 1, 2, \dots$ и, применяя неявную абсолютно устойчивую разностную схему с весом $\sigma = 1$, запишем разностные аналоги уравнений (1), (3):

$$\begin{cases} \mu_b \frac{h^s - h^{s-1}}{\Delta t_s} + k_b \frac{h^s - H^s}{m_b} = f^s, \\ \mu_{\text{гп}} \frac{H^s - H^{s-1}}{\Delta t_s} - \frac{\partial}{\partial x} \left(T \frac{\partial H^s}{\partial x} \right) - \frac{\partial}{\partial y} \left(T \frac{\partial H^s}{\partial y} \right) - k_b \frac{h^s - H^s}{m_b} + \frac{k_n}{m_n} (H^s - Z) + F^s = W^s, \end{cases}$$

или

$$\begin{cases} h^s = \frac{\left(\frac{\mu_b}{\Delta t_s} h^{s-1} + \frac{k_b}{m_b} H^s + f^s \right)}{\left(\frac{\mu_b}{\Delta t_s} + \frac{k_b}{m_b} \right)}, \\ LH^s = V^s, \end{cases} \quad (5)$$

$$l H^s = \alpha^s, \quad (7)$$

где

$$\begin{aligned} L &= -\frac{\partial}{\partial x} \left(T \frac{\partial}{\partial x} \right) - \frac{\partial}{\partial y} \left(T \frac{\partial}{\partial y} \right) + Q_b, \\ l &= T \frac{\partial}{\partial n} + \beta^s, \\ V^s &= \frac{\mu_{\text{гп}}}{\Delta t_s} H^{s-1} + \frac{k_b}{m_b} h^s + \frac{k_n}{m_n} Z - F^s + W^s, \\ Q_b &= \frac{\mu_{\text{гп}}}{\Delta t_s} + \frac{k_b}{m_b} + \frac{k_n}{m_n}. \end{aligned} \quad (8)$$

Систему уравнений (5), (6) решаем численно методом конечных элементов. Для этого область фильтрации D разбиваем на m треугольных элементов, для каждого элемента введем линейные базисные

функции $N(x, y)$ и представим искомые функции в виде следующих сумм:

$$h_n(x, y, t_s) = \sum_{j=1}^n h_j(t_s) N_j(x, y), \quad (9)$$

$$H_n(x, y, t_s) = \sum_{j=1}^n H_j(t_s) N_j(x, y) \quad (10)$$

где, $h_j(t_s) = h(x_j, y_j, t_s)$ $H_j(t_s) = H(x_j, y_j, t_s)$ – значения искомых функций h и H в точке (x_j, y_j) в момент времени t_s ; $N(x, y) = a + bx + cy$ – линейная базисная функция.

В уравнениях (6) и (7) вместо $H(x, y, t)$ подставим функцию $H_n(x, y, t)$ из формулы (10) и применим обобщенный принцип Галеркина:

$$\iint_D N_i (LH_n^s - V^s) d\sigma + \int_S N_i (LH_n^s - \alpha^s) ds = 0, \quad (11)$$

$$i = 1, 2, \dots, n.$$

Преобразуем первый интеграл в левой части по формуле Грина и приходим к системе линейных алгебраических уравнений относительно искомых значений функции $H(x, y, t_s)$ в узлах сетки:

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} H_j^s = b_i, \quad i = 1, 2, \dots, n; \quad s = 1, 2, \dots \quad (12)$$

$$a_{ij} = \iint_D T(x, y) \left(\frac{\partial N_i}{\partial x} \frac{\partial N_j}{\partial x} + \frac{\partial N_i}{\partial y} \frac{\partial N_j}{\partial y} \right) d\sigma + \iint_D N_i Q_b d\sigma + \int_S N_i \beta ds,$$

где

$$b_i = \iint_D N_i V d\sigma + \int_S N_i \alpha ds.$$

Используя начальные значения функций h и H , решаем систему (12) и находим приближенные значения функции H , после чего по формуле (5) вычисляем значения функции h . Поскольку функции h и H взаимосвязаны по формулам (5) и (8), вычисления производятся с применением итераций.

Переходим теперь к поставленной задаче. Значения УГВ и напоров вычисляются в дискретном множестве точек, поэтому вместо функционала (4) мы минимизируем его дискретный аналог

$$J(F) = \sum_{i=1}^n [h(x_i, y_i, t_0; F_i) - \varphi(x_i, y_i)]^2 + \gamma \sum_{i=1}^n F_i^2, \quad (13)$$

где n – число узлов расчетной сетки.

Мы должны отыскать такие значения функции $F(x, y, t)$, которые доставляют функции $J(F)$ минимум. Функция $h(x, y, t; F)$ в общем случае зависит от управления нелинейно. Линеаризуем ее относительно F , разлагая ее в ряд Тейлора, ограничиваясь первыми двумя членами ряда:

$$h(F) = \tilde{h} + \sum_{j=1}^n (F_j - \tilde{F}_j) \frac{\partial h}{\partial F_j} + R_2(\Delta F). \quad (14)$$

Здесь $\tilde{h} = h(\tilde{F})$, $\tilde{F}$ – известное значение управляющей функции F , найденное в предыдущей итерации; R_2 – остаточный член ряда. Это выражение для $h(F)$ подставим в формулу (13):

$$J(F) = \sum_{i=1}^n \left[\tilde{h} + \sum_{j=1}^n (F_j - \tilde{F}_j) \frac{\partial h_i}{\partial F_j} - \varphi_i \right]^2 + \gamma \sum_{i=1}^n F_i^2. \quad (15)$$

Находим минимум функции $J(F)$, зависящей от n переменных $F_1, F_2, \dots, F_n$, для чего образуем систему уравнений $\frac{\partial J(F)}{\partial F_k} = 0$, $k = 1, 2, \dots, n$.

Имеем

$$\sum_{i=1}^n \left[\tilde{h}_i + \sum_{j=1}^n (F_j - \tilde{F}_j) \frac{\partial h_i}{\partial F_j} - \varphi_i \right] \frac{\partial h_i}{\partial F_k} + \gamma F_k = 0,$$

или

$$\sum_{j=1}^n a_{kj} F_j = b_k, k = 1, 2, \dots, n, \quad (16) \text{ где}$$

$$a_{kj} = \sum_{i=1}^n \frac{\partial h_i}{\partial F_k} \frac{\partial h_i}{\partial F_j} \quad \text{при } k \neq j,$$

$$a_{kk} = \sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial h_i}{\partial F_k} \right)^2 + \gamma,$$

$$b_k = \sum_{i=1}^n \left(\varphi_i - \tilde{h}_i + \sum_{j=1}^n \frac{\partial h_i}{\partial F_j} \tilde{F}_j \right) \frac{\partial h_i}{\partial F_k}.$$

Задача минимизации функции (13) также решается итерацией, которая продолжается до выполнения условий

$$\begin{aligned} |h^{(v)}(x, y, t_0) - h^{(v-1)}(x, y, t_0)| &< \varepsilon_1, \\ |F^{(v)}(x, y, t_0) - F^{(v-1)}(x, y, t_0)| &< \varepsilon_2, \end{aligned}$$

где $\varepsilon_1, \varepsilon_2$ – заданные малые числа, v – номер итерации;

Изложенный алгоритм отлажен на ряде тестовых задач. Рассмотрим одну из них. Область фильтрации в плане представляет собой круг радиуса $r=3000$ м, на границе которого заданы граничные условия (3). Проведя концентрические окружности радиуса 1000 м и 2000 м, область разбиваем на 55 элементов, число узлов при этом $n=39$. Шаг по времени равномерный, длина временного отрезка $t_0 = 360$ сут. Задача решалась с различными шагами $\Delta t = 1$ сут, 10 сут, 30 сут.

В табл.1. приведены точные и приближенные значения искомых функций в некоторых узлах сетки. Узел №20 расположен в центре области.

Таблица 1

Результаты тестовой задачи					
Расстояние от центра, м	Узлы				
	Точные значения, м				
	Приближенные значения, м				
	Относительные погрешности, %				
3000	Узлы	2	6	29	35
	Точные знач. УГВ	650.00	650.00	650.00	650.00
	Приб.знач. УГВ	649.50	649.45	649.46	649.43
	Отн.пог. УГВ	0.08	0.084	0.083	0.088
2000	Узлы	7	12	28	33
	Точные знач. УГВ	661.25	661.25	661.25	661.25
	Приб.знач. УГВ	661.00	660.95	660.84	660.97
	Отн.пог. УГВ	0.037	0.045	0.062	0.042
1000	Узлы	13	19	21	27
	Точные знач. УГВ	667.83	667.83	667.83	667.83
	Приб.знач. УГВ	667.61	667.63	667.65	667.60
	Отн.пог. УГВ	0.033	0.029	0.026	0.034
0	Узлы	20			
	Точные знач. УГВ	670.00			
	Приб.знач. УГВ	669.85			
	Отн.пог. УГВ	0.022			

Выводы. Получены точные и приближенные значения искомых функций в узлах сетки. Предложенный алгоритм решения задачи и результаты для тестов свидетельствуют о применимости данной работы. В настоящее время оптимальное управление грунтовыми водами является актуальным, поэтому требуется произвести глобальное исследование по этой теме.

Список литературы

1. Абуталиев Ф.Б., Абуталиев Э.Б. Методы решения задач подземной гидромеханики на ЭВМ. – Ташкент: ФАН, 1968. – 143 с.
2. Васильев П.В. Методы решения экстремальных задач. – М.: Наука, 1981. – 400 с.
3. Джаныбеков Ч.Дж. Математическое моделирование движения грунтовых вод в многослойных средах. – Фрунзе: Илим, 1982. – 288 с.
4. Мурзакуматов М.У., Маданбекова Э.Э. Оптимальное управление уровнем грунтовых вод в многослойных пластах. // Известия КГТУ им. И.Раззакова, №17, Бишкек: 2009. – с188–191.

5. Маданбекова Э.Э. Пример оптимального управления уровнем грунтовых вод в многослойных пластах в установившемся режиме. //Альманах современной науки и образования, №7(50). –Тамбов: 2011.–с 64–68.

6. Мурзакматов М.У., Маданбекова Э.Э. Задача оптимального управления уровнем грунтовых вод в слоистых пластах. //Известия КГТУ им. И.Раззакова, №24, Бишкек: 2011.–с154–159.

7. Полубаринова-Кочина П.Я., Пряжинская В.Г., Эмих В.Н. Математические методы в вопросах орошения. – М.: Наука, 1969.– 414 с.

References

1. Abutaliev F.B., Abutaliev E.B. Metody resheniya zadach podzemnoy gidromekhaniki na EVM.[The methods of the decision of the underground hydromechanical problems on computer] –Tashkent: FAN, 1968.–page143

2. Vasiliev P.V. Metody reshenia ekstremal'nykh zadach. [The Methods of the decision of the extreme problems] –Moscow: Nauka, 1981.–400 с.

3. Djanybekov Ch.Dj. Matematicheskie modelirovanie dvizheniya gruntovykh vod v mnogosloynnykh sredakh.[Mathematical modeling of the motion ground waters in the multilayer ambience] –Frunze: Ilim, 1982.- page 288

4. Murzakvatov M.U., Madanbekova E.E. Optimalnoe upravlenie urovнем gruntovykh vod v mnogosloynnykh plastakh [Optimal control over the lever of the ground waters in the multilayer aquifers] //Izvestiya, KGTU im. I.Razzakov , №17, Bishkek : 2009.–page 188–191.

5. Маданбекова Э.Э. Пример оптимального управления уровнем грунтовых вод в многослойных пластах в установившемся режиме [The example of optimal control over the lever of the ground waters in the multilayer aquifers in formed mode]//Альманах современной науки и образования, №7(50). – Тамбов: 2011.– page 64–68.

6. Murzakvatov M.U., Madanbekova E.E. Zadacha optimalnogo upravleniya urovнем gruntovykh vod v sloistykh plastakh. [The problem of the control over the level of the ground waters in the multilayer aquifers] //Izvestiya, KGTU im. I.Razzakov , №24, Bishkek : 2011. .–page 154–159.

7. Polubarinova-Kochina P.Ya., Pryazhinskaya V.G., Emikh V.N. Matematicheskie metody v voprosakh orosheniya [The Mathematical methods in questions of the irrigation]–Moscow : Nauka, 1969.–page 414 .

УДК 631.6 (575.2)

К РЕЗУЛЬТАТАМ ИССЛЕДОВАНИЙ ОСНОВНЫХ ПОЛОЖЕНИЙ МОДЕЛИ НЕТРАДИЦИОННОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ РЕЖИМНЫХ ПАРАМЕТРОВ ОТКРЫТЫХ ВОДОТОКОВ

Пресняков К.А., Керимкулова Г.К., Аскалиева Г.О., Институт автоматизации и информационных технологий НАН КР, г. Бишкек, Кыргызстан, gulsaat@mail.ru

Уточнены условия пользования преобразованными соотношениями Ю.А. Ибад-Заде для средней скорости водного потока, распределением относительной мутности воды по глубине потока К. Загустина.

Расширен круг аналитических материалов, привлекаемых к реализации рассматриваемой модели за счет включения в него выведенных формул средней скорости и распределений относительной мутности воды для полумпирических теорий Кармана, Тэйлора-1, Тэйлора-2.

На основе анализа характерных скоростей воды в нижней части водотока выявлен преимущественный профиль скорости воды – показательный и сформирована кинематическая структура нижней части водного потока.

Ключевые слова: относительная мутность воды, модели нетрадиционной идентификации режимных параметров открытых водотоков

TO RESEARCH CONCEPTS IN THE MODEL ALTERNATIVE IDENTIFICATION REGIME PARAMETERS FLUME

Presnyakov K.A., Kerimkulova G.K., Askalieva G.O., Institute of Automation and Information Technology, National Academy of Sciences., Bishkek, Kyrgyzstan, gulsaat@mail.ru

Specified conditions of use transformed relations Y.A. Ibad-Zade for the average velocity of water flow, the distribution of the relative turbidity of the water flow depth K. Zagustina.

The range of analytical materials involved in the implementation of the model due to the inclusion of the formulas derived average velocity distributions and the relative turbidity of the water for the semi-empirical theories Karman, Taylor-1, 2-Taylor.

Based on the analysis of characteristic velocity of water in the bottom of the watercourse identified preferred velocity profile of water - demonstration and formed the kinematic structure of the bottom of the water flow.

Keywords: relative turbidity, identification of non-traditional model of regime parameters of open watercourses

Центральным ядром модели нетрадиционной идентификации режимных параметров открытых водотоков является [1] ее метод, основанный на диффузионной и гравитационной полуэмпирических теориях взвесенесущих потоков воды. Основными характеристиками указанных теорий, как впрочем и практической гидравлики, выступают скорость воды и мутность потока. Однако не все в упомянутых вопросах остается ясным, выявляется ряд «темных» пятен, нуждающихся не только в уточнениях, но в дополнительном их изучении и анализе.

Например, Г.О. Аскалиевой [2] получены формулы для средней (по сечению потока) скорости воды в случаях употребления полуэмпирических теорий Кармана, Тэйлора-1 и Тэйлора-2:

Карман –

$$\bar{u} = \frac{u_*}{0,4} \left\{ -\frac{d_{отм}}{H} \ln \left(1 - \sqrt{1 - \frac{d_{отм}}{H}} \right) - \left(\frac{1 - \frac{d_{отм}}{H}}{2} + \sqrt{1 - \frac{d_{отм}}{H}} \right) + \frac{2}{3} \left(1 - \frac{d_{отм}}{H} \right)^{\frac{3}{2}} \right\} + u_m \left(1 - \frac{d_{отм}}{H} \right); \quad (1)$$

Тэйлор -1 –

$$\bar{u} = \frac{u_*}{0,23} \left\{ \frac{d_{отм}}{H} \ln \frac{1 + \sqrt{1 - \frac{d_{отм}}{H}}}{1 - \sqrt{1 - \frac{d_{отм}}{H}}} - 2 \sqrt{1 - \frac{d_{отм}}{H}} \right\} + \frac{4 \cdot u_*}{0,69} \left(1 - \frac{d_{отм}}{H} \right)^{\frac{3}{2}} + u_m \cdot \left(1 - \frac{d_{отм}}{H} \right); \quad (2)$$

Тэйлор -2 –

$$\bar{u} = u_m - 0,59u_*, \quad (3)$$

где, u_* , u_m – динамическая и максимальная скорости водного потока, м/с; H – глубина наполнения водотока, м; $d_{отм}$ – диаметр частиц отмытки русла водотока, м, а

Г.К. Керимкуловой [2] – формулы распределения относительной мутности воды по глубине потока для указанных теорий:

Карман –

$$\tilde{S}(\tilde{y}) = \left(\frac{(1 - \tilde{y}) \cdot (\sqrt{1 - \tilde{y}} + 1) \cdot \tilde{\Delta} \cdot (\sqrt{1 - \tilde{\Delta}} - 1)}{\tilde{y} \cdot (\sqrt{1 - \tilde{y}} - 1) \cdot (1 - \tilde{\Delta}) \cdot (\sqrt{1 - \tilde{\Delta}} + 1)} \right)^{\frac{w}{0,8 \cdot u_*}}; \quad (4)$$

Тэйлор-1–

$$\tilde{S}(\tilde{y}) = \left(\frac{(\sqrt{1 - \tilde{y}} + 1) \cdot (\sqrt{1 - \tilde{\Delta}} - 1)}{(\sqrt{1 - \tilde{y}} - 1) \cdot (\sqrt{1 - \tilde{\Delta}} + 1)} \right)^{\frac{w}{0,23 \cdot u_*}}; \quad (5)$$

Тэйлор-2–

$$\tilde{S}(\tilde{y}) = \exp \left\{ -\frac{\sqrt{2} \cdot w}{0,34 \cdot u_*} \cdot \left[2 \arcsin \sqrt{\tilde{y}} - 2 \arcsin \sqrt{\tilde{\Delta}} \right] \right\}, \quad (6)$$

где W – средняя гидравлическая крупность частиц взвешенных наносов, м/с.

Формулы (1) – (6) восполняют отсутствие в рассматриваемых теориях формул для вычисления $\bar{u}$, $\tilde{S}(\tilde{y})$, а, кроме того, расширяют поле реализации рассматриваемой модели.

При привлечении к анализу соотношений Ю.А. Ибад-Заде [3] преобразованные к компактному виду формулы средней скорости потока имеют следующий вид:

«0» – приближение

$$\bar{u} = 0,5 \cdot u_m \cdot \left(1 + \frac{u_d}{u_m} \right) + 0,17 \frac{m_1}{\sqrt{g}} \cdot u_*; \quad (7)$$

«I» – приближение

$$\bar{u} = 0,5 \cdot u_m \cdot \left(1,1 + 0,9 \cdot \frac{u_d}{u_m} \right) + 0,236 \cdot \frac{m_1}{\sqrt{g}} \cdot u_*; \quad (8)$$

«II» – приближение

$$\bar{u} = 0,5 \cdot u_m \cdot \left(1,18 + 0,82 \cdot \frac{u_d}{u_m} \right) + 0,286 \cdot \frac{m_1}{\sqrt{g}} \cdot u_*, \quad (9)$$

где u_d – придонная скорость потока, м/с; g – ускорение свободного падения, м/с²;

$$m_1 = 0,35 \cdot C + 3 \quad (10)$$

C – коэффициент Шези, м^{1/2}/с;

$$\frac{u_d}{u_m} = A_0 + A_1 \cdot \frac{\bar{u}}{u_m} + A_2 \cdot \frac{m_1}{\sqrt{g}} \cdot \frac{u_*}{u_m}, \quad (11)$$

где A_0, A_1, A_2 – некоторые коэффициенты.

Формулы (7) – (9) позволяют установить порядок пользования соотношениями Ю.А. Ибад-Заде. Кроме того, выявлено, что если в (11) подставлять эмпирические отношения $\frac{\bar{u}}{u_m}$, то расчетная и экспериментальная средние скорости воды в точности равны друг другу. Получается ситуация: что подставляем на входе, то получаем на выходе (по крайней мере, для приближения 0). Поэтому предложено в формуле (11) для $\frac{\bar{u}}{u_m}$ брать расчетные значения этого отношения согласно методическим указаниям [4].

При работе с профилем относительной мутности K . Загустина выявлена главная неопределенность, присущая основополагающему параметру z , куда входит неопределенная численная константа β_3 . Это обстоятельство мешает практическому использованию формулы K . Загустина. Нами предложено указанный параметр определять как среднее значений в точках измерения на вертикали, за исключением двух точек: точки, соответствующей выступу шероховатости дна водотока, и точки, предшествующей этому выступу. Поэтому логика пользования указанным распределением заключается [5] в предварительном определении $\bar{z}$ на основе эмпирических данных.

Но наибольшую пищу для размышлений получаем при исследовании скоростей воды в нижней части водотока. В работе [6] установлено, что из 12 рассмотренных профилей относительной скорости воды только один – показательный позволяет получить значения скорости на выступе шероховатости дна водотока, близкие к эмпирическим, и соблюсти при этом условие прилипания.

В совместной работе Г.К. Керимкуловой и Г.О. Аскалиевой [7] проведен анализ вопроса о придонной скорости потока воды. Выявлено, что указанное понятие носит неопределенный характер. Во всяком случае не удастся определить координату точки (на вертикали измерения) наблюдения рассматриваемой характеристики. Кроме того, Г.К. Керимкуловой [7] (вслед за Доу Го-женем) выведена формула для относительной придонной скорости воды

$$\tilde{u}_d = \frac{1}{1 + H/2\ell}, \quad (12)$$

где ℓ – длина пути смешения, м.

Эта формула также не позволяет определить искомую координату, и она выведена с использованием неопределенных понятий (коэффициента виртуальной вязкости, длины пути смещения) и пренебрежением условием прилипания.

Одним из авторов настоящей работы проанализирован (вслед за М.А. Великановым) вопрос о динамической скорости водного потока. Установлено [8], что при допущениях о возможности применения формулы скорости на границе ламинарного пограничного слоя (гладкая стенка) для случая шероховатого дна и о равенстве скорости на границе ламинарного слоя динамической скорости, – что только показательный профиль скорости воды позволяет определить координату точки наблюдения динамической скорости, а толщину ламинарного слоя можно оценить по формуле

$$\tilde{\delta} = \frac{\nu}{u_* \cdot H}, \quad (13)$$

где $\tilde{\delta}$ – относительная толщина ламинарного слоя; ν – коэффициент кинематической вязкости, м²/с. Соотношение (13) получено из квадратного уравнения $\tilde{\delta}^2 - 2\tilde{\delta} + \frac{2\nu}{u_* \cdot H} = 0$ при условии, что первым членом

($\tilde{\delta}^2$) можно пренебречь по сравнению со вторым (пропорциональным $\tilde{\delta}$) и третьим (не содержащим $\tilde{\delta}$) членами этого уравнения. Оценка, проведенная с использованием формулы (13), дает значение 10^{-5} .

Данные анализа скоростей потока воды в нижней части водотока позволяют представить кинематическую структуру потока в следующем виде. Мономолекулярный слой воды у дна водотока имеет очень малые скорости (режим «ползучести») течения, которые в сравнении с поперечными размерами водного потока и реальными средними скоростями его движения можно трактовать как состояние покоя (выполняется условие прилипания). Далее следует ламинарный пограничный слой, на верхней границе которого имеет место быть динамическая скорость. Следующий уровень соответствует турбулентному пограничному слою, на верхней границе которого (с основной частью потока, характеризуемой развитой турбулентностью) наблюдается придонная скорость.

При такой структуре оценка градиентов продольной скорости дает: $\sim 10^5 \cdot \tilde{u}$ для границы раздела ламинарного и турбулентного пограничных слоев и $\leq 10^5 \cdot (\tilde{u}_d - \tilde{u}_*)$ на границе раздела турбулентного пограничного слоя и основной части потока с развитой турбулентностью. Полученные значения градиентов подтверждают количественно качественные утверждения гидродинамиков о существовании в придонной части потока больших градиентов продольной скорости воды.

Следовательно, результаты исследований отдельных положений модели нетрадиционной идентификации режимных параметров открытых водотоков позволили:

- уточнить условия пользования преобразованными нами соотношениями Ю.А. Ибад-Заде для средней скорости водного потока, распределения относительной мутности воды по глубине потока К. Загустина (касается методики определения основополагающего параметра z указанного распределения);
- расширить круг аналитических материалов, привлекаемых к реализации рассматриваемой модели за счет включения в него выведенных нами формул средней скорости и распределений относительной мутности воды для полуэмпирических теорий Кармана, Тэйлора-1, Тэйлора-2;
- на основе анализа характерных скоростей воды в нижней части водотока выявить преимущественный (при рассмотрении данного вопроса) профиль скорости воды – показательный, а также сформировать кинематическую структуру нижней части водного потока.

Список литературы

1. Пресняков К.А., Керимкулова Г.К., Аскалиева Г.О. Основные положения модели нетрадиционной идентификации режимных параметров открытых водотоков // «Итоги науки 2014» – г. Москва, РАН 2014.
2. Пресняков К.А., Керимкулова Г.К., Аскалиева Г.О. Вывод формул средней скорости и распределения по вертикали потока относительной мутности воды для полуэмпирических теорий Кармана, Тэйлора-1 и Тэйлора-2 // Н.-т. журнал ИАИТ НАН КР «Проблемы автоматики и управления». – Бишкек: Илим, 2012. – №2. – С. 40-46.
3. Аскалиева Г.О., Турдумамбетова Э.Б. Преобразование соотношений Ю.А. Ибад-Заде для скорости и мутности потока воды к компактному виду // Н.-т. журнал ИАИТ НАН КР «Проблемы автоматики и управления». – Бишкек: Илим, 2013. – №1. – С. 46-51.
4. Методические указания по расчету устойчивых аллювиальных русел горных рек при проектировании гидротехнических сооружений. М.: Колос, 1972. 64 с.
5. Пресняков К.А., Керимкулова Г.К. Методика определения основополагающего параметра z в распределении относительной мутности воды по глубине потока (согласно К. Загустину) // Н.-т. журнал ИАИТ НАН КР «Проблемы автоматики и управления». – Бишкек: Илим, 2013. – №1. – С. 61-65.
6. Керимкулова Г.К. О скорости воды на выступе шероховатости дна водотока // Н.-т. журнал ИАИТ НАН КР «Проблемы автоматики и управления». – Бишкек: Илим, 2014, С.97-101.
7. Керимкулова Г.К., Аскалиева Г.О. О придонной скорости водного потока // Н.-т. журнал ИАИТ НАН КР «Проблемы автоматики и управления». – Бишкек: Илим, 2014. – №1. – С. 102-107.

8. Аскалиева Г.О. О динамической скорости водного потока //Н.-т. журнал ИАИТ НАН КР «Проблемы автоматизации и управления». – Бишкек: Илим, 2014. – №1. – С. 121-125.

References

1. Presnyakov K.A., Kerimkulova G.K., Askalieva G.O. The main provisions of the model identification unconventional regime parameters of open watercourses // "Results of Science 2014" - Moscow, Russian Academy of Sciences in 2014.
2. Presnyakov K.A., Kerimkulova G.K., Askalieva G.O. Derivation of the average speed and vertical distribution of flow relative turbidity of the water for the semi-empirical theories Karman, Taylor-Taylor 1 and 2 // Н.-Т. Journal IAIT National Academy of Sciences "Problems of automation and control" .- Bishkek: Ilim, 2012.-№2.- page. 40-46.
3. Askalieva G.O., Turdumambetov E.B. Conversion ratios YA Ibad-Zade for the velocity and turbidity of the water flow to the compact form // Н.-Т. Journal IAIT National Academy of Sciences "Problems of automation and control" .- Bishkek: Ilim, 2013.-№1.- page. 46-51.
4. Guidelines for the calculation of stable alluvial bed of a mountain river in the design of hydraulic structures. М.: Kolos, 1972. Page 64 .
5. Presnyakov K.A., Kerimkulova G.K. Method of determining the fundamental parameter z in the distribution of the relative turbidity of the water depth of flow (according to K. Zagustinu) //Н.-т. Journal IAIT National Academy of Sciences "Problems of automation and control".- Bishkek: Ilim, 2013.-№1.- page . 61-65.
6. Kerimkulova G.K. The rate of water on the bottom of the roughness of the watercourse //Н.-т. Journal IAIT National Academy of Sciences "Problems of automation and control".- Bishkek: Ilim, 2014 page .97-101.
7. Kerimkulova G.K., Askalieva G.O. On the bottom rate of water flow //Н.-т. Journal IAIT National Academy of Sciences "Problems of automation and control" .- Bishkek: Ilim, 2014.-№1.- page. 102 - 107.
8. Askalieva G.O. About dynamic water flow rate //Н.-т. Journal IAIT National Academy of Sciences "Problems of automation and control" .- Bishkek: Ilim, 2014.- №1.- page. 121-125.

УДК: 517.977.5

РАЗДЕЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЙ СИНГУЛЯРНО-ВОЗМУЩЕННОЙ ДИСКРЕТНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

Иманалиев Замирбек Киреевич, к.т.н., профессор КГТУ им. И.Раззакова, Кыргызстан, 720044, г. Бишкек, пр. Мира, 66, e-mail: imanaliev.51@mail.ru

Аширбаев Бейшембек Ыбышев, к.ф.-м.н., доцент КГТУ им. И.Раззакова, Кыргызстан, 720044, г. Бишкек, пр. Мира, 66, e-mail: ashirbaev-58@mail.ru

Алтымышева Жыргал Алымбековна, ст. преп. КГУСТА им. Н.Исанова, Кыргызстан, г. Бишкек, ул. Малдыбаева, 34-б, e-mail: ajirgal@mail.ru

В данной статье разработан способ разделения движений сингулярно-возмущенной дискретной управляемой системы, которая позволяет разделить исходную систему на две подсистемы меньшего порядка, причем они связаны только управляющей функцией.

При разделении рассмотренной системы указаны условия, гарантирующие отделимость быстрых движений от медленных или наоборот. Во – первых, необходимо найти решения алгебраических уравнений Риккати и Ляпунова, которые могут быть представлены в виде равномерно сходящихся степенных рядов. Во – вторых, при выполнении условия в данной работе и при достаточно малых значениях параметра μ , необходимо проверить условия о близости собственных значений матрицы исходной и разделенной системы.

В работе также приведен алгоритм построения переходной матрицы стационарной линейной дискретной управляемой системы, которая определяется как решение матричного дифференциального уравнения [1].

Ключевые слова: сингулярно-возмущенная система, переходная матрица, дискретная управляемая система, медленная подсистема, быстрая подсистема, малый параметр.

TRAFFIC SEPARATION SINGULARLY PERTURBED DISCRETE SYSTEM

Imanaliev Zamirbek Kireevich, Ph.D., professor KSTU named after I.Razzakov, Kyrgyzstan, 720044, Bishkek, Mira ave. 66, e-mail: imanaliev.51@mail.ru

Ashirbayev Beyshembek Ybyshevich, candidate of physical and mathematical sciences., Associate professor of KSTU named after I.Razzakov, Kyrgyzstan, 720044, Bishkek, Mira ave. 66, e-mail: ashirbaev-58@mail.ru

This article provides a method for separation of motions singularly perturbed discrete control system that allows you to split the initial system into two subsystems of lower order, and they involve only the control function. In the separation of the system under consideration are listed separability conditions guaranteeing fast movements with slow or vice versa. First you must find the solution of algebraic Riccati equations and Lyapunov, which can be represented as a uniformly convergent power series. Secondly, when the condition in this work and for sufficiently small values of the parameter μ , it is necessary to check the terms of the proximity of the eigenvalues of the original and the split system.

In this paper we also present an algorithm for the construction of stationary transition matrix linear discrete control system, which is defined as the solution of the matrix differential equation [1].

Keywords: singularly perturbed system transition matrix, discrete control systems, slow subsystem, the fast subsystem, a small parameter.

Введение. Проектирование алгоритмического обеспечения систем автоматического управления (САУ) объектами с несколькими входами представляет собой сложную задачу. Это обусловлено большим числом возможных видов функций оптимального управления (ОУ), сложностью построения областей существования различных видов функций ОУ в пространстве компонентов массива исходных данных задачи управления вследствие его высокой размерности, необходимости разработки большого числа алгоритмов для расчета параметров функций ОУ и т.д.

Цель статьи – разработать способ разделения движений сингулярно-возмущенной дискретной управляемой системы и указать условия, гарантирующие отделимость быстрых движений от медленных или наоборот.

Рассмотрим систему вида

$$x(t+1) = A_1x(t) + A_2z(t) + B_1u(t), \quad x(t_0) = x_0, \quad x(N) = x_1, \quad (1)$$

$$\mu z(t+1) = A_3x(t) + A_4z(t) + B_2u(t), \quad z(t_0) = z_0, \quad z(N) = z_1 \quad (2)$$

где $A_1 - (n \times n)$, $A_2 - (n \times m)$, $A_3 - (m \times n)$, $A_4 - (m \times m)$,

$B_1 - (n \times n)$, $B_2 - (m \times n)$ – постоянные матрицы, $x \in R^n$, $z \in R^m$ – векторы переменных состояния, $u \in R^r$ – вектор управления, $\mu > 0$ – малый параметр, $t = 0, 1, \dots, N$.

Предположим, что собственные значения λ_i матрицы A_4 удовлетворяют условию

$$|\lambda_i| < q_0 < 1. \quad (3)$$

Введем замены:

$$x = \tilde{x} - \mu N \tilde{z}, \quad (4)$$

$$z = \tilde{z} + \mu x, \quad (5)$$

где матрицы H и N имеют размерности $m \times n$, $n \times m$ соответственно.

Преобразуя уравнения (4) и (5) можно получить следующие соотношения:

$$\begin{pmatrix} x \\ z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} E_n & -\mu N \\ H & E_m - \mu HN \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \tilde{x} \\ \tilde{z} \end{pmatrix}, \quad (6)$$

$$\begin{pmatrix} \tilde{x} \\ \tilde{z} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} E_n - \mu NH & \mu N \\ H & E_m \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ z \end{pmatrix}. \quad (7)$$

Используя замены (5) с учетом (4) из системы (1) и (2) получаем:

$$x(t+1) = \tilde{A}_1x(t) + \tilde{A}_2\tilde{z}(t) + B_1u(t), \quad x(t_0) = x_0, \quad x(N) = x_1 \quad (8)$$

$$\mu \tilde{z}(t+1) = \tilde{A}_4\tilde{z}(t) + \tilde{B}_2u(t), \quad \tilde{z}(t_0) = \tilde{z}_0, \quad \tilde{z}(N) = \tilde{z}_1, \quad (9)$$

$$\text{где } \tilde{A}_1 = A_1 + A_2H, \quad \tilde{A}_4 = A_4 - \mu HA_2, \quad \tilde{B}_2 = B_2 - \mu HB_1, \\ \tilde{z}_i = z_i - Hx_i, \quad i = 0, 1,$$

при условии

$$\mu HA_1 + \mu HA_2H = A_3 + A_4H. \quad (10)$$

Теперь, используя соотношения (4) и (5) из системы (8), получим:

$$\tilde{x}(t+1) = \tilde{A}_1\tilde{x}(t) + \tilde{B}_1u(t), \quad \tilde{x}(t_0) = \tilde{x}_0, \quad \tilde{x}(N) = \tilde{x}_1, \quad (11)$$

$$\mu \tilde{z}(t+1) = \tilde{A}_4\tilde{x}(t) + \tilde{B}_2u(t), \quad \tilde{z}(t_0) = \tilde{z}_0, \quad \tilde{z}(N) = \tilde{z}_1.$$

где $\tilde{A}_1$, $\tilde{A}_4$, $\tilde{B}_2$, $\tilde{z}_i$ определяются из (9),

$$\tilde{B}_1 = B_1 + N\tilde{B}_2, \quad \tilde{x}_i = x_i + \mu N\tilde{z}_i, \quad i = 0, 1, \quad (12)$$

при условии

$$\mu \tilde{A}_1N - N\tilde{A}_4 - A_2 = 0. \quad (13)$$

Уравнения (10) и (13) являются алгебраическими уравнениями Риккати и Ляпунова соответственно. Используя теорему о неявной функции, можно показать, что эти уравнения имеют решения, которые могут быть представлены в виде равномерно сходящихся степенных рядов [2, 3]:

$$H(\mu) = \sum_{i=0}^{\infty} H_i \mu^i, \quad N(\mu) = \sum_{k=0}^{\infty} N_k \mu^k. \quad (14)$$

Матрицы H_i и N_k ($i, k = 0, 1, \dots$) однозначно вычисляются путем приравнивания коэффициентов при одинаковых степенях μ в уравнениях (10) и (13). В результате имеем:

$$\begin{aligned} H_0 &= -A_4^{-1}A_3, \quad H_1 = A_4^{-1}H_0(A_1 + A_2H_0), \dots \\ H_i &= A_4^{-1}(H_{i-1}A_1 + \sum_{j=0}^{i-1} H_j A_2 H_{v-1}), \\ i &= 1, 2, \dots, \quad v = i, \quad i-1, \quad i-2, \dots, \\ N_0 &= -A_2A_4^{-1}, \quad N_1 = (A_1N_0 + A_2H_0N_0 + N_0H_0A_2)A_4^{-1}, \dots, \\ N_k &= \left[A_1N_{k-1} + A_2 \left(\sum_{j=0}^{k-1} H_j N_{s-1} \right) + \left(\sum_{j=0}^{k-1} N_j H_{s-1} \right) A_2 \right] A_4^{-1}, \\ k &= 1, 2, \dots, \quad s = i, \quad i-1, \quad i-2, \dots. \end{aligned} \quad (15)$$

Таким образом, в результате имеем систему (11), у которой медленные и быстрые подсистемы разделены. Они объединяются через управляющую функцию $u(t)$, но имеют различные собственные значения. Свойства управляемости системы (1) те же, что и у системы (11).

Наряду с системой (11) рассмотрим еще систему

$$\bar{x}(t+1) = A_0\bar{x}(t) + B_0\bar{u}(t), \quad \bar{x}(t_0) = \bar{x}_0, \quad \bar{x}(N) = \bar{x}_1, \quad (16)$$

$$\mu\bar{z}(t+1) = \bar{A}_4\bar{z}(t) + \bar{B}_2u(t), \quad \bar{z}(t_0) = \bar{z}_0, \quad \bar{z}(N) = \bar{z}_1,$$

$$\text{где } A_0 = A_1 + A_2A_4^{-1}A_3, \quad B_0 = B_1 + A_2A_4^{-1}B_2, \quad (17)$$

$\bar{x}$ – вектор переменной состояния системы, которая получается из (1) при $\mu = 0$.

Согласно теореме, доказанной в [4] при выполнении условий (3) и при достаточно малых значениях параметра μ , собственные значения матрицы $\bar{A}_1$ и $\bar{A}_4$ будут близкими к собственным значениям матрицы A_0 и A_4 соответственно. Поэтому система (17) аппроксимирует систему (11) с точностью порядка малости μ и является асимптотической системой по отношению к системе (11).

Решения системы (16) можно представить в виде

$$\bar{x}(t) = A_0^t \bar{x}_0 + \sum_{j=0}^{t-1} A_0^{t-j-1} B_0 \bar{u}(j), \quad (18)$$

$$\bar{z}(t) = \bar{A}_4^t \bar{z}_0 + \sum_{j=0}^{t-1} \bar{A}_4^{t-j-1} \bar{B}_2 u(j),$$

где $\Phi(t) = A_0^t$ и $\Psi(t) = \bar{A}_4^t$ – переходные матрицы медленной и быстрой подсистемы систем (16).

Для построения переходной матрицы $\Phi(t) = A_0^t$ можно вычислить, непосредственно умножая матрицу A_0 на A_0 необходимое число раз. Однако такой путь эффективен лишь при небольших значениях t . Если же t может принимать большие значения, можно воспользоваться теоремой Кели-Гамильтона о том, что характеристический многочлен матрицы является ее аннулирующим многочленом [5].

Разделив λ^t на характеристический многочлен $P(\lambda) = \det(A_0 - \lambda E)$ матрицы A_0 , получаем

$$\lambda^t = P(\lambda)Q(\lambda) + R(\lambda), \quad (19)$$

где $Q(\lambda)$ – частное, $R(\lambda)$ – остаток, причем остаток – это многочлен степени меньше, чем размерность n матрицы A_0 , имеющей вид

$$R(\lambda) = r_{n-1}\lambda^{n-1} + r_{n-2}\lambda^{n-2} + \dots + r_1\lambda + r_0 \quad (20)$$

Подставив в (19) вместо λ матрицу A_0 получаем

$$A_0^t = R(\lambda), \quad (21)$$

так как по теореме Кели-Гамильтона $P(A_0) = 0$.

В случае простых различных корней характеристического уравнения, подставляя корни λ_i в (19), с учетом $P(\lambda_i) = 0$ получаем

$$\lambda_i^t = R(\lambda_i) = r_{n-1}\lambda_i^{n-1} + r_{n-2}\lambda_i^{n-2} + \dots + r_1\lambda_i + r_0, \quad i = 1, \dots, n \quad (22)$$

Если λ_i – действительный корень характеристического уравнения кратности q , то, учитывая, что

$$P(\lambda_i) = 0, \quad P'(\lambda_i) = 0, \dots, P^{(q-1)}(\lambda_i) = 0,$$

из (19), последовательно дифференцируя, получаем

$$\frac{d^j}{d\lambda^j} \lambda^t \Big|_{\lambda=\lambda_i} = \left(\frac{d^j}{d\lambda^j} R(\lambda) \right) \Big|_{\lambda=\lambda_i}, \quad j=0, 1, \dots, q-1. \quad (23)$$

Это система q линейных уравнений относительно коэффициентов $r_0, r_1, \dots, r_{n-1}$ многочлена $R(\lambda)$.

Если $\lambda_{1,2} = a \pm \beta i$ – пара комплексных сопряженных корней кратности q , то из (23) получаем систему $2q$ уравнений, приравнивая действительные и мнимые части.

Таким образом, из (20) следует, что переходная матрица $\Phi(t) = A_0^t$ линейной стационарной, медленной подсистемы систем (18) имеет вид

$$A_0^t = r_{n-1}A_0^{n-1} + \dots + r_1A_0 + r_0E, \quad (24)$$

где коэффициенты $r_0, r_1, \dots, r_{n-1}$ многочлена, зависящие от дискретного времени t , находятся из (22), (23).

Построение переходной матрицы быстрой подсистемы систем (18) проводится аналогично.

Выводы. Полученные в данной работе результаты будут применены в разработке алгоритмического обеспечения в дискретных задачах оптимального управления с сингулярно-возмущенной дискретной управляемой системы. Поэтому дальнейшие исследования с использованием этих результатов, безусловно, являются актуальными.

Список литературы

1. Андреев Ю.Н. Управление конечномерными линейными объектами. - Москва: Наука, 1976.- 424 с.
2. Геращенко Е.И., Геращенко С.М. Метод разделения движений и оптимизация нелинейных систем. - Москва: Наука, 1975.- 296 с.
3. Сtryгин В. В., Соболев В. А. Разделение движений методом интегральных многообразий. - Москва: Наука. 1988. - 256 с.
4. Иманалиев З.К., Аширбаев Б.Ы. О переходных матрицах медленных и быстрых подсистем управляемой системы с малым параметром //Асимптотические, топологические и компьютерные методы в математике. Междунар. научн. конф. – Вестник КГНУ. – Вып 6, сер. 3. - Бишкек, 2001. - С.235 - 239.
5. Гантмахер Ф.Р. Теория матриц. Москва: Наука, 1988.- 552 с.

References

1. Andreev Y.N. Managing finite linear objects. - Moscow: Nauka, 1976.-page 424 . (In Russ.)
2. Gerashenko E.I., Gerashchenko S.M. The method of separation of motions and optimization of nonlinear systems. - Moscow: Nauka, 1975.- page 296 . (In Russ.)
3. Strygin V.V., Sobolev V.A. Traffic separation method of integral manifolds. - Moscow: Nauka. 1988. - page 256 . (In Russ.)
4. Imanaliev Z.K., Ashirbayev B.Y. About the transition matrices of slow and fast subsystems controlled system with a small parameter // asymptotic topological and computer methods in mathematics. Intern. Scien. Conf. - Herald KSNU. - Issue 6, Ser. 3. - Bishkek, 2001. – page .235 - 239. (In Russ.)
5. Gantmakher F.R. Matrix theory. Moscow: Nauka, 1988.- page 552 . (In Russ.)

УДК 517.968

ОБ ОДНОМ КЛАССЕ ЛИНЕЙНЫХ ИНТЕГРАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ ФРЕДГОЛЬМА ТРЕТЬЕГО РОДА С ВЫРОЖДЕННЫМ ЯДРОМ

Асанов Рухидин Авытович, к.ф.-м.н., старший преподаватель, КГТУ имени И.Раззакова, Кыргызстан, 720044, г. Бишкек, пр. Мира, 66, e-mail: ruhidin_asanov@yahoo.com

Цель статьи - найти необходимые и достаточные условия единственности и неединственности существования и несуществования решения линейных интегральных уравнений Фредгольма третьего рода с вырожденным ядром. Автор предложил новый подход для решения данного интегрального уравнения третьего рода. Особенностью исследуемой задачи является то, что данное интегральное уравнение третьего рода может иметь любое конечное число особых точек. На основе предложенного метода автор установил необходимые и достаточные условия единственности и существования решения для исследуемой задачи. Кроме того, установлены необходимые и достаточные условия несуществования и неединственности решения данного интегрального уравнения третьего рода. С помощью данного метода задача сводится к системе линейных алгебраических уравнений. Показан конкретный пример, иллюстрирующий результаты данной работы. Этот пример решен на основе предложенного метода.

Ключевые слова: линейные, интегральные уравнения Фредгольма третьего рода с вырожденным ядром, существование, единственность, новый подход.

A CLASS OF LINEAR FREDHOLM INTEGRAL EQUATIONS OF THE THIRD KIND WITH A DEGENERATE KERNEL

Asanov Ruhidin Avytovich, PhD (Mathematics), senior lecturer of KSTU named after I.Razzakov, Bishkek, 720044, Kyrgyzstan, e-mail: ruhidin_asanov@yahoo.com

The purpose of the article is to find necessary and sufficient conditions for the uniqueness and non-uniqueness, existence and non-existence of solutions of linear Fredholm integral equations of the third kind with a degenerate kernel. The author proposed a new approach for the solution of the integral equation of the third kind. The peculiarity of the problem is the fact that the integral equation of the third kind can be done for any number of singular points. On the

basis of the proposed method the author has established the necessary and sufficient conditions for the existence and uniqueness of solutions of the problem. In addition we establish necessary and sufficient conditions for nonexistence and nonuniqueness of the solution of the integral equation of the third kind. Using this method, the problem is reduced to a system of linear algebraic equations. Author shows a specific example illustrating the results of this work. This example is solved on the basis of the proposed method.

Keywords: linear, integral equations of Fredholm, of the third kind, with a degenerate kernel, existence, uniqueness, a new approach.

Рассмотрим линейное интегральное уравнение третьего рода.

$$p(t)\varphi(t) = \int_a^b \sum_{i=1}^n a_i(t)b_i(s) \varphi(s)ds + f(t), t \in [a, b], \quad (1)$$

где $p(a)=0$, $p(t)$, $a_i(t)$, $b_i(t)$ и $f(t)$ – известные непрерывные на $[a, b]$ функции, $\varphi(t)$ – искомая непрерывная на $[a, b]$ функция, $-\infty < a < b < +\infty$, $p(t_i) = 0, i = 1, 2, \dots, m, a \leq t_1 < t_2 < \dots < t_m \leq b$.

Различные вопросы для интегральных уравнений первого и третьего рода исследовались в [1-6]. Но основополагающие результаты для интегральных уравнений Фредгольма первого рода получены в [3], где для решения линейных интегральных уравнений Фредгольма первого рода построены регуляризирующие операторы по М.М. Лаврентьеву. В данной работе построены решения для линейных интегральных уравнений Фредгольма третьего рода.

Всюду будем предполагать, что

$$p(t) = \prod_{i=1}^m \prod_{j=1}^{s(i)} p_{i,j}(t), \quad (2)$$

где $p_{i,j}(t_i) = 0, p_{i,j}(t) \in C[a, b], p_{i,j}(t) \neq 0$ при всех $t \neq t_i, i = 1, 2, \dots, m; j = 1, \dots, s(i)$.

Пусть

$$c_k = \int_a^b b_k(s)\varphi(s)ds, k = 1, 2, \dots, n. \quad (3)$$

Тогда из (1) получим

$$p(t)\varphi(t) = \sum_{k=1}^n c_k a_k(t) + f(t), t \in [a, b], \quad (4)$$

где c_k – неизвестные постоянные, $k = 1, 2, \dots, n$.

Полагая $t = t_1$, из (4) имеем

$$\sum_{k=1}^n c_k a_k(t_1) + f(t_1) = 0. \quad (5)$$

Вычитая (5) из (4), получим

$$p(t)\varphi(t) = \sum_{k=1}^n c_k [a_k(t) - a_k(t_1)] + [f(t) - f(t_1)], t \in [a, b]. \quad (6)$$

Предположим выполнение следующих условий:

а) Для всех $k = 1, 2, \dots, n; i = 1, 2, \dots, m$ и $j = s_{i-1} + 1, \dots, s_i$,

$$a_{k,i,j}(t) \in C[a, b], b_k(t) \in C[a, b],$$

где $s_0 = 0, s_i = \sum_{j=1}^i s(j), a_{k,1,0}(t) = a_k(t), t \in [a, b]$,

$$a_{k,1,j_1}(t) = \frac{a_{k,1,j_1-1}(t) - a_{k,1,j_1-1}(t_1)}{p_{1,j_1}(t)}, (j_1 = 1, \dots, s_1),$$

$$a_{k,2,s_1}(t) = a_{k,1,s_1}(t), a_{k,2,j_2}(t) = \frac{a_{k,2,j_2-1}(t) - a_{k,2,j_2-1}(t_2)}{p_{2,j_2-s_1}(t)},$$

$$(j_2 = s_1 + 1, \dots, s_2), \dots, a_{k,m,s_{m-1}}(t) = a_{k,m-1,s_{m-1}}(t),$$

$$a_{k,m,j_m}(t) = \frac{a_{k,m,j_m-1}(t) - a_{k,m,j_m-1}(t_m)}{p_{m,j_m-s_{m-1}}(t)}, (j_m = s_{m-1} + 1, \dots, s_m).$$

б) Для всех $i = 1, 2, \dots, m, j = s_{i-1} + 1, \dots, s_i$ и $F_{i,j}(t) \in C[a, b]$,

где

$$\begin{aligned} s_0 &= 0, s_i = \sum_{j=1}^i s(j), F_{1,0}(t) = f(t), t \in [a, b], \\ F_{1,j_1}(t) &= \frac{F_{1,j_1-1}(t) - F_{1,j_1-1}(t_1)}{p_{1,j_1}(t)}, (j_1 = 1, \dots, s_1), F_{2,s_1}(t) = F_{1,s_1}(t), \\ F_{2,j_2}(t) &= \frac{F_{2,j_2-1}(t) - F_{2,j_2-1}(t_2)}{p_{2,j_2-s_1}(t)}, \\ (j_2 &= s_1 + 1, \dots, s_2), \dots, F_{m,s_{m-1}}(t) = F_{m-1,s_{m-1}}(t), \\ F_{m,j_m}(t) &= \frac{F_{m,j_m-1}(t) - F_{m,j_m-1}(t_m)}{p_{m,j_m-s_{m-1}}(t)}, (j_m = s_{m-1} + 1, \dots, s_m). \end{aligned}$$

Пусть $u(t) \in [a, b]$ является решением уравнения (1). Тогда справедливы (3), (4), (5) и (6). Учитывая (2) условия а) и б), из (6) получим

$$(\prod_{j_1=1}^{s(1)} p_{1,j_1}(t)) (\prod_{i=2}^m \prod_{j=1}^{s(i)} p_{i,j}(t)) \varphi(t) = \sum_{k=1}^n c_k a_{k,1,1}(t) + F_{1,1}(t), t \in [a, b]. \quad (7)$$

Учитывая (14) и обозначения (15), запишем систему уравнений (11) в следующей форме

$$KC = L. \quad (16)$$

Теорема. Пусть $r = \text{rang } K, r_1 = \text{rang } (K, L)$ где матрицы K и L определены через (15). Тогда:

- 1) Если $r \neq r_1$, то интегральное уравнение (1) не имеет решений в пространстве $C[a, b]$;
- 2) Если $r = r_1 = n$, то интегральное уравнение (1) имеет единственное решение в пространстве $C[a, b]$. Это решение определяется формулой (10), где $c_1, c_2, \dots, c_n$ - единственное решение системы (16);
- 3) Если $r = r_1 < n$, то интегральное уравнение (1) имеет решение в пространстве $C[a, b]$, которое зависит от $n-r$ параметров. Эти решения определяются формулой (10), где $c_1, c_2, \dots, c_n$ - решения системы (16). Из них $n-r$ - произвольные постоянные, а оставшиеся r зависят от них.

Доказательство.

- 1) Пусть $r \neq r_1$. Тогда по теореме Кронекера-Капелли система (16) не имеет решений. Таким образом, интегральное уравнение (1) не имеет решений в пространстве $C[a, b]$.
- 2) Пусть $r = r_1 = n$. Тогда по теореме Кронекера-Капелли система (16) имеет единственное решение. Таким образом, интегральное уравнение (1) имеет единственное решение в пространстве $C[a, b]$. Это решение определяется по формуле (10), где $c_1, c_2, \dots, c_n$ - единственное решение системы (16).
- 3) Пусть $r = r_1 < n$. Тогда по теореме Кронекера-Капелли система (16) имеет решение, которое зависит от $n-r$ параметров. Поэтому интегральные уравнения имеют решения в пространстве $C[a, b]$, зависящие от $n-r$ параметров. Эти решения определяются по формуле (10), где $c_1, c_2, \dots, c_n$ - решения системы (16). Из них $n-r$ произвольные постоянные, а остальные r зависят от них.

Теорема доказана.

Пример. Рассмотрим уравнение

$$t(t-1)\varphi(t) = \int_0^1 (1 + \sqrt{t} + t^2 s) \varphi(s) ds + \alpha_0(1 + \sqrt{t}) + \alpha_1 t + \alpha_2 t^3, t \in [0,1], \quad (17)$$

где $\alpha_0, \alpha_1, \alpha_2$ - параметры. В этом случае $t_1 = 0, t_2 = 1, n = 2, m = 2$,

$$\begin{aligned} s(1) = 2, s(2) = 1, s_1 = 2, s_2 = 3, p_{1,1}(t) = p_{1,2}(t) = \sqrt{t}, \\ p_{2,1}(t) = t-1, a_1(t) = a_{1,1,0}(t) = 1 + \sqrt{t}, b_1(t) = 1, a_2(t) = a_{2,1,0}(t) = t^2, \\ b_2(t) = t, f(t) = F_{1,0}(t) = \alpha_0(1 + \sqrt{t}) + \alpha_1 t + \alpha_2 t^3, a_{1,1,1}(t) = 1, \\ a_{2,1,1}(t) = t\sqrt{t}, a_{1,1,2}(t) = a_{1,2,2}(t) = 0, a_{2,1,2}(t) = a_{2,2,2}(t) = t, \\ a_{1,2,3}(t) = 0, a_{2,2,3}(t) = 1, F_{1,1}(t) = \alpha_0 + \alpha_1 \sqrt{t} + \alpha_2 t^2 \sqrt{t}, \\ F_{1,2}(t) = F_{2,2}(t) = \alpha_1 + \alpha_2 t^2, F_{2,3}(t) = \alpha_2(t+1), t \in [0,1]. \end{aligned}$$

Тогда в силу (10) и (16) функция

$$\varphi(t) = c_2 + \alpha_2(t+1), t \in [0,1] \quad (18)$$

является решением уравнения (17) тогда и только тогда, когда неизвестные постоянные c_1, c_2 удовлетворяют следующей системе

$$\begin{cases} c_1 = -\alpha_0, \\ c_2 = -\alpha_1 - \alpha_2, \\ c_1 = c_2 + \frac{3}{2}\alpha_2, \\ c_2 = \frac{10}{3}\alpha_2. \end{cases} \quad (19)$$

Выводы: Полученный результат показывает, что линейные интегральные уравнения Фредгольма третьего рода с вырожденным ядром эквивалентны системе линейных алгебраических уравнений.

Список литературы

1. Цалюк З.Б. В кн.: Итоги науки и техники. Сер. Матем. Анализ, М., 1977, т.15, с.131-198.
2. Магницкий Н.А. Линейные интегральные уравнения Вольтерра I и III рода //Журн. Вычисл. Матем. и матем. физики. 1979, т.19, №4, с.970-989.
3. Лаврентьев М.М., Романов В.Г., Шишатский С.П. Некорректные задачи математической физики и анализа. М.: Наука, 1980, 286 с.
4. Иманалиев М.И., Асанов А. О решениях систем нелинейных интегральных уравнений Вольтерра первого рода // Доклады АН СССР, 1989, т-309, №5, с.1052-1055.
5. Иманалиев М.И., Асанов А. Регуляризация и единственность решений систем нелинейных интегральных уравнений Вольтерра третьего рода // Доклады РАН, 2007, т.415, №1, с.14-17.
6. Иманалиев М.И., Асанов А., Асанов Р.А. Об одном классе систем линейных интегральных уравнений Фредгольма третьего рода // Докл. РАН, - 2011, т. 437, №5, с. 592-596.

References

1. Tsaliuk Z.B. In the book: Itogi nauki i tehniki. Ser. Matem. Analiz, M., 1977, t.15, p.131-198.

2. Magnitsky N.A. Linear Volterra Integral Equations of the first and third kind // Journ. Vychisl. Matem. i matem. fiziki. 1979, t.19, №4, p.970-989.
3. Lavrentev M.M., Romanov V.G., Shishatsky S.P. Ill-posed problems of mathematical physics and analysis. M.: Nauka, 1980, 286 p.
4. Imanaliev M.I., Asanov A. On solutions of systems of nonlinear Volterra integral equations of the first kind // Doklady AN SSSR, 1989, t-309, №5, p.1052-1055.
5. Imanaliev M.I., Asanov A. Regularization and uniqueness of solutions of systems of nonlinear Volterra integral equations of the third kind // Doklady RAN, 2007, t.415, №1, p.14-17.
6. Imanaliev M.I., Asanov A., Asanov R.A. A class of systems of linear Fredholm integral equations of the third kind // Doklady RAN, - 2011, t. 437, №5, p. 592-596.

УДК: 517.928

КОМБИНИРОВАННЫЙ МЕТОД РЕГУЛЯРИЗАЦИИ ДЛЯ РЕШЕНИЯ НЕЛИНЕЙНОГО ОПЕРАТОРНОГО УРАВНЕНИЯ ПЕРВОГО РОДА

Усенов Иззат Абдыраевич, Кыргызский национальный университет им. Ж. Баласагына, к.ф.-м.н., доцент, г. Бишкек, Кыргызстан, iausen@mail.ru

Многие прикладные задачи физики и геофизики сводятся к неявным операторным уравнениям первого рода. К таким уравнениям сводятся также обратные задачи математической физики в тех случаях, когда выражение для функции Грина неизвестно.

Обратная задача электрокаротажа скважин, определяющая месторождения и подсчет запасов полезных ископаемых, является примером таких задач.

Вышеперечисленные прикладные задачи являются актуальными задачами современной науки, решение их может открыть новые грани современного состояния развития человечества. В связи с этим подчеркивается важность исследования некорректно поставленных задач.

В данной работе предлагается комбинированный метод нового типа, объединяющий идеи метода М.М. Лаврентьева, метода Ньютона-Канторовича для регуляризации решения неявного операторного уравнения первого рода.

Ключевые слова: неявный оператор, регуляризация, пространство Гильберта, дифференциал Фреше, линейный оператор, ограниченность оператора, условия Липшица.

COMBINED REGULARIZATION METHOD FOR SOLUTION OF NONLINEAR OPERATOR EQUATIONS OF FIRST KIND

I.A. Usenov, Ph.D., associate professor, Kyrgyz National University named after J. Balasagyn, Bishkek, Kyrgyzstan, iausen@mail.ru

Many applied problems of physics and biophysics reduced to implicit operator equations of the first kind. These equations are reduced and inverse problems of mathematical physics in cases where the expression for the Green's function is unknown.

The inverse problem of determining the electric logging wells field and calculation of reserves of mineral resources is an example of such problems.

The above application tasks are urgent tasks of modern science, these tasks can discover new facets of the current state of human development. In this regard, the study underlines the importance of ill-posed problems

In this paper, we propose a combined method of a new type, combining ideas of the method of M. M. Lavrentiev, Newton-Kantorovich method for regularizing the solution of implicit operator equations of the first kind.

Keywords: implicit operator, regularization, Hilbert space, the Frechet differential, linear operator bounded operator, Lipschitz condition.

1. Постановка задач:

Рассмотрим неявное операторное уравнение первого рода относительно Z вида

$$\Phi(z, u) = 0, \quad (1)$$

где $\Phi: H \times H \rightarrow H$, H - гильбертово пространство.

Предполагаем, что

1) при $u = u^*$ существует единственное решение z^* уравнения (1), т.е. имеет место тождество

$$\Phi(z^*, u^*) \equiv 0, \quad (2)$$

2) оператор $\Phi(z, u)$ непрерывен в шаре $S(z_0, r_z) \times S(u_0, r_u)$, но $\Phi(z_0, u_0) \neq 0$ и имеет производную Фреше $\Phi'_z(z, u)$, непрерывную в точке (z_0, u_0) . Линейный оператор $\Phi'_z(z_0, u_0)$ обратим, но неограничен,

$$\text{т.е.} \left\| \left[\Phi'_z(z_0, u_0) \right]^{-1} \right\| = \infty.$$

Через $\Phi_z'^{*}(z_\alpha(u_0), u_0)$ обозначим оператор, сопряженный с оператором $\Phi'_z(z_\alpha(u_0), u_0)$. Известно [4], что оператор $\Phi_z'^{*}(z_\alpha(u_0), u_0)$ также будет линейным и непрерывным.

Рассмотрим неявное нелинейное операторное уравнение первого рода относительно z вида

$$\Phi_z'^{*}(z_\alpha(u_0), u_0)\Phi(z^\alpha, u) = 0. \quad (3)$$

Уравнения (1) и (3) являются эквивалентными.

2. Регуляризация решения задачи:

Наряду с уравнениями (3) рассмотрим уравнение второго рода вида

$$\alpha z^\alpha + \Phi_z'^{*}(z_\alpha(u_0), u_0)\Phi(z^\alpha, u) = 0, \quad (4)$$

где $\alpha > 0$ - параметр регуляризации.

Оператор $\Phi_z'^{*}(z_\alpha(u_0), u_0)\Phi'_z(z_\alpha(u_0), u_0)$ является самосопряженным положительным [4]. Справедливы следующие неравенства [1]

$$\left\| \left(\alpha E + \Phi_z'^{*}(z_\alpha(u_0), u_0)\Phi'_z(z_\alpha(u_0), u_0) \right) z \right\| \geq \alpha \|z\|, \quad (5)$$

$$\left\| \left(\alpha E + \Phi_z'^{*}(z_\alpha(u_0), u_0)\Phi'_z(z_\alpha(u_0), u_0) \right) z \right\| \geq \alpha \left\| \Phi_z'^{*}(z_\alpha(u_0), u_0)\Phi'_z(z_\alpha(u_0), u_0)z \right\|. \quad (6)$$

Из неравенства (5) следует, что для любого $\alpha > 0$ оператор $\left(\alpha E + \Phi_z'^{*}(z_\alpha(u_0), u_0)\Phi'_z(z_\alpha(u_0), u_0) \right)^{-1}$ существует и имеет место неравенство

$$\left\| \left(\alpha E + \Phi_z'^{*}(z_\alpha(u_0), u_0)\Phi'_z(z_\alpha(u_0), u_0) \right)^{-1} \right\| \leq \frac{1}{\alpha}. \quad (7)$$

Уравнение (4) регуляризируем в шаре $S(z_\alpha(u_0), r_z(\alpha))$.

Теорема 1. Пусть 1. оператор $\alpha z + \Phi_z'^{*}(z_\alpha(u_0), u_0)\Phi(z, u)$ непрерывен в шаре $S(z_\alpha(u_0), r_z(\alpha)) \times S(u_0, r_u)$, где $\alpha \leq \alpha_0$ и $\alpha z_\alpha(u_0) + \Phi_z'^{*}(z_\alpha(u_0), u_0)\Phi(z_\alpha(u_0), u_0) \equiv 0$; 2. оператор $\alpha z + \Phi_z'^{*}(z_\alpha(u_0), u_0)\Phi(z, u)$ имеет производную Фреше $\alpha E + \Phi_z'^{*}(z_\alpha(u_0), u_0)\Phi'_z(z, u)$, непрерывную в точке $(z_\alpha(u_0), u_0)$; 3. линейный оператор $\alpha E + \Phi_z'^{*}(z_\alpha(u_0), u_0)\Phi'_z(z_\alpha(u_0), u_0)$ непрерывно обратим.

Тогда существуют такие числа $\tilde{r}_z(\alpha), \tilde{r}_u > 0$, что для каждого u из шара $S(u_0, \tilde{r}_u)$ уравнение (4) имеет в шаре $S(z_\alpha(u_0), \tilde{r}_z(\alpha))$ единственное, непрерывное решение $z^\alpha(u)$.

Теорема 2. Пусть выполняются условия 1), 2), а также 3) линейный оператор $\Phi_z'^{*}(z_\alpha(u_0), u_0)$ в шаре $S(z_\alpha(u_0), r_z(\alpha)) \times S(u_0, r_u)$ удовлетворяет неравенству

$$\left\| \Phi_z'^{*}(z_\alpha(u_0), u_0) \right\| \leq M; \quad (8)$$

4) для оператора $\Phi'_z(z, u)$ имеет место условие Липшица

$$\left\| \Phi'_z(z, u) - \Phi'_z(z_\alpha(u_0), u) \right\| \leq N \|z - z_\alpha(u_0)\| \quad \text{в } S(z_\alpha(u_0), r_z(\alpha)) \times S(u_0, r_u); \quad (9)$$

5) имеет место предельное соотношение

$$\lim_{r_z(\alpha) \rightarrow 0} \frac{r_z(\alpha)}{\alpha(r_z(\alpha))} = 0, \quad (10)$$

Тогда существует такое число $\tilde{r} > 0$, что при $r_z(\alpha) < \tilde{r}$ оператор $\Phi_3[\tau] \equiv \alpha E + \Phi_z'^*(z_\alpha(u_0), u_0) \Phi_z'(z_\alpha(u_0) + \tau(z - z_\alpha(u_0)), u_0)$, (где $0 \leq \tau \leq 1$, z - фиксированный элемент) в шаре $S(z_\alpha(u_0), r_z(\alpha))$ имеет обратный, ограниченный оператор.

Доказательство:

Производим преобразование оператора

$$\Phi_3(\tau) = \left(\alpha E + \Phi_z'^*(z_\alpha(u_0), u_0) \Phi_z'(z_\alpha(u_0), u_0) \right). \quad (11)$$

$$\cdot (E + R_\alpha \left(\Phi_z'^*(z_\alpha(u_0), u_0) \Phi_z'(z_\alpha(u_0) + \tau(z - z_\alpha(u_0)), u_0) - \Phi_z'^*(z_\alpha(u_0), u_0) \Phi_z'(z_\alpha(u_0), u_0) \right)),$$

$$\text{где } R_\alpha = \left(\alpha E + \Phi_z'^*(z_\alpha(u_0), u_0) \Phi_z'(z_\alpha(u_0), u_0) \right)^{-1}.$$

Введем обозначения

$$\Psi_1[\tau] = R_\alpha \Phi_z'^*(z_\alpha(u_0), u_0) \left(\Phi_z'(z_\alpha(u_0) + \tau(z - z_\alpha(u_0)), u_0) - \Phi_z'(z_\alpha(u_0), u_0) \right), \quad (12)$$

$$\Phi_4[\tau] = \left(\alpha E + \Phi_z'^*(z_\alpha(u_0), u_0) \Phi_z'(z_\alpha(u_0), u_0) \right) (E + \Psi_1[\tau]), \quad (13)$$

тогда

$$\Phi_3[\tau] = \Phi_4[\tau]. \quad (14)$$

Оператор $\Psi_1[\tau]$ при фиксированном z в шаре $S(z_\alpha(u_0), \tilde{r}_z(\alpha))$ является линейным оператором.

Оценим его норму

$$\|\Psi_1[\tau]\| \leq \frac{1}{\alpha} \tau M N r_z(\alpha) \leq N M \frac{r_z(\alpha)}{\alpha}. \quad (15)$$

Из условия (10) следует, что существует число $\tilde{r} > 0$, такое, что

$$N M \frac{r_z(\alpha)}{\alpha(r_z(\alpha))} < N M \frac{\tilde{r}}{\alpha(\tilde{r})} = q_5 \leq \sigma \text{ при } r_z(\alpha) < \tilde{r}, \text{ где } 0 < \sigma < \frac{1}{2}. \quad (16)$$

Тогда в силу теоремы Банаха [2] оператор $E + \Psi_1[\tau]$ обратим в шаре $S(z_\alpha(u_0), r_z(\alpha))$ и справедлива оценка

$$\|(E + \Psi_1[\tau])^{-1}\| \leq \frac{1}{1 - q_5}. \quad (17)$$

Таким образом, оператор $\Phi_4[\tau]$ имеет обратный оператор $(\Phi_4[\tau])^{-1}$ и справедлива

$$\|(\Phi_4[\tau])^{-1}\| \leq \frac{1}{1 - q_5} \cdot \frac{1}{\alpha}. \quad (18)$$

Теорема 2 доказана. Далее докажем теорему 1.

Уравнение (4) эквивалентно запишем в виде

$$z^\alpha = z^\alpha - (\Phi_4[\tau])^{-1} \left(\alpha z^\alpha + \Phi_z'^*(z_\alpha(u_0), u_0) \Phi(z^\alpha, u) \right). \quad (19)$$

Введем оператор $T_\alpha^*(z^\alpha, u) = z^\alpha - (\Phi_4[\tau])^{-1} \left(\alpha z^\alpha + \Phi_z'^*(z_\alpha(u_0), u_0) \Phi(z^\alpha, u) \right)$ и

преобразуя, имеем

$$T_\alpha^*(z^\alpha, u) = (\Phi_4[\tau])^{-1} \left(\Phi_z'^*(z_\alpha(u_0), u_0) (\Phi_z'(z_\alpha(u_0) + \tau(z - z_\alpha(u_0)), u_0) z^\alpha - \Phi(z^\alpha, u)) \right). \quad (20)$$

Производная оператора $T_\alpha^*(z^\alpha, u)$ при $u = u_0$ имеет вид

$$T_\alpha'^*(z^\alpha, u_0) = (\Phi_4[\tau])^{-1} \left(\Phi_z'^*(z_\alpha(u_0), u_0) \left(\Phi_z'(z_\alpha(u_0) + \tau(z - z_\alpha(u_0)), u_0) - \Phi_z'(z^\alpha, u_0) \right) \right). \quad (21)$$

Оценим норму производного оператора $T_\alpha'^*(z^\alpha, u)$

$$\|T_{\alpha}^{*'}(z^{\alpha}, u_0)\| \leq \frac{1}{1-q_5} \frac{NM}{\alpha} \|z^{\alpha} - z_{\alpha}(u_0)\| + \frac{q_5}{1-q_5}. \quad (22)$$

Следовательно, оператор (20) $\forall z_1, z_2 \in S(z_{\alpha}(u_0), r_z(\alpha))$ удовлетворяет условию Липшица

$$\|T_{\alpha}^{*}(z_1, u) - T_{\alpha}^{*}(z_2, u)\| \leq \left(\frac{q_5}{1-q_5} + \frac{1}{1-q_5} \frac{NM}{\alpha} \|z^{\alpha} - z_{\alpha}(u_0)\| \right) \|z_1 - z_2\|. \quad (23)$$

Покажем, что оператор $T_{\alpha}^{*}(z^{\alpha}, u)$ шар $S(z_{\alpha}(u_0), r_z(\alpha))$ отображает в себя. Используя неравенство треугольника, имеем

$$\|T_{\alpha}^{*}(z^{\alpha}, u) - z_{\alpha}(u_0)\| \leq \|T_{\alpha}^{*}(z^{\alpha}, u) - T_{\alpha}^{*}(z_{\alpha}(u_0), u)\| + \|T_{\alpha}^{*}(z_{\alpha}(u_0), u) - z_{\alpha}(u_0)\|. \quad (24)$$

Оценим второе слагаемое в (24)

$$\|T_{\alpha}^{*}(z_{\alpha}(u_0), u) - z_{\alpha}(u_0)\| \leq \frac{1}{1-q_5} \frac{1}{\alpha} \frac{NM}{2} \left(\frac{\alpha}{\sigma} \right)^{\frac{1}{\sigma}} = \frac{NM}{2(1-q_5)\sigma^{\frac{1}{\sigma}}} \alpha^{\frac{1-\sigma}{\sigma}}. \quad (25)$$

В силу (23) первое слагаемое в (24) удовлетворяет неравенству

$$\|T_{\alpha}^{*}(z^{\alpha}, u) - T_{\alpha}^{*}(z_{\alpha}(u_0), u)\| \leq \left(\frac{q_5}{1-q_5} + \frac{1}{1-q_5} \frac{NM}{\alpha} \|z^{\alpha} - z_{\alpha}(u_0)\| \right) \|z^{\alpha} - z_{\alpha}(u_0)\|. \quad (26)$$

Используя неравенства (25), (26) из (25), имеем

$$\|T_{\alpha}^{*}(z^{\alpha}, u) - z_{\alpha}(u_0)\| \leq \left(\frac{q_5}{1-q_5} + \frac{1}{1-q_5} \frac{NM}{\alpha} \|z^{\alpha} - z_{\alpha}(u_0)\| \right) \|z^{\alpha} - z_{\alpha}(u_0)\| + \frac{NM}{2(1-q_5)\sigma^{\frac{1}{\sigma}}} \alpha^{\frac{1-\sigma}{\sigma}}. \quad (27)$$

Оператор $T_{\alpha}^{*}(z^{\alpha}, u)$ шар $S(z_{\alpha}(u_0), t\eta)$ отображает в себя, если

$$\|T_{\alpha}^{*}(z^{\alpha}, u) - z_{\alpha}(u_0)\| \leq t\eta. \quad (28)$$

Тогда из (27) имеем

$$\left(\frac{q_5}{1-q_5} + \frac{1}{1-q_5} \frac{NM}{\alpha} \|z^{\alpha} - z_{\alpha}(u_0)\| \right) \|z^{\alpha} - z_{\alpha}(u_0)\| + \frac{NM}{2(1-q_5)\sigma^{\frac{1}{\sigma}}} \alpha^{\frac{1-\sigma}{\sigma}} = \|z^{\alpha} - z_{\alpha}(u_0)\|. \quad (29)$$

Введем обозначение

$$\eta = \frac{NM}{2(1-q_5)\sigma^{\frac{1}{\sigma}}} \alpha^{\frac{1-\sigma}{\sigma}}. \quad (30)$$

Подставляя вместо $\|z^{\alpha} - z_{\alpha}(u_0)\|$ значение $t \frac{NM}{2(1-q_5)\sigma^{\frac{1}{\sigma}}} \alpha^{\frac{1-\sigma}{\sigma}}$ в (29), имеем

$$\frac{q_5}{1-q_5} t \frac{NM}{2(1-q_5)\sigma^{\frac{1}{\sigma}}} \alpha^{\frac{1-\sigma}{\sigma}} + \frac{1}{1-q_5} \frac{NM}{\alpha} \left(t \frac{NM}{2(1-q_5)\sigma^{\frac{1}{\sigma}}} \alpha^{\frac{1-\sigma}{\sigma}} \right)^2 + \frac{NM}{2(1-q_5)\sigma^{\frac{1}{\sigma}}} \alpha^{\frac{1-\sigma}{\sigma}} = t \frac{NM}{2(1-q_5)\sigma^{\frac{1}{\sigma}}} \alpha^{\frac{1-\sigma}{\sigma}}. \quad (31)$$

После преобразований из (31) имеем

$$ht^2 - \frac{1-2q_5}{1-q_5} t + 1 = 0, \text{ где } h = \frac{N^2 M^2}{2(1-q_5)^2 \sigma^{\frac{1}{\sigma}}} \alpha^{\frac{1-2\sigma}{\sigma}}, \frac{1-2q_5}{1-q_5} > 0$$

$$\text{при } q_5 < \frac{1}{2}. \quad (32)$$

Квадратное уравнение (32) имеет действительное решение, если

$$h < \frac{(1-2q_5)^2}{4(1-q_5)^2}, \quad (33)$$

тогда минимальный корень имеет вид

$$t_1 = \frac{\frac{1-2q_5}{1-q_5} - \sqrt{\left(\frac{1-2q_5}{1-q_5} \right)^2 - 4h}}{2h}. \quad (34)$$

Если $t = t_1$, то оператор $T_{\alpha}^{*}(z^{\alpha}, u)$ при $\|u - u_0\| \leq \tilde{r}_u$ шар $S(z_{\alpha}(u_0), t_1\eta)$ отображает в себя. Таким образом, для любого элемента z шара $S(z_{\alpha}(u_0), t_1\eta)$ имеет место неравенство

$$\|z - z_{\alpha}(u_0)\| \leq t_1 \frac{(1-q_5)h}{NM} \alpha. \quad (35)$$

В шаре $S(z_{\alpha}(u_0), t_1\eta)$ оператор $T_{\alpha}^{*}(z^{\alpha}, u)$ является сжимающим оператором

$$q_6 = \frac{\frac{1}{1-q_5} - \sqrt{\left(\frac{1-2q_5}{1-q_5}\right)^2 - 4h}}{2} < \frac{1}{2(1-q_5)}. \quad (36)$$

где $\frac{1}{2(1-q_5)} < 1$ при $q_5 < \frac{1}{2}$, следовательно $q_6 < 1$. Таким образом, оператор $T_\alpha^*(\cdot, u)$ является равномерно сжимающим оператором.

В силу принципа сжимающих отображений оператор $T_\alpha^*(z^\alpha, u)$ в шаре $S(z_\alpha(u_0), t_1\eta)$ имеет неподвижную точку, следовательно, уравнение (19) имеет единственное непрерывное решение z^α для каждого u , $\|u - u_0\| \leq \tilde{r}_u$, удовлетворяющее неравенству

$$\|z^\alpha(u) - z_\alpha(u_0)\| \leq t_1 \frac{(1-q_5)h}{NM} \alpha, \text{ где } \tilde{r}_z(\alpha) = t_1 \frac{(1-q_5)h}{NM} \alpha. \quad (37)$$

Теорема 1 доказана.

Теорема 3. Пусть 1) выполняются все условия теоремы 1; 2) между элементами $z_\alpha(u_0)$ и z^* имеет место оценка $\|z^* - z_\alpha(u_0)\| \leq \gamma_z(\alpha)$, где $0 < \gamma < \frac{1}{2}$. Тогда единственное непрерывное решение $z^{\alpha,*}$ уравнения (19) сходится по норме пространства H к точному решению z^* уравнения (1) при $\alpha \rightarrow 0$.

Доказательство. Используя неравенство треугольника, неравенство (37) при $u = u^*$ и второе условие теоремы 3, оценивая норму разности $\|z^{\alpha,*} - z^*\|$, имеем

$$\|z^{\alpha,*} - z^*\| \leq \|z^{\alpha,*} - z_\alpha(u_0)\| + \|z^* - z_\alpha(u_0)\| \leq (1+\gamma)t_1 \frac{(1-q_5)h}{NM} \alpha. \quad (38)$$

Из неравенства (38) следует, что $z^\alpha(u^*) \rightarrow z^*$ *іде* $\alpha \rightarrow 0$ по норме пространства H . Таким образом, решение $z^\alpha(u^*)$ уравнения (19) при $u = u^*$ является приближенным решением уравнения (1).

Теорема 3 доказана.

Таким образом, решение уравнение (19) является регуляризованным решением уравнения (1).

Список литературы

1. Лаврентьев М.М. О некоторых некорректных задачах математической физики. – Новосибирск: СО АН СССР, 1962.
2. Красносельский М.А. и др. Приближенное решение операторных уравнений. М.-1969.
3. Саадабаев А.С. Сходимость метода Ньютона в нелинейных некорректных задачах // Известия вузов № 1-2, Бишкек-2003.
4. Л. В. Канторович и Г. П. Акилова Функциональный анализ в нормированных пространствах.
5. Усенов И.А. Регуляризация решения неявного операторного уравнения первого рода // «Функциональный анализ и его приложения», Астана-2012г.

References

1. M.M Lavrentiev Some ill-posed problems of mathematical physics. - Novosibirsk, USSR Academy, 1962.
2. M.A Krasnosel'skii and others. An approximate solution of operator equations. M-1969.
3. Saadabaev A.S Convergence of Newton's method for nonlinear ill-posed problems // Proceedings of Higher Education № 1-2, Bishkek-2003.
4. L.V. Kantorovich, G.P. Akilov, Functional analysis in normed spaces.
5. Usenov I.A Regularization of the solution of implicit operator equations of the first kind // "Functional Analysis and Its Applications," Astana-2012.

УДК 517.968

ЭФФЕКТИВНЫЙ АЛГОРИТМ ПРИБЛИЖЕННОГО РЕШЕНИЯ ЛИНЕЙНЫХ ИНТЕГРАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ ТИПА ВОЛЬТЕРРА ТРЕТЬЕГО РОДА

Тагаева С.Б., Кыргызский государственный технический университет им. И. Раззакова, доцент, г. Бишкек, Кыргызстан, e-mail: tagaeva_72@mail.ru

Цель статьи - найти достаточные условия для существования решений линейных интегральных уравнений типа Вольтерра третьего рода. Основным условием является условие сжатия в начальной точке: отношение значения ядра к значению производной от коэффициента при неизвестной функции меньше единицы. На примере показано, что это условие – существенное. Реализован алгоритм приближенного решения таких уравнений, задаваемых формулами, на основе метода трапеций. Значения искомой функции с некоторым шагом вычисляются последовательно. Эффективность алгоритма достигается путем задания производных известных функций в начальной точке.

Ключевые слова: интегральное уравнение типа Вольтерра, интегральное уравнение третьего рода, решение, приближенное решение

EFFECTIVE ALGORITHM OF APPROXIMATE SOLVING LINEAR VOLTERRA INTEGRAL EQUATIONS OF THE THIRD KIND

Tagaeva S.B., Ph.D. Kyrgyz State Technical University named after I. Razzakov, , Bishkek, Kyrgyzstan, e-mail: tagaeva_72@mail.ru

Sufficient conditions of existence of solutions of linear Volterra integral equations of the third kind are found, the main of them is the condition of contraction in the initial point: the ratio of value of the kernel to value of derivative of the coefficient by the unknown function is less than one. By an example it is demonstrated that this condition is essential. An algorithm of approximate solving of such equations defined by formulas on the base of trapezium method is implemented. The values of the unknown function with any step are calculated consequently. Effectiveness of the algorithm is attained by means of giving derivatives of the known functions in the initial point.

Keywords: Volterra integral equation, integral equation of the third kind, solution, approximate solving

Интегральные уравнения третьего рода возникают в практических задачах, см., например, [6]. Для уравнений типа Вольтерра достаточные условия существования множества решений были найдены в [5]. Сложные условия существования решений были сформулированы в [1]. Достаточные условия существования более общих, чем непрерывные, решений, были найдены нами в [7]. В [8] на основе методики [3] нами было обнаружено новое явление частичного поворота решения в теории сингулярных возмущений интегральных уравнений третьего рода.

В ряде работ, в том числе [2], [5], разрабатывались приближенные методы решения уравнений типа Вольтерра, но они не были доведены до компьютерной реализации.

В данной статье найдены непосредственно проверяемые достаточные условия существования непрерывных решений линейных интегральных уравнений типа Вольтерра третьего рода без предположения о дифференцируемости известных функций во всей области определения, показана их существенность, построен и реализован алгоритм приближенного решения таких уравнений при условии, что исходные данные заданы в виде формул.

Условия существования решения линейных интегральных уравнений Вольтерра третьего рода

Рассматривается класс уравнений вида

$$a(t)u(t) + \int_0^t K(t,s)u(s)ds = f(t), t \in \Delta, \quad (1)$$

где $\Delta = [0, T]$ или $\Delta = [0, \infty)$, $K(t,s)$, $f(t)$, $a(t)$ – заданные функции.

Полагая $t=0$ в (1), видим, что необходимым условием существования решения в непрерывных функциях является

$$f(0)=0. \quad (2)$$

Введем оператор

$$J(u(\cdot))(t) := \begin{cases} \frac{f(t)}{a(t)} - \frac{\int_0^t K(t,s)u(s)ds}{a(t)}, & t > 0 \\ \frac{f'(0)}{a'(0)} - \frac{K(0,0)}{a'(0)}u(0), & t = 0. \end{cases} \quad (3)$$

ЛЕММА 1. Если выполняется условие (2) и условия 1) $K(t,s) \in C(G)$, $f(t) \in C(\Delta)$, $a(t) \in C(\Delta)$, 2) $a(0)=0$, 3) существует $a'(0)$ и $a'(0)>0$, 4) $a(t)>0$ для всех $t \in \Delta \setminus \{0\}$, 5) существует $f'(0)$ (производные – правосторонние),

то оператор (3) определен.

Доказательство. По правилу Лопиталя: (предел знаменателя отличен от нуля)

$$\lim_{t \rightarrow +0} \frac{f(t)}{a(t)} = \frac{f'(0)}{a'(0)}.$$

По теореме о среднем для интеграла от непрерывной функции, получаем

$$\lim_{t \rightarrow +0} \frac{1}{a(t)} \int_0^t K(t, s) u(s) ds = \frac{K(0,0)}{a'(0)} u(0).$$

Из этих двух соотношений следует, что $\lim_{t \rightarrow +0} J(u(\cdot))(t) = J(u(\cdot))(0)$. Лемма доказана.

ЛЕММА 2. Если выполняются условия Леммы 1 и

$$\theta_0 = \frac{|K(0,0)|}{a'(0)} < 1, \quad (4)$$

то существует такое $T_1 \leq T$, что уравнение (1) имеет решение в $C([0, T_1])$.

ДОКАЗАТЕЛЬСТВО. Докажем, что оператор (3) является сжи-мающим по норме $\|\cdot\|_1$ пространства $C([0, T_1])$ при достаточно малом T_1 .

По теореме о среднем для интеграла от непрерывной функции, получаем

$$\lim_{t \rightarrow +0} \frac{1}{a(t)} \int_0^t |K(t, s)| ds = \frac{|K(0,0)|}{a'(0)}. \quad (5)$$

Существует такое T_1 , что дробь в левой части (5) отличается от дроби в правой части (5) меньше, чем на $\frac{1-\theta_0}{2}$ ($0 < t \leq T_1$).

Оценим

$$\begin{aligned} \|J(u_1(\cdot)) - J(u_2(\cdot))\|_1 &= \max\left\{2 \frac{1}{a'(0)} |K(0,0)u_1(0) - K(0,0)u_2(0)|, \right. \\ &\sup\left\{\frac{1}{a(t)} \left| \int_0^t K(t, s)u_1(s)ds - \int_0^t K(t, s)u_2(s)ds \right| \mid 0 < t \leq T_1\right\} \leq \\ &\leq \max\left\{\theta_0 \sup\left\{\frac{|K(0,0)|}{a'(0)} + \frac{1-\theta_0}{2} \mid 0 < t \leq T_1\right\}\right\} \|u_1 - u_2\|_1 \leq \\ &\leq \max\left\{\theta_0, \theta_0 + \frac{1-\theta_0}{2}\right\} \|u_1 - u_2\|_1 = \frac{1+\theta_0}{2} \|u_1 - u_2\|_1. \end{aligned}$$

Поскольку $\frac{1+\theta_0}{2} < 1$, оператор J является сжимающим в $C([0, T_1])$.

Следовательно, существует единственное решение $u_0(t)$ уравнения

$$u(t) = J(u(\cdot))(t) \quad (6)$$

в $C([0, T_1])$.

Из первого выражения (3) видно, что функция $u_0(t)$ удовлетворяет уравнению (1) при $t > 0$, а из условия (2) следует, что функция $u_0(t)$ удовлетворяет уравнению (1) при $t = 0$. Лемма доказана.

Пример 1. Уравнение (1) с

$$a(t) = 2t, f(t) = 3t + 15t^2 + t^3 + 4t^4, K(t, s) = 1 + 2ts \quad (7)$$

имеет решение $u(t) = 1 + 6t$.

Примечание. Из второго соотношения (3) получаем уравнение для $u(0)$, откуда

$$u(0) = \frac{f'(0)}{a'(0) + K(0,0)}. \quad (8)$$

Покажем, что условие (4) – неумлучшаемое.

Пример 2.

$$a(t) = t, K(t, s) = 1, f(t) = t, a'(t) = 1, \left(\theta_0 = \frac{1}{1} = 1\right) \quad (9)$$

Если уравнение (1)-(9) имеет непрерывное решение, то при $t > 0$ оно будет также дифференцируемым. Дифференцируя по t , получим $tu'(t) + u(t) - u(t) = 1$, $tu'(t) = 1$.

Отсюда находим: $u(t) = \ln t + C$ ($t > 0$). При любом C будет $u(t) \rightarrow \infty$ при $t \rightarrow +0$, то есть $u(t)$ – не может быть непрерывным. Следовательно, уравнение (1)-(9) не имеет непрерывного решения.

Теорема 1. Если выполняются условия Леммы 2, то уравнение (1) имеет решение в $C(\Delta)$.

Доказательство. Согласно Лемме 2, существует такое T_1 , что уравнение (1) имеет решение в $C([0, T_1])$. Для $t > T_1$ перепишем это уравнение в виде

$$u(t) + \int_{t_1}^t \frac{K(t,s)}{a(t)} u(s) ds = \frac{1}{a(t)} \left(f(t) - \int_0^t K(t,s) u(s) ds \right). \quad (10)$$

Здесь правая часть – известная функция.

В силу условия 4) леммы 1 это уравнение является линейным уравнением Вольтерра второго рода, следовательно, оно имеет решение на всем отрезке определения t . Теорема доказана.

1. Приближенный метод решения линейных интегральных уравнений Вольтерра третьего рода

Пусть выполняются условия леммы 1 и

$$K(0,0) \neq -a'(0). \quad (11)$$

Выберем некоторое малое число $h>0$, обозначим $h_2=h/2$. Заменяем t на $t+h$ в (1):

$$a(t+h)u(t+h) + \int_0^{t+h} K(t+h,s)u(s)ds = f(t+h). \quad (12)$$

Вычитая (1) из (12) и группируя, получаем:

$$a(t+h)u(t+h) - a(t)u(t) + \int_0^t (K(t+h,s) - K(t,s))u(s)ds + \int_t^{t+h} K(t+h,s)u(s)ds = f(t+h) - f(t).$$

Применяя формулу трапеций ко второму интегралу и перегруппируя, получаем

$$(a(t+h) + h_2(K(t+h, t+h))u(t+h) \approx a(t)u(t) - \int_0^t (K(t+h,s) - K(t,s))u(s)ds - h_2K(t+h, t)u(t) + f(t+h) - f(t). \quad (13)$$

С помощью равенства (13) можно последовательно вычислять значения искомой функции для значений аргумента с малым шагом. Обозначим

$$t[i] := ih, a[i] := a(t[i]); K[i,j] := K(t[i], t[j]), Q[i,j] := K[i+1,j] - K[i,j], f[i] := f(t[i]), U[i] \approx u(t[i]), i=0,1,2,\dots$$

К первому интегралу также применим формулу трапеций.

Особенностью программирования данной задачи является то, что для значений $i=0$ и $i=1$ формулы для $U[i]$ не получаются из общей, а выписываются отдельно.

Отсюда и из (8) получаем следующие расчетные формулы:

$$U[0] = f'(0)/(a'(0) + K[0,0]), \quad (14_0)$$

$$U[1] = ((a[0] - h_2K[1,0])U[0] + f[1] - f[0])/(a[1] + h_2K[1,1]), \quad (14_1)$$

$$U[k+1] = ((a[k] - h_2K[k+1,k])U[k] - h \sum_{j=0}^k \delta[k,j]Q[k,j]U[j] + f[k+1] - f[k]) / (a[k+1] + h_2K[k+1,k+1]), k=1,2,\dots \quad (14_2)$$

где $\delta[k,j]=1/2$ при $j=0$ или $j=k$ и $\delta[k,j]=1$ в остальных случаях.

Для реализации этих формул были написана программа на языке pascal. В ней исходными данными являются значение T , формулы для $a(t)$, $K(t,s)$, $f(t)$, значения $a'(0)$, $f'(0)$, шаг по t . В случае, когда решается контрольный пример с известным точным решением, предусмотрено также задание формулы для точного решения.

Этот алгоритм был применен к примеру 1 с $T=5$, с шагом $h=1/8$.

Отклонение приближенного решения от точного составило менее 0.01, что показывает эффективность алгоритма.

Выводы. В статье получены непосредственно проверяемые условия существования решений линейных интегральных уравнений типа Вольтерра третьего рода и построен эффективный алгоритм для их приближенного решения.

Аналогичные условия существования решений также могут быть сформулированы и соответствующий алгоритм построен для много-мерного случая (векторно-матричного уравнения).

Список литературы

1. Асанов А. Регуляризация и единственность решений линейных интегральных уравнений Вольтерра третьего рода / А.Асанов, Г.Ободоева // Исследования по интегро-дифференциальным уравнениям. – Бишкек: Илим, 1994. – Вып. 25. – С. 65-74.
2. Габбасов Н.С. Новый приближенный метод решения интегральных уравнений третьего рода / Н.С. Габбасов // Математические заметки. – 1991. – Т.49, № 1. – С.40-46.

3. Кененбаева Г.М. Теория и методика поиска новых эффектов и явлений в теории возмущенных дифференциальных и разностных уравнений / Г.М. Кененбаева. – Бишкек: Илим, 2012. – 204 с.
4. Магницкий Н.А. Линейные интегральные уравнения Вольтерра I и III рода / Н.А. Магницкий // Журнал вычисл. математики и матем. физики, т. 19, № 14, 1979, с. 970-989.
5. Омуров Т.Д. Приближенные методы в теории нелинейных интегральных уравнений Вольтерра первого и третьего рода. Автореферат диссертации доктора физ.-матем. наук /Т.Д. Омуров. - Бишкек, 2000.
6. Shulaia D. Linear integral equations of the third kind arising from neutron transport theory/ D. Shulaia // Math. mech. appl. sci. - 2007, No 30. - P. 1941-1964.
7. Tagaeva S.B. Regularization and unity of Volterra linear integral equations solutions of third kind in the space of summed up functions / S.B. Tagaeva // Reports of the Third Congress of the World Mathematical Society of Turkic countries, Vol. 1. – Almaty: Al-Farabi Kazakh National University, 2009. – Pp. 401-406.
8. Kenenbaeva G. Survey of effects and phenomena in some branches of mathematics / G. Kenenbaeva, S. Tagaeva // Proceedings of V Congress of the Turkic World Mathematicians. Ed. by acad. A.Borubaev. – Bishkek: Kyrgyz Mathematical Society, 2014. – Pp. 107-111.

References

1. Asanov A. Regularizatsiya i edinstvennost reshenii lineynih integralnih uravnenii Volterra tretiego roda [Regularization and uniqueness of solutions of Volterra integral equations of third kind] / A. Asanov, G. Obodoeva // Issledovaniya po integro- differentsialnim uravneniyam. – Bishkek: Ilim, 1994. – Vip. 25. –page 65-74.
2. Gabbasov N.S. Novii priblizhennii metod resheniya integralnih uravnenii tretiego roda [New approximate method to solve integral equations of third kind] / N.S.Gabbasov // Matematicheskie zametki. 1991. – T.49, No.1.- page 40-46.
3. Kenenbaeva G. M. Teoria i metodika poiska novih effektov i yavlenii v teorii vozmushennih differentsialnih i raznostnih uravnenii [Theory and methodic to search new effects and phenomena in the theory of perturbed differential and difference equations] / Kenenbaeva G. M.- Bishkek: Ilim, 2012. – page 204 .
4. Magnickii N.A. Lineinie integralnie uravnenia Volterra I i III roda [Linear Volterra integral equations of I and III kind] /N.A. Magnickii// Gurnal vichislitelinoi matematiki i matematicheskoi fiziki, т. 19, № 14, 1979, page . 970-989.
5. Omurov T.D. Priblizhennii metodi v teorii nelineinih integralnih uravnenii Volterra pervogo i tretiego roda [Approximate methods in the theory of nonlinear Volterra integral equations of first and third kind]. Avtoreferat dissertatsii doktora fiziko- matematicheskikh nauk / T.D. Omurov.- – Bishkek, 2000.
6. Shulaia D. Linear integral equations of the third kind arising from neutron transport theory/ D. Shulaia // Math. mech. appl. sci. - 2007, No 30. - page. 1941-1964.
7. Tagaeva S.B. Regularization and unity of Volterra linear integral equations solutions of third kind in the space of summed up functions / S.B. Tagaeva // Reports of the Third Congress of the World Mathematical Society of Turkic countries, Vol. 1. – Almaty: Al-Farabi Kazakh National University, 2009. – page. 401-406.
8. Kenenbaeva G. Survey of effects and phenomena in some branches of mathematics / G. Kenenbaeva, S. Tagaeva // Proceedings of V Congress of the Turkic World Mathematicians. Ed. by acad. A.Borubaev. – Bishkek: Kyrgyz Mathematical Society, 2014. – page. 107-111.

УДК 532.546:536.421

ПРОЦЕСС ЗАГРЯЗНЕНИЯ В ЗОНЕ ТАЛОГО ГРУНТА

Джаманбаев Мураталы Джузумалиевич, д.ф.-м.н., профессор, КГТУ им. И.Раззакова, Кыргызская Республика, 720044, г. Бишкек, пр. Мира, 66, e-mail: jamanbaev@mail.ru.

Чыныбаев Мирлан Койчубекович, к.ф.-м.н., доцент, КГТУ им. И.Раззакова, Кыргызская Республика, 720044, г. Бишкек, пр. Мира, 66, e-mail: jamanbaev@mail.ru

На типичном примере имитируется процесс загрязнения под основанием водоема в зоне талого грунта. Приводится численная реализация математической модели, которая описывает процесс загрязнения под основанием водоема через фильтрационный поток жидкости с помощью пакета прикладных программ COMSOL Multiphysics с визуализацией полученных результатов. Загрязнителями могут быть промышленные отходы, отходы золоторудной фабрики и хвостохранилища. Качественное исследование, прогнозирование процессов загрязнения подземной гидросферы является основной задачей охраны окружающей среды.

Ключевые слова: загрязнение, фильтрация, плотина, грунт, моделирование, водоем, жидкость, прогнозирование

CONTAMINATIONS PROCESS IN UNFROZEN SOIL

Muratally Jamanbaev, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, KSTU named after I. Razzakov, Kyrgyz Republic, 720044, Bishkek, Mir avenue, 66, e-mail: jamanbaev@mail.ru,

Mirlan Chynybaev, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, docent, KSTU named after I. Razzakov, Kyrgyz Republic, 720044, Bishkek, Mir avenue 66, e-mail: jamanbaev@mail.ru

On a typical example of the process is simulated contamination under the base of the reservoir in the area of unfrozen soil. Numerical implementation of a mathematical model that describes the process of pollution under the base of the reservoir through the filtration flow of fluid via the application package COMSOL Multiphysics with the visualization of the results. Pollutants may be industrial waste, waste and tailings gold factory. Qualitative research, forecasting of pollution of underground hydrosphere is the main task of environmental protection.

Keywords: contamination, filtration, dam, soil, modeling, reservoir, fluid, prediction

Постановка задачи. Рассматривается случай, когда загрязнение может происходить через дно пруда хвостохранилища (рис.1). Для общности задачи пористая среда под основанием пруда считается двухслойной, имитирующей хвостохранилища, т.к. отходы золоторудной фабрики в виде пульпы складываются и образуют плотный слой пульпы под основанием пруда хвостохранилища. Поэтому область фильтрации представляется как двухслойная среда. Первый слой более плотный, второй с большей пористостью и представляет горную породу. Чтобы предотвратить фильтрацию через тело плотины, верхний бьеф и часть основания хвостохранилища, предполагается покрыты их водонепроницаемым материалом.

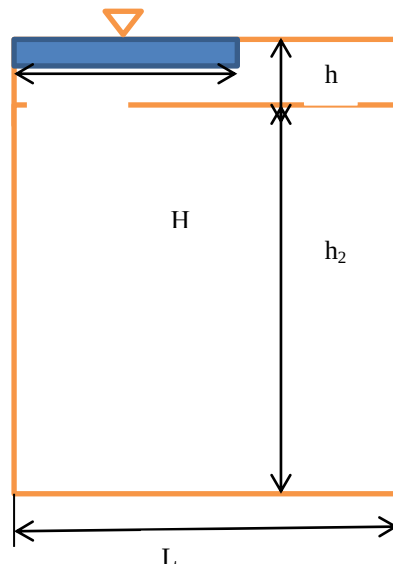


Рис.1. Схематичное представление проникновения загрязнителей в слои грунта.

Для исследования процесса загрязнения через фильтрацию воды из водоема достаточно рассмотреть область под основанием хвостохранилища. Для имитации данного процесса источником загрязнения считается водоем. Часть основания водоема вблизи к верхнему бьефу плотины покрыта пленкой, а остальная часть длиной – l не покрыта. На рис.1. показано схематичное проникновение загрязнителей из водоема в грунты. Водопроницаемые грунты глубиной h_1 , h_2 имеют разные геометрические и гидрогеологические характеристики. Нижняя граница второго слоя считается непроницаемой. Вода на дневной поверхности содержит вредные вещества постоянной концентрации. Вредные вещества входят в пористую среду с водой и перемещаются адвекцией и дисперсией. В процессе впитывания раствора в слоях грунта уменьшается концентрация в воде и замедляется движение раствора относительно воды. Сорбция считается линейно пропорциональной водным концентрациям загрязнителей. Сначала решается фильтрационная задача, затем с учетом ее результатов задача о переносе вредных веществ методом конечных элементов. Область типичного примера рассматривалась со следующими размерами: $L = 60\text{m}$, $h_1 = 0.4\text{m}$, $h_2 = 2.6\text{m}$, $l = 1.8\text{m}$. Разбиение области на треугольные элементы производится автоматически и равнялось 776 элементам. В начальный момент задается поле значений гидростатических давлений и концентраций.

Процесс насыщения и фильтрации жидкости моделируется уравнением Ричардсона.

$$(C + S_e S) \frac{\partial H_p}{\partial t} + \nabla \cdot (-K \nabla (H_p + D)) = 0 \quad ,$$

где C – влагоемкость грунта; S_e – эффективная насыщенность грунта или почвы (безразмерная); S – коэффициент насыщенности среды; H_p – гидростатическое давление, которое пропорционально давлению $P(\text{Pa})$; t – время; K – гидравлическая проницаемость (м/с); $D = z$ – направление, которое представляет разность

по вертикали (м). Гидравлический напор H , гидростатическое давление H_p , и высота D связаны с давлением P через известное соотношение

$$H_p = \frac{P}{\rho g}; \quad H = H_p + D.$$

k – проницаемость ($1/m^2$) и гидравлическая проводимость $K(m/c)$ связаны с вязкостью μ (Па·с), плотностью ρ (kg/m^3) жидкости и ускорением свободного падения g (m/t^2) соотношением

$$\frac{k}{\mu} = \frac{K}{\rho g}.$$

В процессе проникновения жидкости в сухую или влажную среду жидкость может не полностью заполнять все поры в грунте. Поэтому вводится параметр, характеризующий объем жидкости, содержащийся в грунте $S = (\theta_s - \theta_r)/(lm \rho g)$ – уровень насыщенности среды. Здесь θ_s, θ_r характеризуют содержание воды в насыщенной и ненасыщенной среде. Влагоемкость среды C характеризует изменения влажности с изменением гидростатического давления $C = \partial \theta / \partial H_p$ или изменением содержания жидкости в грунте

Граничные условия. Кроме источника загрязнения на всех границах области ставится условие непроницаемости

$$n u = 0, \quad (1)$$

где n – вектор нормали границ области u – скорость фильтрации. Начальное условие для гидростатического давления задано

$$H_p = H_{p0} \quad (2)$$

Скорость фильтрации с гидростатическим давлением связана через закон Дарси

$$u = K_s k_r \nabla (H_p + D) \quad (3)$$

Процесс переноса вредных веществ в пористой среде моделируется в общем виде уравнением

$$\frac{\partial}{\partial t}(\theta c) + \frac{\partial}{\partial t}(\rho_b c_p) + \nabla[-\theta D_L \nabla c + u c] = \sum R_L + \sum R_p + S_c \quad (4)$$

Здесь θc – растворенная концентрация вещества в жидкости (kg/m), c_p – масса адсорбированного загрязнителя на грунте (mg/kg), θ – доля объема жидкости в грунте, ρ_b – объемная плотность (kg/m^3), $\rho_b c_p$ – масса раствора в грунте, D_L – гидродинамический тензор дисперсии (m^2/d), R_L представляет реакции в воде ($kg/(m^3 d)$), R_p – реакцию, вовлекающую растворы ($kg/(m^3 d)$), S_c – раствор, отнесенный к единичному объему почвы в единицу времени ($kg/(m^3 d)$). Для простоты вышеприведенное уравнение перепишем только для случая растворенной концентрации. Масса раствора в почве c_p выражается линейно через концентрацию и коэффициент разделения K_p (m^3/kg): $c_p = K_p c$ или $K_p = \frac{\partial c_p}{\partial c}$. С учетом этих преобразований исходное уравнение имеет вид

$$(\theta + \rho_b k_p) \frac{\partial c}{\partial t} + c \frac{\partial \theta}{\partial t} + \nabla(-\theta D_L \nabla c + u c) = \theta \varphi_L c + \rho_b k_p \varphi_p + S_c$$

Здесь φ_L, φ_p – показатели распада для растворенных и впитанных почвой концентраций раствора, D_L – гидродинамический тензор дисперсии, он описывает механическое распространение от движения грунтовой воды в дополнение к химическому распространению:

$$\theta D_{Lii} = \alpha_1 \frac{u_i^2}{|u|} + \alpha_2 \frac{u_j^2}{|u|} + \theta D_m \tau_L,$$

$$\theta D_{Lij} = (\alpha_1 - \alpha_2) \frac{u_i u_j}{|u|},$$

где D_{Lii} – диагональные компоненты тензора дисперсии; D_{Lij} – не диагональные члены; α_1, α_2 – продольные и поперечные дисперсии (m); D_m – коэффициент молекулярной дисперсии (m^2/d); τ_L – фактор извилистости, который уменьшает воздействия молекулярного распространения в пористой среде относительно чистой воды.

Граничные и начальные условия процесса переноса вредных веществ в грунте считаются следующими: в начале раствор поступает в грунт с водой при концентрации c_0 . До начала процесса загрязнения грунт считается сухим и чистым, т.е. начальное условие – нулевая концентрация. Все границы области загрязнения, кроме границ, где происходит загрязнение, считаются непроницаемыми. Конкретно рассмотрен типичный пример, исходные данные которого равны:

Данные для фильтрационной задачи

Переменная	Единица измерения	Описание	Верхний слой почвы	Нижний слой почвы
K_s	m/d	Насыщенная гидравлическая проводимость	0.298	0.454
θ_s		Пористость	0.1	0.25
θ_r		Остаточная насыщенность	0.001	0.001
α	m^{-1}	Альфа-параметр	1.74	1.39
n		Параметр	1.38	1.60
m		m параметр	$1-1/n$	$1-1/n$
l		Параметр возможности соединения поры	n/a	
H_{p0}		Гидростатическое давление в кольце	5	
$H_{p,init}$		Начальное гидростатическое давление	$-(z+1.2) - 0.2(z+0.4)$	$-(z+1.2)$

Таблица 2

Данные для задачи переноса вредных веществ

Переменная	Единица измерения	Описание	Значение
ρ_b	kg/m^3	Объемная плотность	1400
K_p	m^3/kg	Коэффициент распределения	0.0001
D_m	m^2/d	Коэффициент молекулярной диффузии	0.00374
α_r	m	Продольная дисперсия	0.005
α_z	m	Поперечная дисперсия	0.001
ϕ_L	d^{-1}	Уровень распада в жидкости	0.05
ϕ_P	d^{-1}	Уровень распада в почве	0.01
c_0	kg/m^3	Уровень концентрации раствора в кольце	1.0
c_{ini}	kg/m^3	Начальный уровень концентрации раствора	0

Согласно вышеприведенной математической модели загрязнения подземной гидросферы произведены расчеты на определенный период времени.

Результаты расчета представлены в течение 120 часов с начала загрязнения или в течение 5 суток. Как видно из рис.3, показано распространение вредного вещества в грунте во времени. Оно распространяется согласно гидростатическому давлению среды, которое представлено на рис.4.

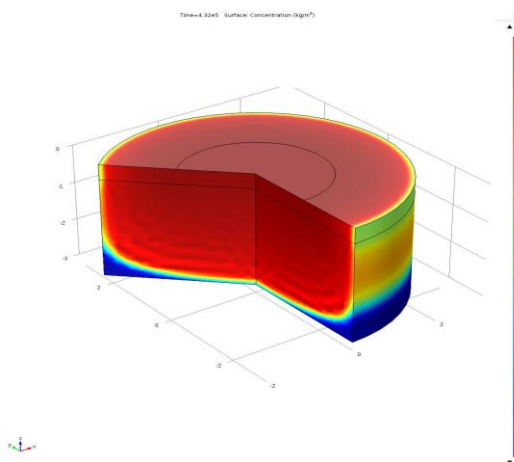


Рис. 2. Концентрация загрязнителя kg/m^3 в пространстве

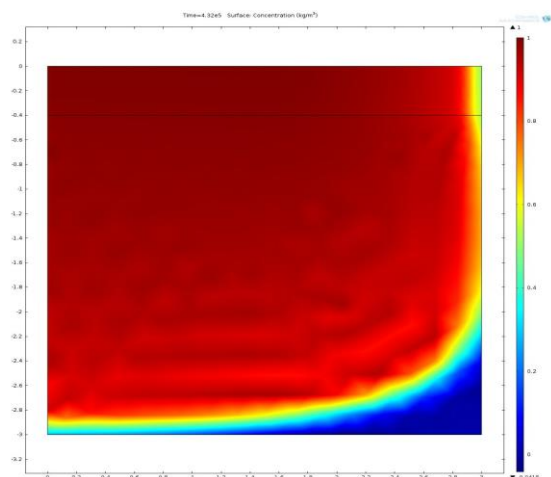


Рис. 3. Концентрация загрязнителя kg/m^3 в плоскости

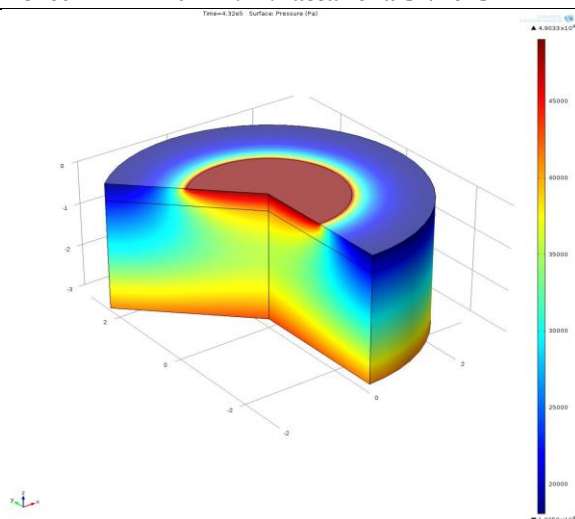


Рис.4. Внутреннее давление МПа в пространстве.

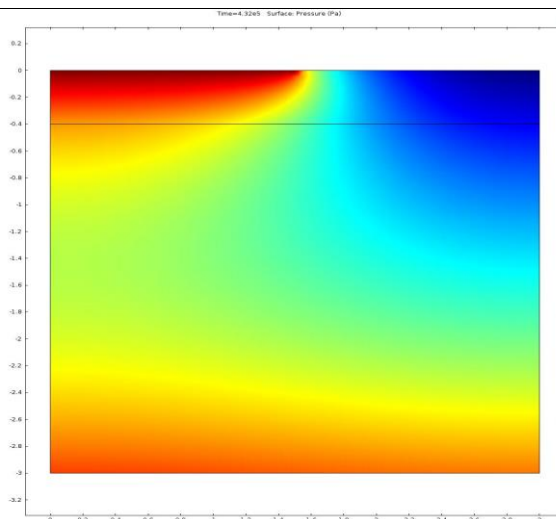


Рис.5. Внутреннее давление МПа в плоскости.

Выводы. Результаты математической модели загрязнения вредных веществ в пористой среде, полученные с помощью программного продукта, являются достоверными. Работоспособность модели и программного продукта COMSOL проверены на типичном примере задачи загрязнения подземной гидросферы.

Список литературы

1. Методы охраны подземных вод от загрязнения и истощения/ Под ред. И.К. Гавич.-М.: Недра, 1985.-320с.
2. Лукнер Л., Шестаков М.М. Моделирование геофильтрации.-М.: Недра, 1975.-320с.
3. Brooks R.H. and Corey A.T. "Properties of porous media affecting fluid flow". J.Irrig. Drainage., ASCE. Proc.72(IR2), pp. 61-88, 1966.
4. Pryor, Roger W., Multiphysics Modeling Using COMSOL: A First Principles Approach, Jones and Bartlett Publishers, ISBN: 0763779997, 2009
5. Я.Б.Горелик, В.С. Колунин. Удивительная мерзлота. Криосфера земли 2000. т.4.№2. стр .41-51
6. Томирдиаро С.В. Тепловые расчеты оснований в районах вечной мерзлоты. Магадан. 1963. – стр.104
7. Основы геокриологии (мерзлотоведение). Инженерная геокриология. Цытович Н.А., И.Я Баранов и др. Часть II. АН СССР, Москва, 1959.- стр. 365
8. Н.А.Цытович, М.И. Сумгин. Основание механики мерзлых грунтов. М. АН СССР, 1937. -12-14стр, 259-280стр
9. М.Дж.Джаманбаев. Протаивание мерзлого грунта с учетом фильтрации воды из водоема. Известия КГТУ им. И.Раззакова, № 32, с.126-129. Бишкек-2014.
10. М.Дж. Джаманбаев, М. Чыныбаев. Температурный режим тела плотины и основания водохранилища. Известия КГТУ им. И.Раззакова, № 32, с.129-134. Бишкек-2014.
11. Анискин Н.А. Температурно-фильтрационный режим основания и плотины Курейской ГЭС во втором правобережном понижении. – М. Вестник МГСУ 2/2006. С.43-52.

References

1. Methods of protection of groundwater against pollution and depletion / Ed. IK Gavich. M. : Nedra, 1985.- 320 p.
2. Lukner L. Shestakov MM Modeling geofiltratsii. M. : Nedra, 1975.- 320 p.
3. Brooks R.H. and Corey A.T. "Properties of porous media affecting fluid flow". J.Irrig. Drainage., ASCE. Proc.72 (IR2), pp. 61-88, 1966.
4. Pryor, Roger W., Multiphysics Modeling Using COMSOL: A First Principles Approach, Jones and Bartlett Publishers, ISBN: 0763779997, 2009
5. Ya.B.Gorelik, VS Kolunin, Amazing frost. Earth Cryosphere 2000. t.4.№2. pp.41-51.
6. Tomirdiaro SV Thermal calculations bases in permafrost regions. Magagadan. 1963. - 104 p.
7. Fundamentals of Geocryology (Permafrost). Inzhenenrnaya geocryology. Tsitovich NA, I.YA Baranov et al. Part II. USSR Academy of Sciences, Moscow, 1959.- 365 p.
8. N.A.Tsytovich, MI Sumgin. The base mechanics of frozen soils. M. USSR Academy of Sciences, 1937. pp.12-14, pp. 259-280
9. M.Dzh.Dzhamanbaev. Thawing of frozen soil based filtering water from the reservoir. Proceedings of KSTU. I.Razzakova, № 32, s.126-129. Bishkek 2014.
10. MJ Dzhamanbaev, M. Chynybay. The temperature regime of the dam and reservoir base. Proceedings of KSTU. I.Razzakova, № 32, pp.129-134. Bishkek 2014.

11. Aniskin NA Temperature-filtration mode and the base of the dam hydroelectric Kureiskaya second right bank lowered. - M. Herald MGSU 2/2006. 43-52 p.

УДК 539.47

ОБ ОПРЕДЕЛЕНИИ РЕАКТИВНЫХ УСИЛИЙ СОСТАВНЫХ ПРУЖИН

С.А. Абдрахманов, Ж.Ж. Доталиева, М.Б. Джолдошбаева, Джанузакова А.А., Кыргызский государственный технический университет им. И. Раззакова, Кыргызстан, 720044, г. Бишкек, пр. Мира, 66, e-mail: zh.dotalieva@gmail.com

Целью данной работы является теоретическое изучение генерации реактивных усилий, развиваемых рассматриваемой конструкцией, включающих составные пружины, одна из которых изготовлена из материала с памятью формы, при различных соединениях.

Рассмотрены процессы нагрузки, разгрузки, а также вопросы генерации реактивных усилий при их нагреве в области температур фазового перехода. Известно, что пружины, как правило, в основном работают в упругой области их деформирования. Но с появлением нового класса материалов, в частности, обладающих эффектом памяти формы, рабочая область деформирования пружин расширяется и может включать и неупругую зону. Следовательно, изучение условия деформирования пружин за пределами упругости является важной задачей. В данной работе сделан анализ генерации реактивных усилий пружин при их совместной работе с пружиной, не обладающей эффектом памяти формы. Получена зависимость величины максимального реактивного усилия от величины нагрузки в момент разгрузки. Сделано сравнение полученных результатов при параллельном и последовательном соединении пружин.

Ключевые слова: составные пружины, жесткость пружины, модуль сдвига, упругая и неупругая работа, осевое перемещение, напряжения, растягивающее усилие, реактивное усилие.

ABOUT DETERMINATION REACTION FORCE OF COMPOSITE COIL SPRINGS

S.A. Abdrahmanov, Zh.Zh. Dotalieva, M.B. Dzholdoshbaeva, A.A. Djanuzakova, Kyrgyz State Technical University named after I. Razzakov, Kyrgyzstan, 720044, Bishkek, Mira ave. 66, e-mail: zh.dotalieva@gmail.com

The aim of this work is a theoretical study of the generation of reactive force exerted by the construction under consideration, including the components of the spring, one of which is made of a shape memory material, with various compounds. Considered the processes of loading and unloading, as well as issues of generation of reactive force when they are heated in the temperature range of the phase transition. It is known that the springs tend to work mainly in the region of their elastic deformation. But with the advent of a new class of materials, in particular having a shape memory effect, the deformation of the springs working area expands and may include resilient zone. Therefore, the study of the deformation conditions of the springs outside of elasticity is an important task. In this paper we made an analysis of the generation of reactive force of the spring when they work together with the spring, not having a shape memory effect. Received the dependence of the maximum reactive force of the load at the time of discharge. Done to compare the results with parallel and series connection springs.

Keywords: composite spring, spring, shear modulus, elastic and inelastic work, axial displacement, stress, tension force, reactive force.

Эффект памяти формы (ЭФП) и генерация реактивных усилий, как известно, проявляются только при наличии неупругих деформаций (мартенситной природы) [1,2,3], в связи с этим, важными этапами при проектировании конструкций, работающих за пределом упругости, являются: определение предельной нагрузки, после которой возникают неупругие деформации, в дальнейшем их будем называть фазовыми деформациями; определение величин неупругих деформаций; вопросы разгрузки и изучение остаточных деформаций, и наконец, исследование реактивных усилий, возникающих в условиях воспрепятствования ее формовосстановлению.

В данной работе рассматриваются составные пружины, одна из которых обладает свойством памяти формы. Диаграмму сдвига этой пружины примем в виде двухзвенной ломаной линии. В упругой области деформирования модуль сдвига $G_2 = G_\mu$, где G_μ - модуль сдвига материала в мартенситном состоянии, в неупругой области этот модуль равен nG_μ , где n - безразмерный параметр, характеризующий степень упрочнения материала ($0 \leq n \leq 1$). Касательное напряжение, соответствующее началу фазовой текучести второй пружины, обозначим через $\tau_{фт}$. Учитывая, что $\tau_{фт}$ намного меньше дислокационного предела текучести,

считаем, что при изотермическом нагревании во второй пружине возникают неупругие деформации только мартенситной природы, т.е. фазовые деформации.

Рассматриваются два вида соединения пружин: последовательное и параллельное.

Пусть **последовательно** соединенные пружины растягиваются силой P .

В **упругом** случае связь между осевым перемещением λ и воспринимаемой нагрузкой P для пружин в упругой области их деформирования будет:

$$\lambda_1 = \frac{P}{z_1}, \quad \lambda_2 = \frac{P}{z_2}, \quad (1)$$

где z_1 и z_2 – соответственно жесткости пружин, которые определяются через геометрические и механические параметры пружин, т.е.

$$z_1 = \frac{G_1 d_1^4}{8 D_1^3 l_1}, \quad z_2 = \frac{G_\mu d_2^4}{8 D_2^3 l_2}. \quad (2)$$

Здесь D и d – соответственно диаметры пружин и проволоки; i – количество витков соответствующих пружин.

Очевидно, что полное перемещение конца пружины будет:

$$\lambda = \lambda_1 + \lambda_2 = \frac{P}{z}, \quad (3)$$

где z – жесткость составной пружины. С учетом формулы (1) она равна

$$z = \frac{z_1 z_2}{z_1 + z_2}. \quad (4)$$

Если максимальные касательные напряжения во второй пружине меньше значения $\tau_{\text{фт}}$, то рассматриваемая система будет работать в упругой области деформирования. Используя данное условие, найдем значение нагрузки, после которой она переходит в неупругую область:

$$P_{\text{фт}} = \frac{\pi d_2^3}{8 D_2} \tau_{\text{фт}}. \quad (5)$$

Подставляя значение $P_{\text{фт}}$ в формулы (1) и (3), имеем:

$$\lambda_{2\text{фт}} = \frac{P_{\text{фт}}}{z_2} = \frac{\pi D_2^2 i}{G_\mu d_2} \tau_{\text{фт}}; \quad \lambda_{\text{фт}} = \lambda_{2\text{фт}} \frac{z_2}{z}. \quad (6)$$

С учетом последних формул зависимость осевого перемещения от нагрузки для данной системы в безразмерном виде запишется:

$$\bar{\lambda} = \bar{P}, \quad (7)$$

где $\bar{\lambda} = \lambda/\lambda_{\text{фт}}$, $\bar{P} = P/P_{\text{фт}}$ – соответственно, безразмерные осевое перемещение и растягивающая сила.

Неупругая работа отдельной цилиндрической пружины растяжения рассмотрена в работе [3]. Для осевого перемещения такой пружины получена формула

$$\lambda_2 = \frac{P}{k(n, \rho) \cdot z_2}, \quad (8)$$

где $k(n, \rho)$ – коэффициент падения жесткости на кручение за счет появления неупругих деформаций; $\rho = \frac{r_{\text{фт}}}{r_0}$ – безразмерный параметр, характеризующий глубину зоны неупругих деформаций. Здесь $r_0 = \frac{d_2}{2}$ – радиус прутка, $r_{\text{фт}}$ – радиус прутка, где касательные напряжения равны $\tau_{\text{фт}}$. Для $k(n, \rho)$ нами получена следующая формула:

$$k(n, \rho) = \frac{\rho}{3} (4 - \rho^3) + n (1 - \frac{4}{3} \rho + \frac{1}{3} \rho^4). \quad (9)$$

С учетом формулы (8) полное осевое перемещение пружины запишется в виде:

$$\lambda = \left(\frac{1}{z_1} + \frac{1}{k(n, \rho) z_2} \right) P. \quad (10)$$

В безразмерном виде последнюю формулу можно привести к виду:

$$\bar{\lambda} = \frac{[k(n, \rho) + c]}{k(n, \rho)(1 + c)} \bar{P}. \quad (11)$$

Здесь $c = \frac{z_1}{z_2}$.

Перепишем формулу (11) в виде:

$$\bar{\lambda} = \frac{1 + \frac{k(n, \rho)}{c}}{k(n, \rho) \left(1 + \frac{1}{c} \right)} \bar{P}. \quad (12)$$

При последовательном соединении пружин можно показать, что параметр ρ , характеризующий глубину зоны неупругих деформаций, связан с безразмерным осевым перемещением пружины с памятью формы $\bar{\lambda}_2$ следующей зависимостью:

$$\rho = \frac{1}{\bar{\lambda}_2}. \quad (13)$$

Здесь $\bar{\lambda}_2 = \lambda_2/\lambda_{2\text{фт}}$.

Учитывая, что $\lambda_2 = P/k(n, \rho) z_2$, а $\lambda_{2\text{фт}} = P_{\text{фт}}/z_2$, для $\bar{\lambda}_2$ получаем следующую формулу:

$$\bar{\lambda}_2 = \frac{\bar{P}}{k(n, \rho)}, \quad (14)$$

где $\bar{P} = P/P_{\text{фт}}$ ($P \geq P_{\text{фт}}$).

В рассматриваемом случае диаграмма деформирования пружин в упругом случае ($\bar{P} \leq 1$) строится на основании зависимости (7), а в случае неупругой деформации второй пружины ($\bar{P} > 1$) - на основании формулы (11).

При **параллельном** соединении пружины растягиваются силой P в осевом направлении. В **упругом** случае осевые перемещения пружин (λ) через растягивающие их усилия (N) определяются формулами

$$\lambda_1 = \frac{N_1}{z_1}, \quad \lambda_2 = \frac{N_2}{z_2}. \quad (15)$$

Уравнение равновесия и условие совместности деформации этой системы запишется в следующем виде:

$$N_1 + N_2 = P, \quad \lambda_1 = \lambda_2 = \lambda. \quad (16)$$

Решая уравнения (15) и (16), находим усилия в пружинах, а также связь осевого перемещения пружин с растягивающей силой P в виде:

$$N_1 = \frac{c}{1+c} P, \quad N_2 = \frac{1}{1+c} P, \quad \lambda = \frac{P}{z}, \quad (17)$$

где z – жесткость параллельно соединенных пружин. Она равна:

$$z = z_1 + z_2. \quad (18)$$

Найдем силу $P_{\text{фт}}$, после достижения которой 2-ая пружина переходит в неупругое состояние. Очевидно, что при этом $N_2 = N_{2\text{фт}}$, а величина $N_{2\text{фт}}$ должна определяться формулой (5). Тогда из формулы (17) для рассматриваемого случая получаем:

$$P_{\text{фт}} = (1+c) \frac{\pi d_2^3}{8D_2} \tau_{\text{фт}}. \quad (19)$$

При этом согласно формуле (17) величина осевого перемещения пружины будет:

$$\lambda_{\text{фт}} = \frac{P_{\text{фт}}}{z}. \quad (20)$$

Используя последние формулы, запишем в безразмерном виде зависимость усилий и осевого перемещения данной системы от нагрузки:

$$\bar{N}_1 = \frac{c}{1+c} \bar{P}, \quad \bar{N}_2 = \frac{1}{1+c} \bar{P}, \quad \bar{\lambda} = \bar{P}. \quad (21)$$

Здесь $\bar{N}_1 = \frac{N_1}{P_{\text{фт}}}$, $\bar{N}_2 = \frac{N_2}{P_{\text{фт}}}$, $\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_{\text{фт}}}$, $\bar{P} = \frac{P}{P_{\text{фт}}}$, где величины $P_{\text{фт}}$ и $\lambda_{\text{фт}}$ находятся из формул (19) и (20).

В **неупругом** случае уравнения равновесия и совместности деформаций остаются справедливыми и определяются формулами (16), но в них перемещение 2-ой пружины определяется на основании формулы (8) в виде:

$$\lambda_2 = \frac{N_2}{k(n,\rho)z_2}. \quad (22)$$

Разрешая эти уравнения, получаем:

$$N_1 = \frac{c}{k(n,\rho)+c} P, \quad N_2 = \frac{k(n,\rho)}{k(n,\rho)+c} P. \quad (23)$$

Связь удлинений с растягивающей силой P находим из формул (15) или (22) в виде:

$$\lambda = \frac{cP}{(k(n,\rho)+c)z_1} \quad \text{или} \quad \lambda = \frac{P}{(k(n,\rho)+c)z_2}. \quad (24)$$

Запишем зависимости (23) и (24) в безразмерном виде:

$$\bar{N}_1 = \frac{c}{k(n,\rho)+c} \bar{P}, \quad \bar{N}_2 = \frac{k(n,\rho)}{k(n,\rho)+c} \bar{P}, \quad \bar{\lambda} = \frac{1+c}{k(n,\rho)+c} \bar{P}. \quad (25)$$

При параллельном соединении усилия и перемещения пружин в упругом случае определяются формулами (21), а в случае перехода второй пружины в неупругое состояние – формулами (25). Учитывая, что по условию совместности деформаций $\lambda_2 = \lambda$, можно показать, что

$$\bar{\lambda}_2 = \frac{\lambda_2}{\lambda_{2\text{фт}}} = \frac{\lambda}{\lambda_{\text{фт}}} = \bar{\lambda}. \quad (26)$$

Рассмотрим процесс **разгрузки** последовательно соединенных пружин с некоторой нагрузкой $P_p \geq P_{\text{фт}}$, определяемой формулой (5). Считаем, что разгрузка осуществляется по упругому закону. Очевидно, что при полной разгрузке остаточные усилия в пружинах будут равны нулю, а остаточное удлинение на основании формул (7) и (11) составит

$$\bar{\lambda}_{\text{ост}} = \bar{\lambda}_p - \lambda_p^y = \frac{c(1-k_p)}{k_p(1+c)} \bar{P}_p. \quad (27)$$

Здесь $\bar{\lambda}_{\text{ост}} = \lambda_{\text{ост}}/\lambda_{\text{фт}}$, где величина $\lambda_{\text{фт}}$ определяется формулой (6); $k_p = k(n, \rho_p)$ – значение коэффициента $k(n, \rho)$ в момент разгрузки от силы $\bar{P}_p = P_p/P_{\text{фт}}$, при этом параметр ρ , соответствующий силе P_p , равен ρ_p .

Процесс **разгрузки параллельно соединенных пружин** происходит с некоторой нагрузки P_p по величине, большей $P_{\text{фт}}$. В этом случае нагрузка $P_{\text{фт}}$ определяется формулой (19). Поступая аналогично вышеизложенному случаю и используя формулы (25), получаем:

$$\bar{\lambda}_{\text{ост}} = \frac{1-k_p}{k_p+c} \bar{P}_p. \quad (28)$$

Вычитая от усилий в стержнях при нагрузке P_p их значения, определяемые при их упругой работе, получаем значения остаточных усилий при полной разгрузке данной конструкции. В безразмерном виде они запишутся в следующем виде:

$$\bar{N}_1^{\text{ост}} = \frac{c(1-k_p)}{(1+c)(k_p+c)} \bar{P}_p, \quad \bar{N}_2^{\text{ост}} = \frac{c(k_p-1)}{(1+c)(k_p+c)} \bar{P}_p. \quad (29)$$

Здесь $\bar{N}_1^{\text{ост}} = N_1^{\text{ост}}/P_{\text{фт}}$, $\bar{N}_2^{\text{ост}} = N_2^{\text{ост}}/P_{\text{фт}}$.

Замечая, что $k_p < 1$, из последних формул видим, что $\bar{N}_1^{\text{ост}} > 0$, а $\bar{N}_2^{\text{ост}} < 0$, причем $\bar{N}_1^{\text{ост}} = |\bar{N}_2^{\text{ост}}|$.

Таким образом, в процессе полной разгрузки первая пружина растягивается, а вторая пружина сжимается усилием $\bar{N}_1^{\text{ост}}$.

При определении **реактивного усилия**, развиваемого пружиной, обладающей эффектом памяти формы, будем считать, что остаточная фазовая деформация в процессе формовосстановления исчезает полностью и характеристические температуры фазовых превращений не зависят от напряжений.

Рассмотрим процесс нагрева пружины с памятью формы (в нашем случае второй пружины) только в области температур фазового перехода, т.е. от A_n до A_k .

При **последовательном соединении** пружин условие совместности деформаций при изменении температуры нагрева на величину dT запишется в виде:

$$d(\lambda_1 + \lambda_{2R} + \lambda_{2t}) = d\lambda_{\text{пф}}. \quad (30)$$

Здесь - λ_1 и λ_{2R} – осадка первой и второй пружины от действия реактивной силы R ; λ_{2t} – температурная осадка второй пружины; $\lambda_{\text{пф}}$ – осадка пружины, обусловленная памятью формы.

В дальнейшем считается, что процесс формовосстановления происходит упруго, т.е. возникающая при нагреве реактивная сила не вызывает в пружине с памятью формы появления неупругих фазовых деформаций. Следовательно, можем записать

$$\lambda = \lambda_1 + \lambda_{2R} = \frac{R}{Z}. \quad (31)$$

Можно показать, что температурная осадка пружины равна

$$\lambda_{2t} = H_{\text{нр}} \xi(T)(T - A_n), \quad (32)$$

где $H_{\text{нр}}$ – высота пружины после разгрузки перед ее нагреванием, $\xi(T)$ – коэффициент температурного расширения материала пружины.

Пусть $\xi(T)$ меняется по линейному закону, т.е.

$$\xi(T) = a_\xi + b_\xi T.$$

Здесь a_ξ , b_ξ – экспериментально определяемые коэффициенты.

Тогда

$$d\lambda_{2t} = H_{\text{нр}} [b_\xi(T - A_n) + \xi(T)] dT. \quad (33)$$

При нагреве накопленная фазовая деформация при кручении исчезает в зависимости от температуры по линейному закону [3]. Следовательно, можем записать:

$$\lambda_{\text{пф}} = \frac{\lambda_{\text{ост}}}{A_k - A_n} (T - A_n). \quad (34)$$

Откуда

$$d\lambda_{\text{пф}} = \frac{\lambda_{\text{ост}}}{A_k - A_n} dT. \quad (35)$$

С учетом вышеприведенных формул уравнение (30) запишется в виде:

$$d\left(\frac{R}{Z}\right) = \left\{ \frac{\lambda_{\text{ост}}}{A_k - A_n} - H_{\text{нр}} [b_\xi(T - A_n) + \xi(T)] \right\} dT.$$

Интегрируя последнее уравнение от A_n до T и учитывая, что при $T = A_n$ реактивная сила R должна быть равна нулю, получаем

$$R(T) = z(T)[T - A_n] \left[\frac{\lambda_{\text{ост}}}{A_k - A_n} - H_{\text{нр}} \xi(T) \right]. \quad (36)$$

Здесь

$$z(T) = \frac{z_1 z_2(T)}{z_1 + z_2(T)}. \quad (37)$$

Считая в формуле (36) второе слагаемое малым по сравнению с первым и пренебрегая им, запишем:

$$R(T) = z(T) \frac{T - A_n}{A_k - A_n} \lambda_{\text{ост}}. \quad (38)$$

В безразмерном виде последняя формула запишется:

$$\bar{R}(T) = \frac{z(T)}{z} \frac{T - A_n}{A_k - A_n} \bar{\lambda}_{\text{ост}}. \quad (39)$$

Здесь $\bar{R}(T) = R(T)/P_{\text{фт}}$, где $P_{\text{фт}}$ определяется по формуле (5).

Определим максимальную реактивную силу, развиваемую последовательно соединенной пружиной. Из формулы (39) находим:

$$\bar{R}_{\text{max}} = \bar{R}(A_k) = \frac{z(A_k)}{z} \bar{\lambda}_{\text{ост}}. \quad (40)$$

Подставляя значение остаточного удлинения пружины, выраженное через усилие разгрузки $\bar{P}_p$, можно получить

$$\bar{R}_{max} = \frac{c(1-k_p)}{k_p[1+c(A_K)]} \bar{P}_p. \quad (41)$$

Здесь $c(A_K) = z_1/z_2(A_K)$.

Теперь рассмотрим процесс определения реактивной силы при **параллельном соединении** пружин. В данном случае условие совместности деформаций запишется в виде:

$$d\lambda_1 = d\lambda_2 = d\lambda_{\text{пф}}, \quad (42)$$

где $\lambda_1 = R_1/z_1$, $\lambda_2 = \frac{R_2}{z_2} + \lambda_{2\text{фт}}$

Здесь R_1 и R_2 – реактивные усилия в первой и во второй пружине.

Уравнение равновесия в данном случае имеет вид:

$$R_1 + R_2 + N_1^{\text{ост}} + N_2^{\text{ост}} = R. \quad (43)$$

Решая уравнения (42) и (43) совместно с учетом формул, рассмотренных при последовательном соединении пружин, получаем для реактивного усилия следующую формулу

$$R(T) = \left\{ [1 + c(T)] \frac{\lambda_{\text{ост}}}{A_K - A_H} H_{\text{нр}} \xi(T) \right\} z(T) [T - A_H]. \quad (44)$$

Аналогично предыдущему случаю, пренебрегая вторым слагаемым в виду его малости, получаем

$$R(T) = \frac{\lambda_{\text{ост}}(T - A_H)}{A_K - A_H} [1 + c(T)] z(T). \quad (45)$$

Найдем значение максимальной реактивной силы. Очевидно, она будет равна

$$R_{max} = R(A_K) = \lambda_{\text{ост}} [1 + c(A_K)] z_2(A_K). \quad (46)$$

Приведем последнюю формулу к безразмерному виду, поделив ее на $P_{\text{фт}}$ определяемой формулой (19). Тогда

$$\bar{R}_{max} = \frac{1+c(A_K)}{1+c} \frac{z_2(A_K)}{z_2} \bar{\lambda}_{\text{ост}}. \quad (47)$$

Подставляя в последнюю формулу значение $\bar{\lambda}_{\text{ост}}$, получаем

$$\bar{R}_{max} = \frac{1+c(A_K)}{1+c} \frac{c}{c(A_K)} \frac{1-k_p}{k_p-c} \bar{P}. \quad (48)$$

Здесь учтено, что $\frac{z_2(A_K)}{z_2} = \frac{c}{c(A_K)}$.

На рис.1 приведены зависимости максимальных реактивных усилий ($\bar{R}_{max}$) от значения нагрузки в момент разгрузки ($\bar{P}_p$). В расчетах принималось, что жесткость пружины с памятью формы в аустенитном состоянии в два раза больше её значения в мартенсите.

Из этих графиков очевидно, что при разгрузке с некоторого значения $\bar{P}_p$ величина реактивного усилия $\bar{R}_{max}$ может превышать значение нагрузки $\bar{P}_p$, особенно при последовательном соединении пружин.

Выводы: Получены зависимости осевых перемещений пружин от нагрузки при последовательном и параллельном их соединении с учетом неупругой деформации.

Выведены формулы для вычисления остаточных перемещений пружин в зависимости от усилий разгрузки.

Определены величины реактивных усилий развиваемых пружинами при рассмотренных видах соединений и сделан их анализ.

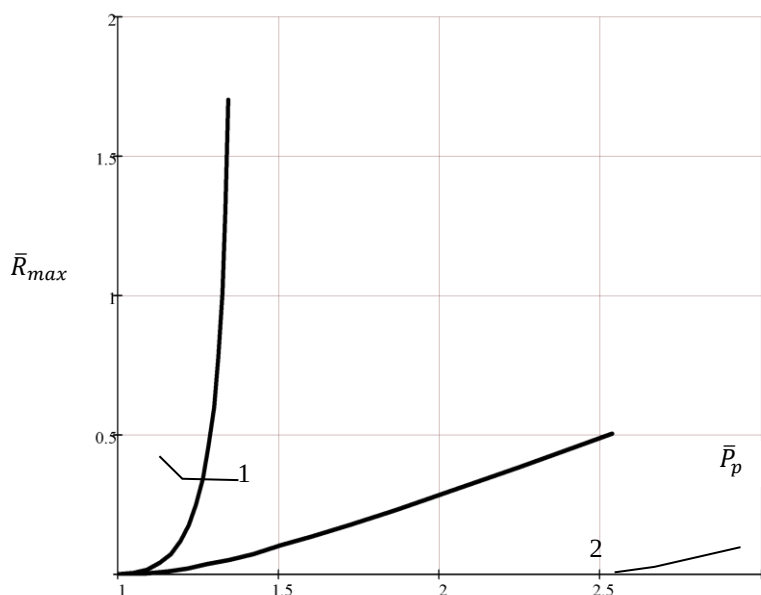


Рис.1. Зависимости $\bar{R}_{max}$ от $\bar{P}_p$ при последовательном (линия 1) и при параллельном (линия 2) соединении пружин. Эти кривые построены при параметрах $c = 1,5$ и $n = 0.01$.

Список литературы

1. Лихачев В.А. и др. Эффект памяти формы. – Л.: Из-во ЛГУ, 1987, 216с.
2. Мовчан А.А. Микромеханические определяющие уравнения для сплавов с памятью формы //Проблемы машиностроения и надежности машин. 1994. № 6. С. 47-53.
3. Абдрахманов С.А. Деформация материалов с памятью формы при термосиловом воздействии. //Бишкек, «Илим», 1991, 116с.

References

1. V.A. Likhachev and others. The shape memory effect. - L. : publishing house LSU, Leningrad, 1987, 216p.
2. A.A. Movchan. Micromechanical constitutive equations for shape memory alloys. //Problems of mechanical engineering and reliability of the machines. 1994. №6. P. 47-53.
3. Abdrakhmanov S.A. Deformation of shape memory materials with thermo- exposure. //Bishkek "Ilim", 1991, 116p.

УДК 539.47

О НЕУПРУГОЙ ДЕФОРМАЦИИ ФАСОННОЙ ПРУЖИНЫ

С.А. Абдрахманов, Абдыжапар Асыл, Ж.Ж. Доталиева,
А.А. Джанузакова, Кыргызский государственный технический университет им. И. Раззакова, Кыргызстан, 720044, г. Бишкек, пр. Мира, 66, e-mail: sasylb@mail.ru

Цель статьи – получение зависимости крутящего момента от относительного угла закручивания для сплошного вала при его деформировании в неупругой области. В работе рассматривается проблемный вопрос определения осевых перемещений любых фасонных пружин в неупругой области её деформирования.

Ключевые слова: эффект памяти формы, фасонная пружина, осевые перемещения, угол закручивания, крутящий момент.

ABOUT INELASTIC DEFORMATION OF SHAPED SPRINGS

S.A. Abdrakhmanov, Abdyjapar Asyl, Zh.Zh. Dotalieva,
A.A. Djanuzakova, **S.A. Abdrakhmanov, Zh.Zh. Dotalieva, M.B. Dzholdoshbaeva,**
A.A. Djanuzakova, Kyrgyz State Technical University named after I. Razzakov, Kyrgyzstan, 720044, Bishkek, Mir ave. 66, e-mail: sasylb@mail.ru

The purpose of the article - receiving torque depending on the relative angle of twist for a solid shaft when it is deformed in the inelastic region. The paper deals with the problematic issue of determining the axial displacement of any shaped springs in the inelastic region of its deformation.

Keywords: shape memory effect, shaped spring , axial displacement, angle of twist , torque.

Как правило, пружины работают в упругой области деформирования. Но с появлением материалов с эффектом памяти формы актуальным становится вопрос работы пружин в неупругой области.

Рассмотрим вопрос определения осевых перемещений пружин с малым шагом подъёма, работающих на растяжение (сжатие). Как известно [1], при этом витки пружины, в основном, испытывают кручение. Пусть элемент пружины длиной ds закручен на угол $d\varphi$. Тогда из геометрических соображений для осевого перемещения пружины $d\lambda$ можно записать следующее выражение:

$$d\lambda = R d\varphi. \quad (1)$$

Здесь $R = R(s)$ – радиус пружины.

Учитывая, что относительный угол закручивания $\theta = d\varphi/ds$, формулу (1) запишем в виде:

$$d\lambda = R\theta ds. \quad (2)$$

При известной зависимости относительного угла закручивания от крутящего момента путём интегрирования выражения (2) можно получить величину осевого перемещения пружины как в упругой, так и в

неупругой области её деформирования. Здесь мы остановимся на вопросе определения осевого перемещения пружины в случае её деформирования в неупругой области. Такие исследования необходимы, в частности, если пружина изготовлена из материала, обладающего эффектом памяти формы. Для изучения процессов формовосстановления и генерации реактивных усилий такая пружина должна деформироваться за предел упругости с возможностью получения остаточных деформаций при разгрузке.

В нашей работе [2] получена зависимость крутящего момента от относительного угла закручивания для сплошного вала при его деформировании в неупругой области. При этом принято, что материал обладает линейным упрочнением $n * G$. Здесь G – модуль сдвига, а коэффициент n – параметр, характеризующий упрочнение материала. Она меняется от нуля (диаграмма Прандтля) до единицы (диаграмма абсолютно упругого тела), т.е. $0 \leq n \leq 1$.

В безразмерном виде эта зависимость записывается в следующем виде:

$$\bar{M} = n\bar{\theta} + \frac{1-n}{3} \left(4 - \frac{1}{\bar{\theta}^3}\right). \quad (\bar{\theta} \geq 1) \quad (3)$$

Здесь безразмерный крутящий момент $\bar{M}$ и относительный угол закручивания $\bar{\theta}$ равны:

$$\bar{M} = \frac{M}{M_T}, \quad \bar{\theta} = \frac{\theta}{\theta_T},$$

где M_T и θ_T – соответственно значения крутящего момента и относительного угла закручивания, при котором максимальное касательное напряжение равно пределу текучести материала τ_T . Они определяются следующими формулами:

$$M_T = \tau_T * W_\rho; \quad \theta_T = \frac{\tau_T}{Gr_0}. \quad (4)$$

Здесь $W_\rho = J_\rho/r_0$ – момент сопротивления кручению; r_0 – радиус прутка пружины.

Для использования зависимости (3) при определении осевого перемещения пружины необходимо обратить эту зависимость, т.е. получить обратную функцию $\theta = \theta(M)$. Следовательно, для обращения зависимости (3) необходимо решить нижеследующее алгебраическое уравнение относительно θ , которое получается из формулы (3)*:

$$(1 - 3N)\theta^4 + (4N - M)\theta^3 - N = 0, \quad (M \geq 1) \quad (5)$$

где $N = (1 - n)/3$.

Данное уравнение при заданном параметре упрочнения n и нагрузке M имеет четыре корня. При этом известно [3], что если уравнение имеет более чем один корень, обратной функции не существует. Но исходя из физической сути данной задачи можно из четырёх корней выбрать один корень, удовлетворяющий нашим условиям. Таким образом, задаваясь значением нагрузки M и решая для неё уравнение (5), мы можем построить график зависимости θ от M . Исходя из свойств обратных функций полученный нами график должен быть симметричным графику функции, определяемой зависимостью (3), относительно прямой линии $M = \theta$. Схематично графики функций $M(\theta)$ и $\theta(M)$ показаны на рис. 1.

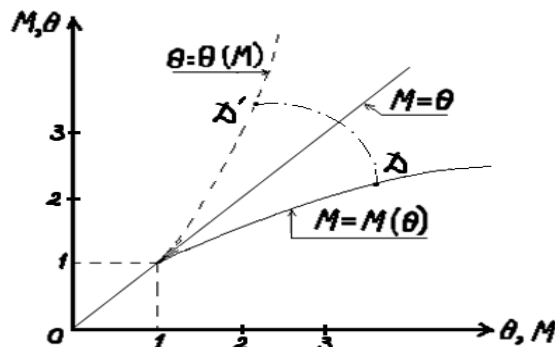


Рис. 1. Сплошные линии соответствуют графику $M(\theta)$, а пунктирные – $\theta(M)$.

В данном случае можно показать, что график функции $\theta(M)$ получается из графика $M(\theta)$ путём замены координат θ на M и M на θ , например, произвольная точка D на графике $M(\theta)$, имеющая координаты $[\theta, M(\theta)]$, переходит на графике $\theta(M)$ в точку D' с координатами $[M(\theta), \theta]$.

Перепишем уравнение (3) в виде:

$$M(\theta) = 4N + (1 - 3N)\theta - \frac{N}{\theta^3}. \quad (6)$$

Очевидно, что эта кривая имеет асимптоту, уравнение которой:

$$M_1(\theta) = 4N + (1 - 3N)\theta. \quad (7)$$

Учитывая данное обстоятельство, разобьём кривую $M(\theta)$ на два участка. Пусть для относительных углов закручивания $1 \leq \theta \leq \theta^*$ она определяется формулой (6), а для углов закручивания $\theta > \theta^*$ её заменим прямой, параллельной её асимптоте. С учётом формул (6) и (7) уравнение этой прямой определяется следующим выражением:

$$M_2(\theta) = \left(4N - \frac{N}{\theta^{*3}}\right) + (1 - 3N)\theta. \quad (8)$$

Величину θ^* выбираем таким образом, чтобы разность между функцией $M(\theta)$ и её асимптотой не превышала 5%. Следовательно, при $\theta = \theta^*$ должно быть

$$1,05M(\theta^*) = M_1(\theta^*).$$

Расписывая последнее выражение, получаем алгебраическое уравнение четвёртого порядка для определения θ^* :

* В дальнейшем, для удобства, «чёрточки» над функциями $\bar{M}$ и $\bar{\theta}$ опускаем.

$$0,05(1 - 3N)\theta^{*4} + 0,20N * \theta^{*3} - 1,05N = 0. \quad (9)$$

Решая данное уравнение, из четырёх корней выбираем корень, отвечающий физическому смыслу данной задачи.

Таким образом, при таком разбиении значения функций, определяемые формулами (6) и (8), при $\theta > \theta^*$ будут отличаться менее чем на 5%.

Кривую $M(\theta)$ на участке $1 \leq \theta \leq \theta^*$ аппроксимируем следующей параболой:

$$M(\theta) = \xi_0 + \xi_1\theta + \xi_2\theta^2. \quad (10)$$

Для определения коэффициентов данной кривой примем следующие условия. Пусть значения кривых, определяемых уравнениями (6) и (10), совпадают в точках $\theta_1 = 1$ и $\theta_3 = \theta^*$, кроме этого потребуем, чтобы касательная к кривой (10) в точке $\theta_3 = \theta^*$ была параллельна асимптоте кривой (6). В этом случае для определения неизвестных коэффициентов $\xi_i (i = 0, 1, 2)$ имеем следующие уравнения:

$$\begin{aligned} \xi_0 + \xi_1\theta_1 + \xi_2\theta_1^2 &= M(\theta_1) = 1; \\ \xi_0 + \xi_2\theta_3 + \xi_2\theta_3^2 &= M(\theta_3) = 4N + (1 - 3N)\theta_3 - \frac{N}{\theta_3^3}; \\ \xi_1 + 2\xi_2\theta_3 &= (1 - 3N). \end{aligned} \quad (11)$$

Таким образом, кривую $M(\theta)$, в дальнейшем, до точки $C[\theta^*, M(\theta^*)]$ определяем формулой (10), а далее – формулой (8) (рис.2). Аналогичным образом поступим и для кривой $\theta(M)$. Очевидно, координаты точки C' на кривой $\theta(M)$ будут $[M(\theta^*), \theta^*]$ (рис. 2). Кривую $\theta(M)$ на участке AC' также аппроксимируем квадратной параболой:

$$\theta(M) = \psi_0 + \psi_1M + \psi_2M^2. \quad (1 < M < M(\theta^*)) \quad (12)$$

Для определения коэффициентов $\psi_i (i = 0, 1, 2)$ в выражении (12) поступим следующим образом. Приравняем значение функции $\theta(M)$ в двух выбранных нами точках, т.е. при $M_1(\theta_1)$, $M_3(\theta_3)$, определяемых формулой (6). А для второго уравнения потребуем, чтобы касательная к кривой (12) в точке $M_1 = \theta_1$ совпадала с биссектрисой I-го координатного угла.

В этом случае для коэффициентов $b_i (i = 0, 1, 2)$ получаются следующие уравнения:

$$\begin{aligned} \psi_0 + \psi_1M_1 + \psi_2M_1^2 &= \theta_1; \\ \psi_1 + 2\psi_2M_1 &= \theta_1; \\ \psi_0 + \psi_1M_3 + \psi_2M_3^2 &= \theta_3. \end{aligned} \quad (13)$$

Для получения обратной функции $\theta(M)$ при значениях M , больших $M(\theta^*)$, обратим зависимость (8). Решая это уравнение относительно θ , получаем:

$$\theta = \frac{1}{1-3N} \left[M - \left(4N - \frac{N}{\theta^{*3}} \right) \right]. \quad (14)$$

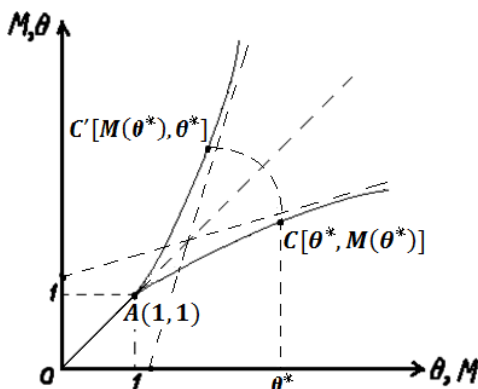


Рис. 2.

Таким образом, кривая $\theta(M)$ разбита нами на два участка. На участке AC' она описывается уравнением (12), при этом относительный угол закручивания $1 \leq \theta \leq \theta^*$, а далее, при $\theta > \theta^*$ она определяется уравнением (14).

Следовательно, зная функцию $\theta(M)$, путём интегрирования выражения (2) мы можем определить осевые перемещения фасонных пружин в неупругой области их деформирования, т.е. при $\theta > 1$.

По полученным выше формулам подсчитаны коэффициенты ξ_i и ψ_i , а также величина относительного угла закручивания θ^* для различных значений n , характеризующих упрочнение материала пружины (таблица 1).

Таблица 1

n	θ^*	ξ_0	ξ_1	ξ_2	ψ_0	ψ_1	ψ_2
0.01	1.731	-0.237	1,736	-0,499	6.105	-11.209	6.105
0.1	1.664	-0.34	1.873	-0.533	3.995	-6.991	3.995
0.15	1.628	-0.395	1.947	-0.522	3.249	-5.499	3.249
0.30	1.516	-0.57	2.195	-0.625	1.888	-2.776	1.888

По этим результатам построены аппроксимирующие кривые. На рис.3 линии 2 и 3 определяют функцию $M(\theta)$, а линия 4 характеризует функцию $\theta(M)$. Все расчеты на рисунке 3 приведены для коэффициента упрочнения $n = 0.1$.

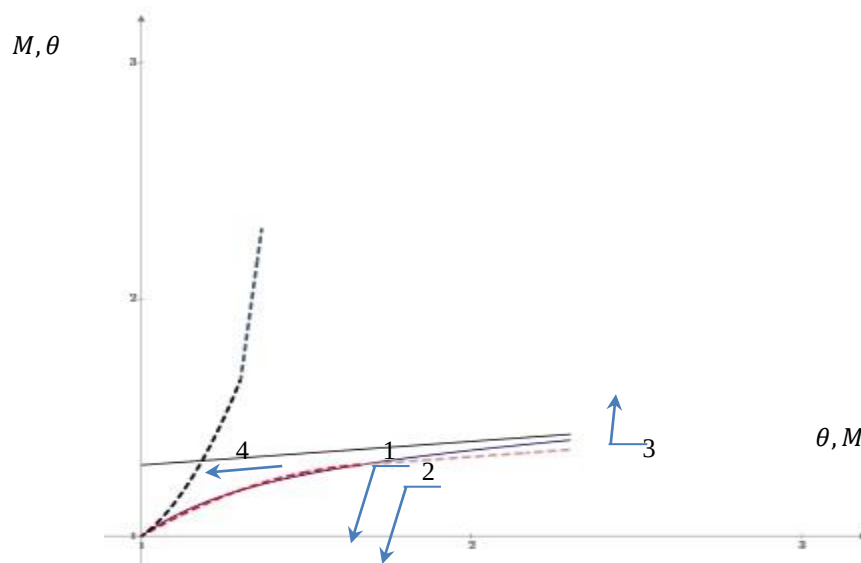


Рис. 3.

Линия 1 – асимптота кривой 2;

Кривая 2 построена по формуле (6);

Линия 3 (пунктирная) – аппроксимирующая кривая, построенная по формулам (8) и (10);

Линия 4 построена по формулам (12) и (14).

Список литературы

1. Пономарёв С.Д., Андреева Л.Е. Расчёт упругих элементов машин и приборов. М.: Машиностроение, 1980. – 326с.
2. Абдрахманов С.А., Асылбек Абдыжапар. Кручение вала в неупругой области деформирования. Известия КГТУ им. И. Раззакова, №30. Бишкек, 2013.
3. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике (для научных работников и инженеров). М.: Наука, 1973. – 832с.

References

1. Ponomarev S.D., L.E. Andreeva. Calculation of elastic elements of machines and devices. M.: Engineering, 1980. – 326p.
2. Abdrahmanov S.A., Asylbek Abdyjapar. Torsion shaft inelastic deformation field. Proceedings of KSTU after I. Razzakov, №30. Bishkek, 2013.
3. Korn G., Korn T. Handbook of mathematics (for scientists and engineers). M.: Nauka, 1973 - 832 p.

УДК.: 539.-371; 621.7.014.2

ОБ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОМ ОПРЕДЕЛЕНИИ МОДУЛЯ УПРУГОСТИ СПЛАВА ТН-20 НА ПРИМЕРЕ КОНИЧЕСКИХ ПРУЖИН

Абдрахманов С.А., Кожошов Т.Т., Сатыбалдиев Т.А., КГТУ им. И. Раззакова, тел. 0312545171, 0312545150, e-mail: abdrahmanov7@rambler.ru, kojoshov7@gmail.com

В данной работе экспериментально определяются модули упругостей цилиндрических и конических пружин растяжения, обладающих эффектом памяти формы. Известно [1], что пружины проектируются и изготавливаются для работы, в основном, в упругой области деформирования. Но с появлением материалов, обладающих нетрадиционными свойствами, в частности, эффектами памяти формы, появилась возможность их работы и за пределами упругости [2,]. Причем, наличие как раз неупругих деформаций обеспечивает нетрадиционную работу пружин, изготовленных из материалов, обладающих эффектом памяти формы.

Механические свойства сплавов с ЭПФ сильно зависят от процентного состава. Бывает так, что неизвестны модуль упругости и касательное напряжение, соответствующее началу фазовой текучести данной пружины.

Ключевые слова: модуль упругостей цилиндрических и конических пружин растяжения, эффект памяти формы

EXPERIMENTAL DETERMENATION OF A ELASTIC MODULUS ALLOY VT-20 AN EXAMPLE OF CONICAL SPRINGS

Abdrakhmanov S.A., Kozhoshev T.T., T.A. Satybaldyev, KSTU named after I. Razzakov, tell: 0312545171, 0312545150, e-mail: abdrahmanov7@rambler.ru, kojoshov7@gmail.com

In the given work modules elasticity cylindrical and conic springs of a stretching possessing effect of memory form experimentally defined. It is known [1] that the springs are designed and manufactured to work, mainly in the field of elastic deformation. But with the advent of materials having unconventional properties, in particular, shape memory effects, there was a possibility of their operation outside the elastic and [2]. Moreover, the presence of inelastic deformation just provides unconventional work springs made of materials having shape memory effect.

The mechanical properties of shape-memory alloys strongly depends on the percentage composition. It so happens that it is not known modulus and shear stress corresponding to the beginning of the phase flow of the spring.

Keywords: modulus of elasticity and cylindrical conical extension springs, shape memory effect

В данной работе приводится способ экспериментального определения модуля упругости в образцах конических пружин растяжения, изготовленных из материала ТН-20, обладающего эффектом памяти формы.

Для экспериментального исследования фасонных, а также цилиндрических пружин было сконструировано и изготовлено:

- усовершенствованный универсальный стенд-приспособление с вертикальной установкой на растяжение, сжатие и кручение, рис.1;
- кондуктор для навивки конической пружины диаметром прутка $d=2\text{ мм}$. $D_1=69\text{ мм}$. и $D_2=30\text{ мм}$.;
- изготовлены образцы цилиндрических и конических пружин.

Экспериментально исследованы деформирование конических пружин на растяжение и разгрузки за пределом фазовой текучести, изготовленные из сплава ТН-20.

Рассмотрим процесс нагружения за упругую область деформирования конической пружины растяжения, изготовленной из сплава ТН-20 в мартенситном состоянии со следующими основными параметрами:

- наибольший радиус $r_2=0,03\text{ м}$, наименьший радиус $r_1=0,02\text{ м}$, диаметр прутка $d=0,001\text{ м}$, число витков $i=3$, начальный угол подъёма $\alpha=1,5$ градуса.

Испытываемая пружина прикрепляется одним концом жестко, а к свободному концу пружины прикладывается нагрузка P от величины $P=0$ до нагрузки P_k как показана на рис.1. При этом с каждым шагом увеличения нагрузки P измеряются изменения длины пружины.

Такие эксперименты проводятся несколько раз с разными образцами, имеющими одинаковые параметры, но отличающиеся конечными нагрузками P_k .

Приспособление для испытания пружин на растяжение и на сжатие.

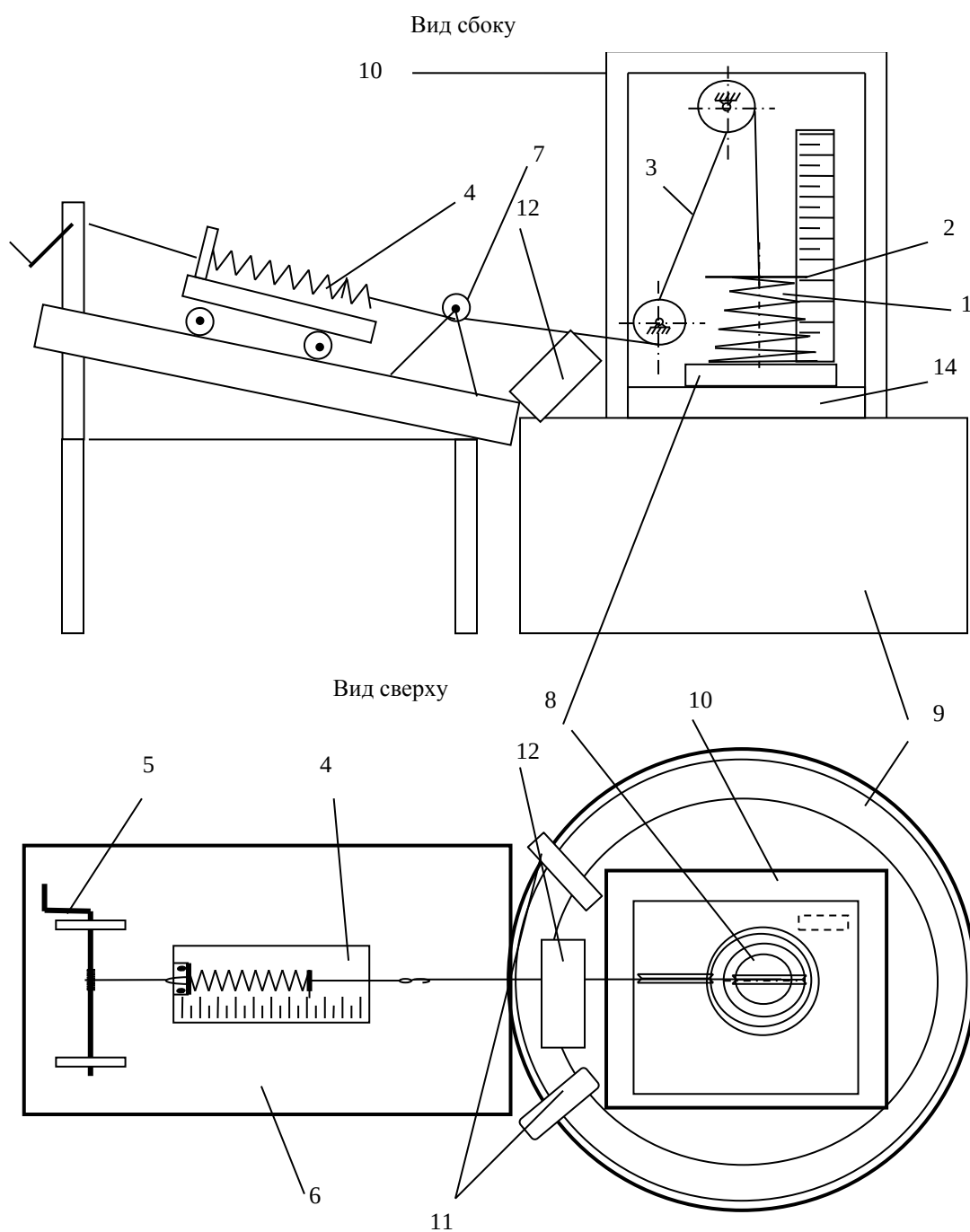


Рис.1.

Выносы: 1- испытываемая пружина на растяжение; 2- лимб для определения угловых перемещений пружины ; 3-нерастяжимая нить; 4- динамометр; 5 – лебедка; 6-стол; 7- направляющий ролик; 8-линейка; 9- печь; 10 - стеклянная коробка; 11- трубы водяного охлаждения; 12 – вентилятор, 14- станина.

Усовершенствованный универсальный стенд-приспособление с вертикальной установкой на растяжение, сжатие и кручение (рис. 1), состоит из: термокамеры 9 со стеклянным коробом для герметичности тепла 10, измерительных приборов, системы водяного 11 и воздушного охлаждения 12, нагружающего

устройства 5, магнитофона и цифрового фотоаппарата. Нагружающее устройство, то есть пружинный динамометр на колесах, соединенный с вращательной рукояткой лебедки с помощью нерастяжимой нити установлен на наклонном столе. Наклон стола предусмотрен для скатывания динамометра на колесиках по наклону в сторону испытываемого образца, в результате которого ликвидируется дополнительное усилие пружины для принятия пружиной первоначальной формы при разгрузке.

Нагружения пружин 1 производились ручным приводом (рукояткой) лебедки 5, а измерения усилий при нагружении и разгрузке по показаниям динамометра 4. Через определенные интервалы нагружения пружинного образца без остановок производились замеры показаний приборов.

При проведении экспериментов фиксировались следующие значения:

- на динамометре 4- показание величины нагрузки,
- на лимбе 2- угол поворота (угловое перемещение) свободного конца пружины,
- по линейке 8 -осадка (удлинение) пружины,

Точность измерений:

цена делений динамометра 0,2 Н (20 грамм);

осадка (удлинение) измерялось с точностью 10^{-4} м.;

угловое перемещение (угол поворота свободного конца пружин) 5 градусов;

изменение температуры 5 °С.

По полученным данным построены графики $P \sim \lambda$ для конической пружины (рис. 2 и рис.3).

Диаграмму $P \sim \lambda$ деформирования конической пружины (рис.2) можно рассматривать как состоящую из двух участков: OA упругий, AB – частично неупругий. На участке AB в точке A иногда, в самом опасном сечении, то есть в поперечном сечении прутка пружины появляются неупругие деформации, где возникает максимальный крутящий момент и максимальное касательное напряжение достигает касательного напряжения, соответствующего началу фазовой текучести $\sigma_{\text{ф.т.}}$. В процессе дальнейшего деформирования глубина зоны фазовой деформации увеличивается, а в следующих витках пружины только появляются неупругие деформации, где максимальные касательные напряжения достигают $\sigma_{\text{ф.т.}}$. И этот процесс по существу заканчивается в точке B , когда во всех витках пружины появились фазовые деформации. Такой постепенный переход прутков конических пружин в неупругую область деформирования обуславливается тем, что в пружинах растяжения или сжатия в поперечных сечениях прутка пружины в основном возникает крутящий момент, а он зависит от изменения диаметра от витка к витку.

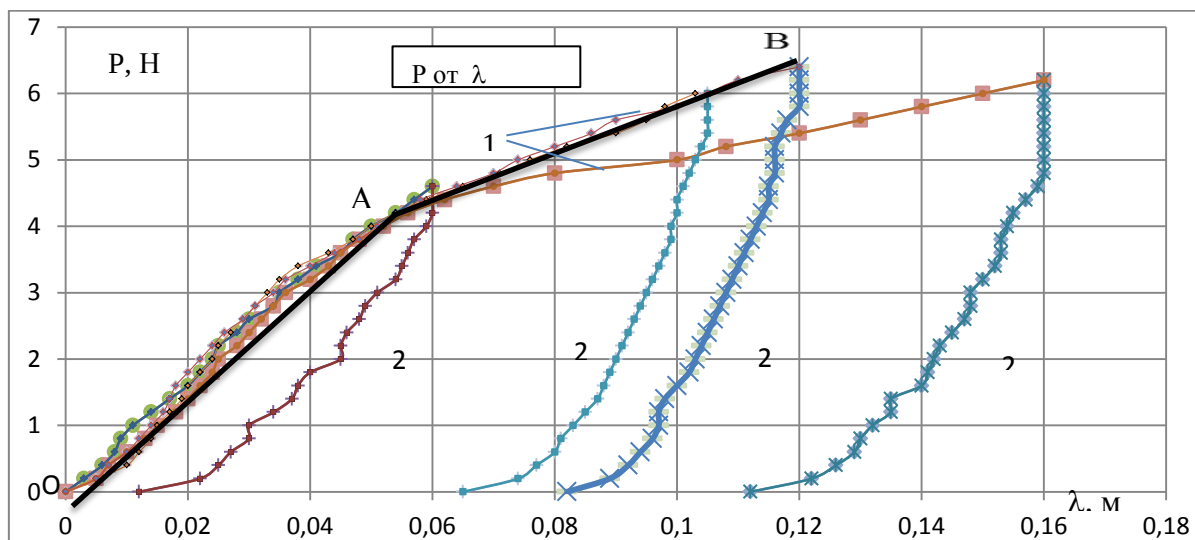


Рис. 2. Диаграмма деформирования образца №1. Кривые: 1- нагружение; 2- разгрузка.

Модуль упругости для конической пружины с постоянным шагом можно вычислить по формуле [3]:

$$G = \frac{P \cdot (r_2^3 - r_1^3)}{3 \cdot \lambda \cdot m \cdot J_\rho}, \quad (1)$$

$$m = \frac{\ln \frac{r_2}{r_1}}{2 \cdot \pi \cdot i},$$

где

а модуль упругости для конической пружины с постоянным углом подъема можно вычислить по

формуле [3]:

$$G = \frac{P \cdot \pi \cdot i \cdot (r_2^2 - r_1^2) \cdot (r_2 - r_1)}{2 \cdot \lambda \cdot J_\rho} \quad (2)$$

Здесь J – полярный момент инерции.

– По результатам экспериментальных данных и расчетов по формулам (1) и (2) получены следующие данные:

- $G = 1.48 \cdot 10^{10}$ Па для образца №1 с постоянным шагом подъема;
- $G = 1.51 \cdot 10^{10}$ Па для образца №2 с постоянным шагом подъема;
- $P_T = 4,2$ Н и $\lambda_T = 0,055$ м. для образца №1;
- $P_T = 4,4$ Н и $\lambda_T = 0,075$ м. для образца №2;

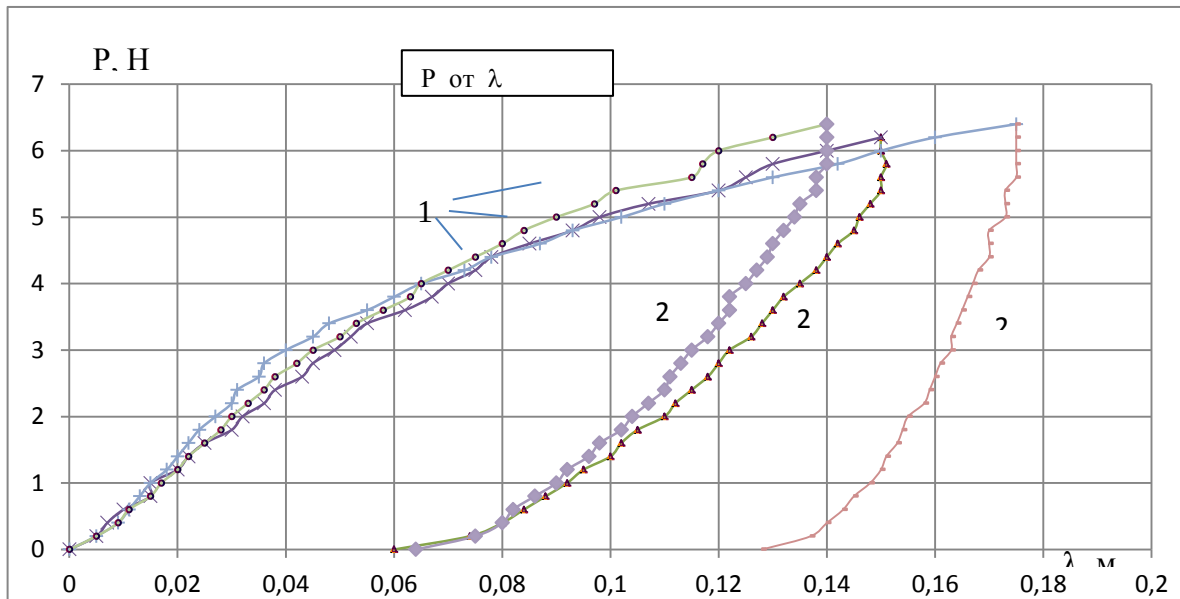


Рис. 3. Диаграмма деформирования образца №2. Кривые: 1- нагружение; 2- разгрузка.

Выводы.

Получены новые экспериментальные результаты испытания пружин с эффектом памяти формы (ТН-20):

- а) зависимость $P \sim \lambda$ для конической пружины, работающей на растяжение в мартенситной области;
- б) определение модуля сдвига G по полученной диаграмме $P \sim \lambda$ для фасонной (конической) пружины.
- в) нахождение предельных нагрузок по диаграмме $P \sim \lambda$, после которых в пружине появляются фазовые (неупругие) деформации.

Подводя итог проделанной работы, необходимо отметить, что расчёт на прочность и жёсткость составных пружин усложняется в связи с присутствием в них пружин, обладающих памятью формы, так как область деформирования пружин расширяется и может включать и неупругую область. Поэтому полученные в этой работе расчётные формулы, графические отображения результатов этих расчётов могут внести вклад в дальнейшее развитие теоретических и практических исследований в области деформирования материалов, обладающих нетрадиционными свойствами.

Список литературы

1. Материалы с эффектом памяти формы. Т.4 Справочное издание под общей ред. Лихачева В.А., Санкт-Петербург, 1998,- 268с.
2. Абдрахманов С.А. Деформация материалов с памятью формы при термосиловом воздействии. Бишкек, Илим, 1991,-116с.
3. Пономарев С.Д. и др. Расчет на прочность в машиностроении, Т-1, Машгиз, М.: 1956. -881 с

References

1. Materials with shape memory effect. T.4 Reference edition, ed. Likhachev V.A., St. Petersburg, 1998 – 268p.
2. Abdrakhmanov S.A. Deformation of shape memory materials with thermo-exposure. Bishkek, Ilim, 1991, - 116p.
3. Ponomarev S.D. and others. The calculation of the strength in engineering, T-1, Mashgiz, M.: 1956 -881 with

УДК: 624.012.45-027.45:625.745.12

ВОПРОСЫ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ АВТОДОРОЖНЫХ МОСТОВ

Иманалиев Т.О. КГУСТА им.И.Исанова

Обобщены основные критерии оценки надежности железобетонных автодорожных мостов в процессе эксплуатации. Применение аппарата надежности в инженерных сооружениях для выявления остаточного ресурса. Предложены рекомендации по повышению надежности железобетонных автодорожных мостов.

Ключевые слова: надежность, железобетон, пролетные строения, эксплуатация, долговечность, опоры, пролетные строения, проезжая часть, деформационные швы.

ISSUES OF INCREASING RELIABILITY OF CONCRETE ROAD BRIDGE

Imanaliev T.O. KSUCTA im.I.Isanova

The main criteria of an assessment of reliability of ferroconcrete road bridges in use are generalized. Use of the device of reliability in engineering constructions for identification of a residual resource. Recommendations about increase of reliability of ferroconcrete road bridges are offered.

Keywords: reliability, reinforced concrete, spans, maintenance, durability, support, spans, roadway, expansion joints.

Вопросы повышения надежности железобетонных автодорожных мостов является актуальными, поскольку позволяют решать задачи определения надежности и остаточного ресурса пролетных строений в процессе эксплуатации.

Теорией надежности строительных конструкций занимались многие ученые, среди которых А.Р. Ржаницын, Л.И. Иосилевский, В.В. Болотин, М.Д. Кутуев.

Результатом работы являются конкретные мероприятия, направленные на увеличение надежности и долговечности эксплуатируемых, реконструируемых мостов.

Выводы по результатам обследований автодорожных железобетонных мостов следующие:

- значительная часть мостов находится в неудовлетворительном состоянии;
- грузоподъемность мостов не отвечает современным нормативным требованиям;
- долговечность мостов снижена;
- не обеспечены нормативные условия эксплуатации мостов.

Методика эксплуатационной оценки существующих мостов позволяет количественно оценить техническое состояние элементов мостов (опоры, пролетные строения, проезжая часть), их грузоподъемность, долговечность.

Общие выводы по результатам оценки эксплуатационных показателей мостов следующие:

1. По состоянию элементов значительная часть мостов имеет снижение надежности и долговечности. Основной причиной снижения долговечности мостов следует признать фильтрацию воды, проникающей через повреждения проезжей части и деформационные швы, а также многочисленные трещины, вызывающие коррозию бетона и арматуры, разрушение защитного слоя. В плитных сборных мостах, а также в мостах, уширенных в последние годы причиной снижения долговечности является также нарушение поперечных связей между блоками. Отмеченные дефекты имеют значительное развитие вследствие низкого уровня эксплуатационного содержания мостов.

2. Плохое состояние мостов вызвано допущенными ошибками при проектировании, а также низким качеством строительных работ. Особенно неблагоприятное состояние деформационных швов, въездов, подпорок изоляции и водоотвода. По пролетным строениям следует отметить недостатки поперечных

связей сборных плитных разрезных пролетных строений. Значительная часть мостов не ремонтировалась и даже не осматривалась за все время их существования. Причиной проникновения воды к конструкциям является раздвижка плит сборных плитных пролетных строений в результате недостаточного объединения их поперечными связями.

3. Недостаточная грузоподъемность мостов относительно современных нормативных нагрузок вызвана тем, что они проектировались на меньшие нагрузки - до 10кН на ось.

Значительная часть уширенных за последние 15 лет мостов снизила свою грузоподъемность вследствие ошибок при проектировании их реконструкции. Главной ошибкой оказалось отсутствие связей между элементами старого пролетного строения и элементами уширения, которое в большинстве случаев осуществлено методом приставных элементов. Уширение опор также выполнялось пристройкой новой части опоры на своем фундаменте, без принятия мер против неравномерной осадки старой и новой частей.

Кроме того, из-за неодинаковых прогибов и осадок конструкций произошли разрывы проезжей части, что привело к разрушению конструкций вследствие фильтрации воды, а это в конечном итоге вызвало снижение их долговечности. Нерациональное и ошибочное проектирование реконструкций автодорожных мостов вызвано недостатком опыта проектирования проектных организаций (проектирование выполнялось местными организациями), а также отсутствием нормативных указаний по реконструкциям, справочных пособий.

Между тем надобность в уширении мостов с каждым годом вырастает, как и объем проектирования новых мостов.

Для увеличения надежности и долговечности автодорожных железобетонных мостов предлагаются следующие мероприятия:

1. Для эксплуатируемых мостов:

- обеспечение надежного эксплуатационного содержания, при котором проявленные дефекты проекта и строительства немедленно бы фиксировались и устранялись мерами профилактического ремонта. Способы выполнения ремонтных работ имеются в нормативных документах;

- исследование вопросов влияния различных дефектов на надежность (несущую способность и грузоподъемность) и долговечность элементов мостов. В настоящее время эта проблема нашла решение только в отношении трещин железобетонных конструкций.

2. Для реконструируемых существующих и вновь строящихся мостов:

- учет требуемой долговечности элементов мостов по физическому износу в зависимости от условий их работы и внешних воздействий, а также от материала, системы и способа изготовления;

- изучение и учет сроков морального износа, прежде всего опор и фундаментов; проектирование этих элементов моста, учитывая их относительно большую физическую долговечность, должно предусматривать возможности реконструкции пролетного строения – его уширение и усиление – без реконструкции пролетного строения – его уширение и усиление – без реконструкции опор и фундаментов; при проектировании пролетных строений желательно предусматривать возможности их рационального усиления при увеличении нагрузок, чем обеспечивается надежность конструкций во времени.

В заключение следует заметить, что система эксплуатационного содержания автодорожных мостов требует существенной реорганизации: разработки и освоения промышленностью специальных машин для осмотра, текущего ремонта, а также создания специальных дорожных машин для выполнения бетонных ремонтных работ.

Предстоит продолжить работы по исследованию вопросов, связанных с проектированием реконструкции мостов, созданием нормативных документов. При этом следует учитывать остаточный срок службы реконструируемого сооружения при выборе коэффициента запаса, а также нормативных нагрузок.

Особое значение имеет исследование элементов комплекса проезжей части с целью устранения выявленных в процессе эксплуатации дефектов, в первую очередь проезжей части, обеспечивающей надежную водонепроницаемость, состояния деформационных швов, въездных устройств, тротуарных конструкций и ограждений. Следует продолжить работы по исследованию конструкций сборных железобетонных плитных пролетных строений с целью надежного обеспечения их поперечных связей как для лучшего распределения нагрузок и избежания значительных перегрузок отдельных блоков, так и устранения раздвижки блоков при эксплуатации, образования продольных трещин в проезжей части.

Первостепенное значение имеют работы по исследованию фактической долговечности элементов мостового перехода (комплекс проезжей части, пролетного строения, опор и фундаментов, струенаправляющих сооружений, укрепление конусов и т.д.) как по физическому износу, так и по моральному старению, создание нормативных требований долговечности для различных элементов мостовых переходов с учетом фактических сроков морального старения.

В вопросах надежности элементов мостов особое внимание следует уделить равной надежности всех элементов моста в зависимости от сроков физического и морального их износа, чем обеспечивается максимальная экономичность конструкции.

Список литературы

1. Ржаницын А.Р. Теория расчета строительных конструкций на надежность. – М.: Стройиздат, - 1978.-239с.
2. Иосилевский Л.И. Практические методы управления надежностью железобетонных мостов.- М. Науч.-изд.центр «Инженер». 2005.-324с.
3. Болотин В.В. Методы теории вероятности и теории надежности в расчетах сооружений. – М.: Стройиздат, -1982.-351с.
4. Назаренко Б.П. Железобетонные мосты. М.1964.
5. Кутуев М.Д. Вероятностные методы расчета. Метод.указания по курсу «Теория надежности». Фрунзе, 1990.

References

1. Rzhnitsyn AR The theory calculation of building structures for reliability. -M .: Stroyizdat - 1978.-239s.
2. Iosilevskiy LI Management practices reliability of reinforced concrete mostov.- M. scientific-izd.tsentr "Engineer". 2005.-324s.
3. VV Bolotin Methods of probability theory and reliability theory in the analysis of structures. -M .: Stroyizdat, -1982.-351с.
4. Nazarenko BP Reinforced concrete bridges M.1964.
5. Kutuev MD Probabilistic methods of calculation. Metod.ukazaniya the course "Theory of reliability" .Frunze 1990.

УДК: 519.676:624.012.3-027.45:625.745.12

**ВЕРОЯТНОСТНЫЙ РАСЧЕТ И ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПЛИТ
АВТОДОРОЖНЫХ МОСТОВ**

Кутуев М.Д., д.т.н., Иманалиев Т.О. КГУСА им. И.Исанова

Проведена оценка надежности железобетонных плит, проанализированы факторы, влияющие на надежность конструкций и отвечающие требованиям прочности, жесткости эксплуатационных свойств железобетонных плит в пространстве и времени.

Ключевые слова: железобетон, надежность, конструкция.

**PROBABILITY CALCULATIONS AND ASSESSING THE RELIABILITY OF REINFORCED
CONCRETE SLABS OF HIGHWAY BRIDGES**

Kutuev MD, Ph.D., Imanaliev T.O. KGUSA them. I.Isanova

The assessment of reliability of ferroconcrete plates is carried out, the factors influencing reliability of designs and meeting the requirements of durability, rigidity of operational properties of ferroconcrete plates in space and time are analysed.

Keywords: reinforced concrete, reliability design.

Постановка проблемы в общем виде. В настоящее время широкое распространение получили железобетонные плиты автодорожных мостов. В работах [1, 2, 3] авторы отмечают, что сталь и бетон в железобетонных элементах работают совместно на всех этапах нагружения.

Для обеспечения повышения эксплуатационной надежности и долговечности железобетонных конструкций необходимы эффективные материалы, служащие защитой от различных воздействий.

Анализ последних исследований и публикаций. Теорией надежности строительных конструкций занимались М.С. Стрелецкий, О.Р. Ржаницын, В.В. Болотин. Вопросам надежности строительных конструкций посвящены работы А.Я. Барашикова, С.Ф. Пичугина, В.А. Перельмутера, А.В. Пашинского, А.В. Семко, Б.И. Беляева, В.М. Шимановского и многих других исследователей [5, 6].

Постановка задания Несущие конструкции сооружений должны отвечать требованиям прочности, жесткости.

Однако в настоящее время недостаточно изучены вопросы прогнозирования изменения эксплуатационных свойств железобетонных плит во времени. Оценка темпа снижения эксплуатационной надежности в зависимости от влияния различных внешних факторов позволит сделать правильный выбор проектирования качества в области допустимых состояний.

Для обеспечения надежной работы железобетонных конструкций необходимы эффективные гидроизоляционные материалы, служащие защитой от различных воздействий и для повышения долговечности

сооружений.

Расчет строительных конструкций по первой и второй группе предельных состояний полуввероятностный, и как следствие – является развитием существующего ныне метода расчета по предельным состояниям. Особенность вероятностных методов расчета состоит в использовании среднестатистических характеристик свойств материалов, нагрузок и других параметров.

Цель и задачи исследований. Целью данной работы является оценка надежности железобетонных плит автодорожных мостов. Для достижения поставленной цели поставлены следующие задачи:

1. Определить вероятность отказа железобетонной конструкции на начало и конец эксплуатации (при $t=50$ лет, $t=100$ лет).
2. Определить остаточный ресурс железобетонной плиты автодорожных мостов.

Изложение основного материала. Проанализируем изменение вероятности отказа железобетонных плит во времени. С учетом того, что постоянные нагрузки подчиняются нормальному закону распределения, а временные – двойному экспоненциальному распределению, задача формулируется в виде интегрального выражения (1), решение которого не представляется возможным получить аналитическими методами,

$$\left. \begin{aligned} W(t) &= 1 - \int_{-\infty}^0 y_3(x, t) dx, \\ &\quad y_1(z, t) \cdot y_2(z + x, t) dz; \\ \text{где } y_3(x, t) &= \int_{-\infty}^{\infty} y_1(z, t) = \alpha \cdot e^{-\alpha(x-u) - t \exp(x-u(t))}, \end{aligned} \right\}$$

$$\left. \begin{aligned} W(t) &= 1 - \int_{-\infty}^0 y_3(x, t) dx; \\ \text{где } y_3(x, t) &= \int_{-\infty}^{\infty} y_1(z, t) \cdot y_2(z + x, t) dx; \\ y_1(z, t) &= \alpha \cdot e^{-\alpha(x-u) - t \exp(-\alpha(x-u(t)))}; \\ y_2(x, t) &= \frac{1}{G\xi(t) \cdot \sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(x-\xi(t))^2}{2 \cdot G(t)^2}\right); \\ \xi(1) &= \sqrt{R(t) - g^{const}}; \\ G\xi(t) &= \sqrt{(G_R(t))^2 + (G_a)^2} \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

В связи с этим применим инженерный метод расчёта надёжности строительных конструкций, изложенный в работе [8]. Смысл метода заключается в аппроксимации неизвестной заранее композиции распределений прочности и нагрузки соответствующими стандартными аппроксимационными зависимостями для нормального и двойного экспоненциальных распределений с коэффициентами, специально найденными для этой композиции из соотношений:

$$n_{\psi}(t) = \frac{\bar{\psi}(t)}{\sigma_{\psi}(t)} = z = \frac{2,0686 - 0,4214z}{1 + 0,3149z - 0,091z^2}; \quad (2)$$

$$z = \sqrt{\ln \frac{1}{P^2(1)}}; \quad (3)$$

где $P(t)$ – вероятность отказа в момент времени t (как правило, при $t=1$ и $t=T$);

T – время эксплуатации (нормированное или на момент обследования).

Оценивались показатели для железобетонного балочного перекрытия, работающего в тех же условиях. Численные параметры, характеризующие рассматриваемые конструкции, приведены в таблице 1.

Таблица 1

Характеристики строительных конструкций железобетонных плит

показатели	Ед.изм	схема
плита покрытия	МПа	4864(0,03)
снеговая	МПа	1400(0,4)
пролет	мм	6000
ширина	мм	3000

высота	мм	400
площадь арматуры	мм ²	3000
R _{arm}	Мпа	300
R _{bet}	МПа	7,5

$$-\tau = \frac{N}{F} \quad N = 4864 \cdot 18 = 87.552 \text{ кН} \quad 9\text{т.}$$

$$-\frac{\pi d^2}{2} = 3.14 \quad F = \frac{300 \cdot 2}{3.14} = d^2 \quad d = \sqrt{180} \quad d = 13.8$$

Результаты исследований. Расчёты производились путём численного решения уравнения (2) при определённых параметрах, исходя из данных значений индикаторов отказа $\eta\psi$ с последующим вычислением вероятности отказа $P(t)$ по формуле (3).

Результаты расчётов приведены в таблице 2.

Таблица 2

Результаты расчетов вероятности отказа и надежности плит

Вероятность отказа при $t=$	схема 1
P_0 (нач. экспл.)	4,8503E-07
P_{50} (50 лет)	5,2800E-07
P_{100} (100 лет)	5,3974E-07
Надёжность при $t=$	схема 1
W_0 (нач. экспл.)	0,999999515
W_{50} (50 лет)	0,999999472
W_{100} (100 лет)	0,99999946

Выводы:

Покрытие на основе железобетонных плит показывает расчётную надёжность на один – два порядка выше перекрытий, выполненных по традиционной балочной схеме, что может быть объяснено избыточным армированием железобетонных плит в силу их конструктивной схемы.

Список литературы

1. Чихладзе Э.Д. Температурно-влажностный режим сталебетонных несущих и ограждающих конструкций промышленных зданий и сооружений: монография /Э.Д. Чихладзе, Л.В. Гапонова; Харьков. нац. акад. город. хоз-ва. – Х.: ХНАГХ, 2011. – 188 с.
2. Пичугин, С.Ф. Надёжность строительных конструкций. Работа научной школы проф. Пичугина С.Ф. – Полтава: ООО «АСМИ», 2010. – 434 с.
3. Гаевой, А.Ф. Качество и долговечность ограждающих конструкций из ячеистого бетона / А.Ф. Гаевой, Б.А. Качура. – Х.: Вища школа, 1978. – 224с.
4. Лычев, А.С. Надёжность строительных конструкций / А.С. Лычев. – М.: АСВ, 2008. – 184 с.

References

1. Chikhladze, ED Temperature and humidity steel-concrete bearing and protecting designs of industrial buildings: a monograph /E.D. Chikhladze, LV Gaponova; Kharkov. nat. Acad. city. households Islands. - H .: KNAME, 2011. -188 p.
2. Pichugin, SF Reliability of building structures. Scientific work School prof. Pichugin SF - Poltava: LLC "MMA", 2010. - 434.
3. Gaevoy AF The quality and durability of the walling AAC / AF Gaevoy, BA Katchura. - H .: Vishcha School, 1978. - 224p.
4. Lychev, AS Reliability of constructions / AS Lychev. - M .: DIA 2008. - 184.

УДК.: 551.24.02:622.012.3

МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ МАССИВОВ ПОРОД НАГОРНОГО КАРЬЕРА

Суюнтбекова Нурила Амантаевна, ст.преподаватель, КГТУ им. И.Раззакова, Кыргызстан 720044, г.Бишкек, пр. Мира, 66, e-mail: nsujuntbekova@mail.ru.

В данной статье рассмотрены вопросы и проведены примеры определения структур в задачах формирования рационального профиля плотин. Были разработаны методы выявления элементов в системе, которые определяют модули деформации начальной величины.

Ключевые слова: рельеф, карьер, гравитация, каньон, вариация, компоненты тензора, сейсмичность.

SIMULATION OF STRESS-STRAIN STATE OF ROCK MASS NAGORNO CAREER

Suyuntbekova Nurila Amantaevna, Senior Lecturer, KSTU. I.Razzakova, Kyrgyzstan 720044, Bishkek, etc.. Mira 66, e-mail: nsujuntbekova@mail.ru.

The purpose of the article - in this paper addressed the issues and examples of determining structures in the problems of forming a rational Profile platinum. Methods have been developed to identify elements in the system, which determines the deformation modulus of the initial value.

Keywords: relief, careers, gravity, canyon, variation, tensor components, seismicity.

С помощью созданной модели напряженно-деформированного состояния (НДС) пород нагорных карьеров выполнен расчет полей напряжений для разреза карьера. Для расчетов принято: объемный вес равным 2,85 т/м, коэффициент Пуассона $\mu = 0,25$. Предел прочности на сжатие всякого бока 81 МПа, для руды 120 МПа. Результаты расчета полей напряжений, возникающих от действия силы гравитации, представлены на рис. 1.

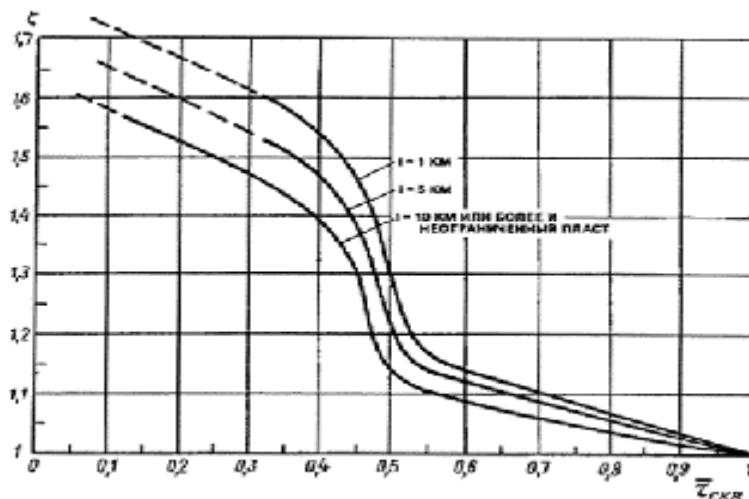


Рис.1. Распределение горизонтальных и вертикальных нормальных напряжений в массивах пород бортов карьера при действии силы гравитации.

Из рис.1. видно, что горизонтальные нормальные напряжения распределены в левых и правых бортах карьера по различному закону. В левом борту карьера имеется зона растяжения, хотя величина наибольшего значения напряжений незначительна и равна 1,3 МПа. В правом борту имеется концентрация только сжимающих напряжений. Наибольшее сжатие равно 9,4 МПа. В основании правого борта карьера в обширной зоне наблюдается концентрация сжимающих в горизонтальном направлении напряжений.

Вертикальные сжимающие нормальные напряжения в обоих бортах карьера растут по глубине массива почти пропорционально росту высоты бортов карьера.

Сдвигающие касательные напряжения в правом борту карьера достигают наибольших значений, зоны их концентрации расположены в зоне опорного давления бортов карьера. Наибольшее значение имеет место в правом борту карьера, где имеется зона изгиба. В целом на правом борту карьера значения касательных напряжений в 5 – 10 раз больше, чем в левом борту. Поэтому интенсивные сдвиговые деформации массивов пород могут развиваться в правом борту карьера. Распределение напряжений в массивах пород, когда они испытывают совместное действие силы гравитации и тектонического сжатия в горизонтальном направлении с интенсивностью 5,8 МПа, показаны линиями нормальных напряжений на рис. 2.

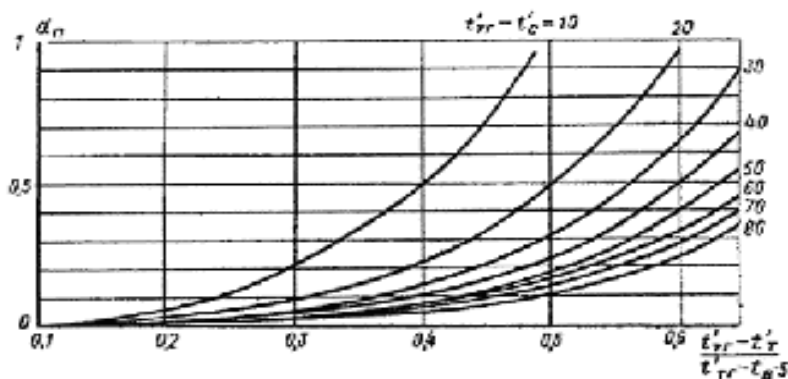


Рис.2. Распределение напряжений в массивах пород

В этом случае концентрация горизонтальных напряжений локализована в зоне основания карьера, где ее наибольшее значение равно 40,3 МПа. Вертикальная компонента напряжений в зоне сопряжения правого борта карьера с его основанием достигает наибольшего значения, равного 15,2 МПа. В целом, как видно из рис.2, концентрация напряжений при тектоническом сжатии в 4 раза больше, чем при действии силы гравитации.

Для выполнения прогноза вероятных сдвиговых деформаций выполнен анализ распределения наибольших касательных напряжений при тектоническом сжатии в горизонтальном направлении различной интенсивности.

Таким образом, при наличии происходящих в регионе тектонических процессов вероятность возникновения оползневых явлений увеличивается в 3 раза по сравнению с действием только силы гравитации.

Учитывая, что концентрация напряжений локализована в зоне основания правого борта карьера, можно прогнозировать возможность потери устойчивости в первую очередь борта карьера после отработки месторождения.

Причины, место возникновения и кинетика развития процессов разрушений массивов пород обусловлены многими естественными и техногенными факторами - составом, строением и рельефом массивов пород и их реологическими свойствами, сейсмотектонической активностью горного региона, местом расположения, формой и размерами карьеров и т.д. Процессы разрушения массивов пород протекают не только в пространстве, но и во времени.

При рассмотрении механизма разрушения горных пород выделяют две формы:

а) отрыв, обусловленный деформациями удлинения, т.е. преимущественным действием нормальных растягивающих напряжений;

б) срез или скалывание вследствие преобладающего развития деформаций сдвига, вызванных касательными напряжениями.

В настоящее время экспериментально обосновано, что любое твердое тело в зависимости от условий нагружения может разрушаться с проявлением обеих выделенных форм. В одних случаях разрушение наступает после стадии малых деформаций (хрупкое разрушение), в других - материал до разрушения испытывает значительные остаточные деформации (вязкое или пластическое разрушение). На протяжении двух столетий создавались различные критерии прочности, которые подразделялись на две группы в соответствии с гипотетическим механизмом разрушения, положенным в их основу, и противопоставлялись друг другу.

Один из самых ранних критериев прочности - критерий наибольших нормальных напряжений - был выдвинут Г.Галилеем. Согласно этому критерию опасное состояние материала наступает при достижении наибольшим нормальным напряжением некоторого, определяемого экспериментально, критического значения. Вследствие этого данный критерий применим лишь в условиях одноосного растяжения. Это обстоятельство существенно ограничивает область применения данного критерия как для пластичных, так и для хрупких материалов, в том числе и для горных пород. Условие прочности записывается в виде, где наибольшая из нормальных компонент тензора напряжений - допускаемое напряжение для рассматриваемого материала. При этом для хрупких материалов подразумевается значение предельного напряжения, вызывающего появление неупругих деформаций, т.е. предел упругости, а для пластичных - предел текучести.

По критерию наибольших деформаций критическое состояние материала определяется его деформациями, т.е. наибольшим удлинением. Отличие данного критерия от предыдущего состоит в том, что с допускаемым напряжением сравнивают совокупность нормальных компонент тензора напряжений. Эксперименты показывают, что этот критерий хорошо описывает характер разрушения хрупких материалов, но для пластичных он не подтверждается.

Критерий наибольших касательных напряжений, сформулированный Кулоном, основан на механизме разрушения в форме среза, и проверка прочности осуществляется в соответствии с условием, где допускаемо касательное напряжение для материала. Критерий наибольших касательных напряжений подтверждается экспериментами для материалов, проявляющих пластические свойства, и с близкими по значению пределами

прочности на сжатие и растяжение. Эта теория применима и для материалов, обладающих различными пределами прочности на сжатие и растяжение.

Для описания условий разрушения горных пород широко применяют критерий прочности, предложенный О.Мором. Условие прочности определяется соотношениями касательных и нормальных напряжений в каждой точке тела, находящегося в объемном напряженном состоянии, т.е. на плоскости соотношение представляет предельную кривую, огибающую семейство кругов напряжений, построенных для различных случаев предельного напряженного состояния.

Огибающие предельных кругов напряжений называют паспортами прочности горных пород. Согласно данному критерию разрушение наступает при превышении касательными напряжениями критических значений, определяемых ординатами огибающей, а также, если нормальные растягивающие напряжения превысят предел прочности на растяжение при отсутствии касательных напряжений.

Существует ряд других критериев разрушения твердых тел, в основу которых положено совместно рассмотрение критериев прочности по деформациям и напряжениям, т.е. рассмотрение потенциальной энергии или численно ей равной удельной работы деформаций, затрачиваемой на разрушение твердого тела. Хорошие результаты достигаются, если учитывают не всю потенциальную энергию, а только ту ее часть, которая идет на изменение формы элементарных объемов материала. При конкретных расчетах прочности отдельных областей массива горных пород необходим неременный учет вида напряженного состояния рассматриваемой области, а также характера ее деформирования. При этом в зависимости от способности объекта к практически хрупкому деформированию или к деформированию с проявлением пластических деформаций следует использовать соответствующие критерии прочности.

Критерий Давыденкова – Фридмана называется объединенным критерием прочности. Исходным для него является предложение о наличии у материала двух характеристик предельной прочности – сопротивления отрыву и сопротивления сдвигу. Сопротивление отрыву для хрупких в обычных условиях материалов может быть определено как предел прочности при растяжении. Трудно определить эту характеристику для пластичного материала. Сопротивление сразу можно определить, например, из опытов окучивания полых трубок.

Недостатком рассматриваемого критерия является использование далеко не универсального критерия наибольшего удлинения и условного параметра жесткости нагружения. Проанализировав существующие критерии разрушения, предлагается следующая методика определения вероятных зон разрушения в склонах и бортах карьеров, основанная на изучении напряженно – деформированного состояния массивов пород в каждой конкретной геомеханической ситуации.

1. Вероятная зона разрушения массивов пород в зонах растягивающих напряжений определяется по величине критерия, а в зонах сжатия – по теории прочности О. Мора, по величине критерия. Здесь, где сосредоточены величины касательных и нормальных составляющих напряжений на площадке сечения массива, предполагается расположение поверхности скольжения и предложен способ применения теории адаптивной эволюции механических систем при проектировании плотин, как одних из наиболее распространенных гидротехнических сооружений. Модификация адаптационного алгоритма для решения этой задачи (рис. 1) подтверждает его гибкость.

Рассмотрены примеры определения структур в задачах формирования рационального профиля плотин. Для этого предложен следующий метод. Вначале задается произвольный заведомо большой профиль плотины требуемой высоты и, например, ширины верхней грани, а также заданного начального значения модуля деформации. Затем выявляются элементы в системе, у которых модуль деформации менее, например, 2% от начальной величины. Такие элементы удаляются, оставшиеся объемы плотины выравниваются с сохранением начальных условий. При условии, что в итоговой схеме $E=E_{нач}$ выполняется новый эволюционный расчет. Такая последовательность процесса проектирования рационального профиля плотины выполняется до тех пор, пока число элементов не будет меньше заданного процента, например, 2%. Для наглядного представления процесса проектирования рационального профиля плотины все этапы проектирования одного объекта показаны на рис.2. Наличие ограничений на создание нового контура может быть обусловлено множеством факторов.

Итоговая форма рационального профиля плотины возникает из начального объема материала произвольной формы. Полученный в результате решения нескольких примеров рациональный профиль плотины идентичен известному профилю гравитационных бетонных плотин, что подтверждает практическое применение.

Расчетная схема принята как массив грунта с полостью внутри. Положение в разрезе и конфигурация полости варьировались. С помощью программы выполнено решение ряда задач, в которых расположение полости изменялось от 20м до 50м, а ее конфигурация принималась по форме известных типов обделок – круглой, прямоугольной, многосекционной.

В результате получены структуры, по которым составлена картина закрепления системы «массив грунта с полостью». Для круглой, трехсекционной, квадратной и двухсекционной (при закладке туннеля под наклонной поверхностью горного массива) полостей общая картина закрепления сохраняется. От угловых точек прямоугольного сечения, угловых точек и перегородок многосекционного сечения, угловых точек квадрата, описанного вокруг круглого сечения, вверх и вниз, а также на значительном удалении от полости образовались участки с повышенным модулем деформации. Интуитивное восприятие полученных структур –

частичное погашение нагрузки на обделку за счет передачи веса вышележащих слоев грунта на нижележащие при помощи указанных участков. Ввиду невозможности изготовления зон закрепления, в точности повторяющих полученную теоретически структуру, последняя огрубляется, но при этом сохраняется основное качество – необходимо от угловых точек обделки вверх и вниз выполнить ответвления с повышенным модулем деформации, например, в виде анкерной крепи. Глубина крепи $\approx 5-7$ м и больше. В конце скважины необходимо выполнять уширение с нагнетанием в него раствора. Возможно также изменить существующие типы обделок согласно теоретическим расчетам.

Выводы. В результате получены структуры, по которым составлены картины закрепления системы “Массив грунта с полостью”. Для круглой, трехсекционной, квадратной и двухсекционной полостей общая картина закрепления сохраняется.

Список литературы

1. Абдылдаев Э.К. Напряженно – деформированное состояние массива горных пород вблизи выработок. Фрунзе : Илим, 1990 – 164 с.
2. Айтматов И.Т., Жумабаев Б., Исаева Г.С. Прогноз проявлений горного давления при разработке месторождений комбинированным способом. Проблемы горного давления на больших глубинах при ведении подземных и открытых работ. – Кривой Рог: НИГРИ, 1990. – С.42.
3. Айтматов И.Т., Жумабаев Б., Исаева Г.С. Методика расчета на сейсмичность устойчивости массивов пород бортов карьера и склонов прилегающих гор. Матер. международной конференции Проблемы механики и технологии. Бишкек: БПИ, 1994.- С171.
4. Айтматов И.Т., Карагулов Н.К. Исследование распределения напряжений в горных склонах методом фотоупругости \\\ Напряженно – деформированное состояние горных пород при добыче полезных ископаемых и гидротехническом строительстве. Фрунзе, 1973. С.34 – 55.
5. Кутуев М.Д., Укуев Б.Т и др. Информационные технологии в строительстве, механике-Б.:Авангард, 2007.-295с.
6. Кутуев М.Д., Укуев Б.Т. Строительная механика.- Б.:Авангард, 2008.-270с.

References

1. Abdylidaev E.K.Napryazhenno - strain state of the rocks near the mines. Frunze: Ilim, 1990 - 164 p.
2. Aitmatov IT Zhumabaev B Isayev GS Forecast manifestations of rock pressure field development in a combined way. Problems rock pressure at great depths in underground and open and public works. - Krivoy Rog: Nigro, 1990. - P.42.
3. Aitmatov I.T.Zhumabaev B Isayev G.S.Metodika based on seismic stability of rock massifs pit walls and slopes of the surrounding mountains. Mater. International Conference Problems of Mechanics and technology. Bishkek: BPI, 1994. - S171.
4. Aitmatov I.T.Karagulov N.K.Issledovanie stress distribution in the mountain slopes by photoelasticity \\\ stress - strain state of rocks in mining and hydraulic engineering. Frunze, 1973. P.34 - 55.
5. Kutuev MD, Ukuev B.T and others. Information technology in construction, mechanics-B.: Vanguard, 2007.-295s.
6. Kutuev MD, BT Ukuev Construction mechanics, B.: Vanguard, 2008.-270C.

УДК.: 550.344.4:626/627

ВЛИЯНИЕ СЕЙСМОВОЛН НА ГИДРОСООРУЖЕНИЯ

Суянтбекова Нурила Амантаевна, ст.преподаватель, КГТУ им. И.Раззакова, Кыргызстан, 720044, г.Бишкек, пр. Мира 66, e-mail: nsujantbekova@mail.ru.

Цель статьи – разработать методику проведения работы по алгоритмизации и создании пакета прикладных программ (ППП) для анализа напряженно-деформированного состояния (НДС) массивов пород склонов и бортов карьеров гидротехнических сооружений.

Ключевые слова: рельеф, карьер, гравитация, каньон, вариация, компоненты тензора, сейсмичность.

INFLUENCE ON HYDRAULIC SEYSMOVOLN

Suyuntbekova Nurila Amantaevna, Senior Lecturer, KSTU. I.Razzakova, Kyrgyzstan 720044, Bishkek, etc.. Mira66, e-mail: nsujantbekova@mail.ru.

The purpose of the article - to develop a methodology to work towards the creation of algorithms and software package (RFP) for the analysis of the stress-strain state (SSS) arrays rock slopes and pit hydraulic structures.

Keywords: relief, careers, gravity, canyon, variation, tensor components, seismicity.

В настоящее время в практике проектирования гидротехнических сооружений преобладают методы, основанные на старых строительных нормах и правилах. Поэтому, а также в связи с капитализацией общественных отношений и принципов проектирования требуются новые подходы как в моделировании, так и в проектировании.

В этом русле проводятся работы по алгоритмизации и создании пакета прикладных программ (ППП) для анализа напряженно-деформированного состояния (НДС) массивов пород склонов гор и бортов карьеров гидротехнических сооружений. Локальные и мелкие по масштабу геометрические особенности реального рельефа бортов карьера и склонов прилегающих гор весьма сложны. Поэтому в расчетной модели с помощью гладких криволинейных цилиндрических поверхностей учтены лишь главные по масштабу особенности рельефа массивов карьера и гор. Влияние мелких геометрических факторов не учитывается.

Параметры силовых факторов конкретизируются достаточно достоверно для гравитационных составляющих внешних сил. Если измерение напряжений осуществлено в массивах с горным рельефом, то действия тектонической силы единичной интенсивности, в зависимости от вида сооружения, состава строения массива и других параметров, скорости, периодов колебания и направления распространения сейсмических волн задаются также приближенно.

Поэтому при моделировании и прогнозе НДС горных массивов, бортов каньона и склонов гор в любом случае потребуются выполнение многовариантных расчетов полей напряжений, деформации и смещений пород, которые будут соответствовать вариациям значений тех или иных факторов.

После конкретизации значений механических факторов с помощью ППП выполняются работы по вычислению прогнозируемых величин в конкретных точках массива. Густота точек в исследуемой области задается в зависимости от формы рельефа и от ожидаемой концентрации напряжений, определенных на расстоянии половины характерного размера карьера, справа и слева от него по горизонтали и 1,5 размера – по глубине от основного карьера. При этом в каждой точке основными вычисляемыми величинами являются компоненты тензора напряжений или главные напряжения, а также компоненты смещений и деформаций.

Главные компоненты напряжений определяются известными классическими формулами. Для установления достоверности выполнены тестовые задачи.

Пример 1. Объектом моделирования послужил горный массив, под которым должна была проходить предполагаемая трасса водосбросного туннеля Каинды–Иныльчек, высота горы $H = 1400$ м.

При нагружении массива принята величина сейсмического ускорения, равная девятибалльной сейсмичности, что рекомендована для расчета гидротехнических сооружений. Направление сейсмических волн принято горизонтальным. Сравнивая закон распределения напряжений, установлено, что влияние сейсмической силы наименьшее в центральных частях и наибольшее в краевых частях трассы туннеля.

Пример 2. В районе бассейна р.Сары-Джаз расположен еще один гидротехнический объект – месторождение полезных ископаемых «Трудовое».

Исходные данные: высота 1200-1300 м, горный регион отличается сейсмической и тектонической активностью. Дана оценка начального напряженно-деформированного состояния (НДС) массивов пород путем использования результатов измерения напряжений в натурных условиях и изложенного выше метода моделирования.

Пример 3. Прогноз изменения напряженного состояния склонов гор в зоне влияния водохранилища в каньоне реки Нарын в районе строительства Камбаратинской ГЭС. Глубина каньона равна 450 м, глубина водохранилища принята равной проектной высоте плотины ГЭС – 270 м. Получены следующие результаты:

1) при образовании водохранилища возникают три зоны растяжений в горизонтальном направлении. Первая зона расположена в основании каньона вдоль оси симметрии по глубине. Вторая и третья зоны расположены в склонах каньона выше уровня водной поверхности водохранилища. Максимальное растягивающее напряжение в зоне основания каньона равно 1,7 МПа;

2) сжимающие горизонтальные напряжения возникают в двух зонах, т.е. в обоих бортах каньона, симметрично относительно оси симметрии каньона; максимальные значения имеют место выше основания в контурной части склонов, где склоны имеют перегибы и равны 1,4 МПа;

3) зоны распространения убывающих значений растягивающих и сжимающих напряжений достигают до 2-3 глубин каньона во все стороны от его основания; зоны распространения растяжений более чем в 2 раза меньше зон распространения сжатия, а по распределению вертикальных нормальных напряжений:

- выше поверхности водохранилища имеет место растяжение в вертикальном направлении. Величина растягивающих напряжений не превышает 0,1 МПа, поэтому ими всегда можно пренебречь;

- во всех других зонах обоих бортов каньона возникают сжимающие напряжения в вертикальном направлении, а их наибольшее значение 2,7 МПа имеет место в основании каньона;

- зоны распространения растяжений в вертикальном направлении выше уровня поверхности водохранилища имеют место в приповерхностной части склонов на малой полосе с шириной не более 10-15 м и длиной 80-120 м. Зона распространения сжатия расположена на расстоянии до 2-х - 4-х глубин каньона, где, например, на расстоянии 2-х глубин каньона сжимающее напряжение равно 2,7 МПа.

Выводы. Таким образом, классическими формулами были определены компоненты напряжений. Для установления достоверности выполнены тестовые задачи. Автором предлагаются примеры для разных регионов республики.

Список литературы

1. Абдылдаев Э.К. Напряженно – деформированное состояние массива горных пород вблизи выработок. Фрунзе: Илим, 1990 – 164 с.
2. Айтматов И.Т., Жумабаев Б., Исаева Г.С. Прогноз проявлений горного давления при разработке месторождений комбинированным способом. Проблемы горного давления на больших глубинах при ведении подземных и открытых работ. – Кривой Рог: НИГРИ, 1990. – С.42.
3. Айтматов И.Т., Жумабаев Б., Исаева Г.С. Методика расчета на сейсмичность устойчивости массивов пород бортов карьера и склонов прилегающих гор. Матер. международной конференции «Проблемы механики и технологии». Бишкек: БПИ, 1994. - С171.
4. Айтматов И.Т., Карагулов Н.К. Исследование распределения напряжений в горных склонах методом фотоупругости \ Напряженно – деформированное состояние горных пород при добыче полезных ископаемых и гидротехническом строительстве. Фрунзе, 1973. С.34 – 55.
5. Кутуев М.Д., Укуев Б.Т и др. Информационные технологии в строительстве, механике-Б: Авангард, 2007.-295с.
6. Кутуев М.Д., Укуев Б.Т. Строительная механика. - Б.:Авангард, 2008.-270с.

References

1. Abdylidaev E.K. Napryazhenno - strain state of the rocks near the mines. Frunze: Ilim, 1990 - 164 p.
2. Aitmatov IT Zhumabaev B Isayev GS Forecast manifestations of rock pressure field development in a combined way. Problems rock pressure at great depths in underground and open and public works. - Krivoy Rog: Nigro, 1990. - P.42.
3. Aitmatov I.T. Zhumabaev B Isayev GS The technique is based on seismic stability of rock massifs pit walls and slopes of the surrounding mountains. Mater. International Conference "Problems of Mechanics and technology." Bishkek: BPI, 1994. - S171.
4. Aitmatov IT, Karagulov N.K. Issledovanie stress distribution in the mountain slopes by photoelasticity \ stress - strain state of rocks in mining and hydraulic engineering. Frunze, 1973. P.34 - 55.
5. Kutuev MD, Ukuev B.T and others. Information technology in construction, mechanics-B: Vanguard, 2007. 295s.
6. Kutuev MD, BT Ukuev Construction mechanics, B.: Vanguard, 2008.-270C.

УДК.: 514.763.53:519.633.2:539.378

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РЯДА ТЕЙЛОРА ДЛЯ НАХОЖДЕНИЯ ЭКСТРЕМАЛЬНОГО ЗНАЧЕНИЯ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ КОНСТРУКЦИЙ

Искендер Козубай, Кыргызский государственный технический университет им. И.Раззакова, Бишкек, Кыргызская Республика, iskan-7@mail.ru

В данной статье приводятся результаты численных экспериментов по моделированию перемещений упругих тел на основе тензора Коши. Рассматриваются пластины (плиты). Находятся экстремальные точки перемещения с использованием ряда Тейлора. Приводятся математические модели процесса деформирования элементов конструкций, алгоритмы и примеры расчёта в MATLAB.

Ключевые слова: тензор Коши, тензор вращения, перемещение, деформированное состояние, кручение

USING THE TAYLOR SERIES FOR FINDING EXTREME VALUES OF DISPLACEMENT DESIGNS

Iskender Kozubai, Kyrgyz State Technical University named after I. Razzakov, Bishkek

This article presents the results of numerical experiments on modeling movements of elastic bodies on the basis of the Cauchy tensor. Considered plates (plates). Are the extreme points of motion using the Taylor series. Mathematical models of the deformation process of structural elements, and examples of calculation algorithms in MATLAB.

Keywords: Cauchy tensor, the tensor of rotation, displacement, strain state, torsion

Введение

Рассмотрим пример в декартовой системе координат, оси которой обозначим через x_1, x_2, x_3 , деформированное тело занимает область V .

$$2 \leq x_1 \leq 4, \pi/6 \leq x_2 \leq \pi/3, 2\pi/3 \leq x_3 \leq 5\pi/6 \quad (1)$$

Пусть известен только тензор Коши

$$\varepsilon_{ij} = c \begin{pmatrix} \sin x_2 \cos x_3 & \frac{1}{2}(\sin x_2 \sin x_3 + x_1 \cos x_2 \cos x_3) & \frac{1}{2}(\cos x_2 - x_1 \sin x_2 \sin x_3) \\ \frac{1}{2}(\sin x_2 \sin x_3 + x_1 \cos x_2 \cos x_3) & x_1 \cos x_2 \sin x_3 & \frac{1}{2}x_1 \sin x_2 (\cos x_3 - 1) \\ \frac{1}{2}(\cos x_2 - x_1 \sin x_2 \sin x_3) & \frac{1}{2}x_1 \sin x_2 (\cos x_3 - 1) & 0 \end{pmatrix} \quad (2)$$

Как доказано в работе [1], этот тензор в полной мере характеризует деформированное состояние. Его компоненты достаточны для определения поля перемещения. Перемещение находим в виде

$$\begin{aligned} u_1(x_1, x_2, x_3) &= u_1(x_1^0, x_2^0, x_3^0) + \omega_{12}(x_1^0, x_2^0, x_3^0)(x_2 - x_2^0) + \\ &\quad + \omega_{13}(x_1^0, x_2^0, x_3^0)(x_3 - x_3^0) + c x_1 \sin x_2 \cos x_3 \\ u_2(x_1, x_2, x_3) &= u_2(x_1^0, x_2^0, x_3^0) + \omega_{21}(x_1^0, x_2^0, x_3^0)(x_1 - x_1^0) + \\ &\quad + \omega_{23}(x_1^0, x_2^0, x_3^0)(x_3 - x_3^0) + c x_1 \sin x_2 \sin x_3 \\ u_3(x_1, x_2, x_3) &= u_3(x_1^0, x_2^0, x_3^0) + \omega_{31}(x_1^0, x_2^0, x_3^0)(x_1 - x_1^0) + \\ &\quad + \omega_{32}(x_1^0, x_2^0, x_3^0)(x_2 - x_2^0) + c x_1 \cos x_2, \end{aligned} \quad (3)$$

где x_1^0, x_2^0, x_3^0 координаты начальной точки линии интегрирования. В качестве x_1^0, x_2^0, x_3^0 можно использовать координаты любой точки области V , $u_1(x_1^0, x_2^0, x_3^0)$, $u_2(x_1^0, x_2^0, x_3^0)$, $u_3(x_1^0, x_2^0, x_3^0)$ - постоянные интегрирования, соответствующие параллельному переносу тела.

Аппроксимация производных

Аппроксимация первой производной $\frac{\partial \Phi}{\partial x}$ функции Φ при $x=x_1$

Разлагаем $\Phi_2 = \Phi(x_2) = \Phi(x_1 + \Delta x)$ и $\Phi_3 = \Phi(r_3) = \Phi(r_1 + \Delta r_2) = \Phi(r_1 + a\Delta r_1)$ в ряд Тейлора около точки $r = r_1$ и ограничиваемся третьими членами разложения

(где $\Delta r_1 = r_2 - r_1$, $\Delta r_2 = r_3 - r_1 = a \Delta r_1$):

$$\Phi_2 = \Phi(r_1 + \Delta r_1) \approx \Phi(r_1) + \frac{\partial \Phi}{\partial r} \Big|_{r=r_1} \cdot \Delta r_1 + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 \Phi}{\partial r^2} \Big|_{r=r_1} \cdot (\Delta r_1)^2, \quad (4)$$

$$\Phi_3 = \Phi(r_1 + a\Delta r_1) \approx \Phi(r_1) + \frac{\partial \Phi}{\partial r} \Big|_{r=r_1} \cdot a\Delta r_1 + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 \Phi}{\partial r^2} \Big|_{r=r_1} \cdot a^2 (\Delta r_1)^2. \quad (5)$$

Умножаем первое из этих уравнений на $-a^2$ и складываем со вторым:

$$-a^2 \Phi_2 + \Phi_3 \approx (1 - a^2) \Phi_1 + \frac{\partial \Phi}{\partial r} \Big|_{r=r_1} \cdot (a - a^2) \Delta r_1, \quad (6)$$

$$\frac{\partial \Phi}{\partial r} \Big|_{r=r_1} \approx \frac{a^2 \Phi_2 - \Phi_3 - (a^2 - 1) \Phi_1}{(a^2 - a) \Delta r_1}. \quad (7)$$

Аппроксимация первой производной $\frac{\partial \Phi}{\partial x}$ функции Φ при $x=x_n$

Разлагаем $\Phi_{n-1} = \Phi(x_{n-1}) = \Phi(x_n + \Delta x)$ и $\Phi_{n-2} = \Phi(x_{n-2}) = \Phi(x_n - 2\Delta x)$ в ряд Тейлора около точки $x = x_n$ и ограничиваемся третьими членами разложения:

$$\Phi_{n-1} = \Phi(x_n + \Delta x) \approx \Phi(x_n) + \left. \frac{\partial \Phi}{\partial x} \right|_{x=x_n} \cdot \Delta x + \frac{1}{2} \left. \frac{\partial^2 \Phi}{\partial x^2} \right|_{x=x_n} \cdot (\Delta x)^2, \quad (8)$$

$$\Phi_{n-2} = \Phi(r_1 + 2\Delta r_1) \approx \Phi(r_1) + \left. \frac{\partial \Phi}{\partial r} \right|_{r=r_1} \cdot 2\Delta r_1 + \frac{1}{2} \left. \frac{\partial^2 \Phi}{\partial r^2} \right|_{r=r_1} \cdot 4(\Delta r_1)^2. \quad (9)$$

Умножаем первое из этих уравнений на -4 и складываем со вторым:

$$-4\Phi_2 + \Phi_3 \approx (1-4)\Phi_1 + \left. \frac{\partial \Phi}{\partial r} \right|_{r=r_1} \cdot (2-4)\Delta r_1, \quad (10)$$

$$\left. \frac{\partial \Phi}{\partial x} \right|_{x=x_n} \approx \frac{4\Phi_2 - \Phi_3 - 3\Phi_1}{2\Delta x}. \quad (11)$$

Аппроксимация первой производной $\frac{\partial \Phi}{\partial x}$ функции Φ при $x_1 < x_i < x_n$ (для внутренних точек)

$$\left. \frac{\partial \Phi}{\partial x} \right|_{x=x_i} \approx \frac{\Phi_{i+1} - \Phi_{i-1}}{2\Delta x} \quad (12)$$

Расчет напряженно-деформированного состояния в среде Matlab

С учетом формулы (2-11) компоненты деформации имеют вид

```
1) тензоры деформаций
e11=c(t)*sin(o(j))*cos(f(k));
e12=c(t)*0.5*(sin(o(j))*sin(f(k))+r(i)*cos(o(j))*cos(f(k)));
e13=c(t)*0.5*(cos(o(j))-r(i)*sin(o(j))*sin(f(k)));
e22=c(t)*r(i)*cos(o(j))*sin(f(k));
e23=c(t)*0.5*r(i)*sin(o(j))*(cos(f(k))-1);
e33=0;
```

```
2)тензоры нормальных и касательных напряжений
cigx=e11
cigy=e22
cigz=e33
tau_xy=e12
tau_xz=e13
tau_yz=e23
```

e=[e11 e12 e13; e12 e22 e23; e13 e23 e33]- тензор деформаций

3) запишем программу для нахождения максимального и минимального перемещения координаты и компоненты деформации точки

```
ux=u1(j,i,k)
uy=u2(j,i,k)
uz=u3(j,i,k)

if (i~=1)&&(i~=n1),
    dux_dx=(u1(j,i+1,k)-u1(j,i-1,k))/(x1(j,i+1,k)-x1(j,i-1,k));
    duy_dx=(u2(j,i+1,k)-u2(j,i-1,k))/(x1(j,i+1,k)-x1(j,i-1,k));
    duz_dx=(u3(j,i+1,k)-u3(j,i-1,k))/(x1(j,i+1,k)-x1(j,i-1,k));
elseif i==n1,
    dx=x1(j,i,k)-x1(j,i-1,k);
    a=((x1(j,i,k)-x1(j,i-2,k))/dx)^2;
    b=(a-sqrt(a))*dx;
    dux_dx=((a-1)*u1(j,i,k)-a*u1(j,i-1,k)+u1(j,i-2,k))/b;
```

```

    duy_dx=((a-1)*u2(j,i,k)-a*u2(j,i-1,k)+u1(j,i-2,k))/b;
    duz_dx=((a-1)*u3(j,i,k)-a*u3(j,i-1,k)+u1(j,i-2,k))/b;
end

if (j~=1)&&(j~=n2),
    dux_dy=(u1(j+1,i,k)-u1(j-1,i,k))/(x2(j+1,i,k)-x2(j-1,i,k));
    duy_dy=(u2(j+1,i,k)-u2(j-1,i,k))/(x2(j+1,i,k)-x2(j-1,i,k));
    duz_dy=(u3(j+1,i,k)-u3(j-1,i,k))/(x2(j+1,i,k)-x2(j-1,i,k));
end

if (k~=1)&&(k~=n3),
    dux_dz=(u1(j,i,k+1)-u1(j,i,k-1))/(x3(j,i,k+1)-x3(j,i,k-1));
    duy_dz=(u2(j,i,k+1)-u2(j,i,k-1))/(x3(j,i,k+1)-x3(j,i,k-1));
    duz_dz=(u3(j,i,k+1)-u3(j,i,k-1))/(x3(j,i,k+1)-x3(j,i,k-1));
end

4) находим тензор напряжения
e11=dux_dx;
e12=0.5*(dux_dy+duy_dx);
e13=0.5*(dux_dz+duz_dx);
e22=duy_dy;
e23=0.5*(duy_dz+duz_dy);
e33=duz_dz;
e=[e11 e12 e13; e12 e22 e23; e13 e23 e33]
5) находим тензор вращения
w11=0;
w12=0.5*(dux_dy-duy_dx);
w13=0.5*(dux_dz-duz_dx);
w22=0;
w23=0.5*(duy_dz-duz_dy);
w33=0;
w=[w11 w12 w13; -w12 w22 w23; -w13 -w23 w33]

```

На рисунке 1 область V показана слева. Справа показаны преобразования области V, соответствующие $c = 0.28$.

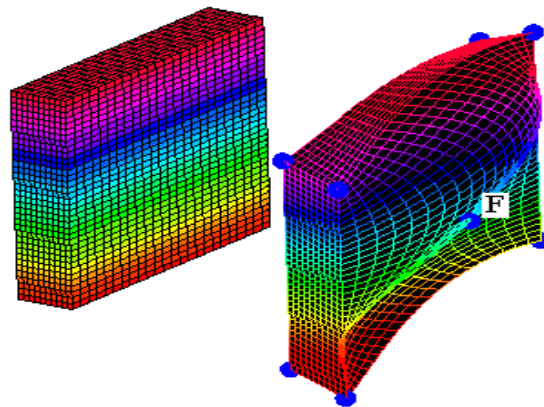


Рис .1. Кручение при $c=0.28$. Слева начальное состояние

Точкой F показано максимальное перемещение. Точка с координатой

$x1=1.5120e+001$ $x2=1.5708e+000$ $x3=3.1416e+000$

Тензор деформации:

$$\varepsilon_{i,j} = \begin{pmatrix} -2.1875e-001 & -8.5781e+000 & -8.5781e+000 \\ -8.5781e+000 & 0 & -1.1113e+000 \\ -8.5781e+000 & -1.1113e+000 & 0 \end{pmatrix}$$

Тензор напряжений для этой точки:

$$\sigma_{i,j} = \begin{pmatrix} -2.8000e-001 & -1.7145e-017 & -6.0008e-017 \\ -1.7145e-017 & 8.3987e-033 & -1.1200e+000 \\ -6.0008e-017 & -1.1200e+000 & 0 \end{pmatrix}$$

Тензор вращения:

$$\omega_{i,j} = \begin{pmatrix} 0 & 8.5781e+000 & 8.5781e+000 \\ -8.5781e+000 & 0 & 4.0750e-003 \\ -8.5781e+000 & -4.0750e-003 & 0 \end{pmatrix}$$

Нормальные напряжения:

$$\sigma_x = -2.8000e-001 \text{ МПа}$$

$$\sigma_y = 8.3987e-033 \text{ МПа}$$

$$\sigma_z = 0$$

Касательные напряжения:

$$\tau_{xy} = \tau_{yx}, \tau_{yz} = \tau_{zy}, \tau_{xz} = \tau_{zx}$$

$$\tau_{xy} = -1.7145e-017 \text{ МПа}, \tau_{xz} = -6.0008e-017 \text{ МПа}, \tau_{yz} = -1.1200e+000 \text{ МПа}$$

Перемещение:

$$u_x = -1.1120e+001 \text{ мм}, u_y = 1.3716e-016 \text{ мм}, u_z = 6.8580e-017 \text{ мм}.$$

Выводы. В данной работе показано, что тензор деформации Коши, считающийся годным только для малых деформаций, на самом деле является полновесной характеристикой деформированного состояния при больших деформациях.

Список литературы

1. Дуйшеналиев Т.Б. О постановке и решении статической краевой задачи// Бишкек, 2001. С. 40-50.
2. А.Б. Жакыпбек, Т.Б. Дуйшеналиев. Новое воззрение на некоторые основы механики деформируемого тела. Бишкек, 1999.
3. Дьяконов В.П. MATLAB 6. Учебный курс. – СПб.: Питер, 2001. С. 158-165.

References

1. Duyshenaliev T.B. On the formulation and solution of the static boundary value problem // Bishkek 2001, pp 40-50.
2. A.B. Zhakypbek, T.B. Duyshenaliev. A new view on some of the basics of body mechanics. Bishkek, 1999.
3. Dyakonov V.P. MATLAB 6. Course. - SPb.: Peter, 2001. 158-165.

УДК 001.891:626/627:681.5.011(575.2-17)

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАТВОРА ГИДРОУЗЛА С ПРОГРАММНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ ЫССЫК-АТИНСКОГО БАССЕЙНА ДЕКАДНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ (БДР)

Муканов Тынчтык Аскерович, магистр, старший преподаватель кафедры «Логистика», КГТУ им. И.Раззакова, Кыргызстан, 720044, г.Бишкек, пр. Мира, 66,
e-mail: tynchtyk.mukanov@gmail.com

Акматов Адыл Камбарович, к.т.н., доцент кафедры «Железобетонные конструкции и гидротехническое строительство» (ЖБКИГТС), КГУСТА им.Н.Исанова, Кыргызстан, 720020, Бишкек, ул. Малдыбаева, 34,

e-mail: akmat_rambler.ru

Логинов Геннадий Иванович, д.т.н., профессор кафедры «Гидротехническое строительство и водные ресурсы (ГТСиВР)», Кыргызско-Российский Славянский университет им.Б.Н.Ельцина, Кыргызстан, 720048, Бишкек, ул. Горького, 2,

e-mail: gts_i_vr@krsu.edu.kg

Темиркулова Дарика Темиркуловна, студент-магистрант кафедры «Железобетонные конструкции и гидротехническое строительство», КГУСТА им.Н.Исанова, Кыргызстан, 720020, Бишкек, ул. Малдыбаева, 34,

e-mail: darika.temirkulova@mail.ru

Ключевые слова: автоматизация, расход воды, гидротехнические сооружения, анализ данных, плотина, бассейн декадного регулирования, водораспределение

Цель статьи - предварительный и комплексный учет основных природных факторов (многоводность реки, режим стока, участки русел рек), технологических (водозабор, очистка воды от наносов, плавника, шуги, пропуск паводка, водорегулирование, водотранспортирование, вододеление), технических (основные градации и конструктивные элементы гидротехнических комплексов) факторов, влияющих на состав и содержание технологических ограничений; в технологическом обосновании водосбора и водораспределения на ирригационных системах предгорной зоны с использованием предложенных средств автоматики, внедрении программного обеспечения и экономическом обосновании принятых технических решений.

DEVELOPMENT AND RESEARCH OF HYDROSYSTEM FLOODHATCH WITH PROGRAMME CONTROL OF ISSYK-ATINSKIY TANK OF DECADIC REGULATING PROCESS

Mukanov Tynchtyk Askerovich, MA, senior lecturer of "Logistics" department Kyrgyzstan, 720044, Bishkek, KSTU named after I.Razzakov,

e-mail: tynchtyk.mukanov@gmail.com

Akmatov Adyl Kambarovich, Ph.D., professor of the department "Reinforced concrete structures and hydraulic engineering" KSUCTA named after N.Isanova, Kyrgyzstan, Bishkek, 720020, st. Maldybaev, 34,

e-mail: a_mat_rambler.ru

Loginov Gennady I., professor of the department "Hydraulic engineering construction and water resources", Kyrgyz-Russian Slavic University named after B.N.Elsina, Kyrgyzstan, Bishkek, 720048, st. Gorky 2, room. 416,

e-mail: gts_i_vr@krsu.edu.kg

Temirkulova Darika Temirkulovna, master students of the department "Reinforced concrete structures and hydraulic engineering" KSUCTA named after N.Isanova, Kyrgyzstan, Bishkek, 720020, st. Maldybaev, 34,

e-mail: darika.temirkulova@mail.ru

Keywords: automation, water flow, hydraulic structures, data analysis, dam, tank of decadic regulating process, water allocation.

Purpose of the article – preliminary integral recordkeeping of basic natural factors (surplus of water, flow pattern, river beds areas), technological (intake structure, water cleaning from pumps, drift wood, sludge, flood discharge, water regulation process, water transportation, water apportioning), technical (basic gradations and structural elements of hydro technical complexes) factors on composition and content of technological limitations; in terms of technological justification of water collection and water allocation on irrigation systems of piedmont zone using proposed automation means, software implementation and economic justification of adopted technical solutions.

Введение

Кыргызстан относится к полупустынной зоне, где осадков выпадает 200-300мм в год, а испарение достигает 1200-1400мм. При этих условиях дефицит влажности может быть пополнен только за счет орошения. Орошение в республике проводится на площади 1,07 млн.га, что составляет 10% площади, занятой в сельскохозяйственном производстве. С этой площади республика получает до 90% всей продукции растениеводства и животноводства.

Вместе с тем урожайность сельскохозяйственных культур на орошаемых площадях остается низкой из-за нерационального использования поливной воды и несовершенства оросительных систем и их элементов. Одним из путей повышения урожайности сельскохозяйственных культур является совершенствование оросительных систем и их звеньев на базе использования возобновляемой гидравлической энергии потока воды.

Первоочередными являются водозаборные, водораспределительные и водосборные сооружения, где осуществляются основные технологические операции процесса водоподачи и водораспределения.

Автоматизация этих технологических операций позволяет оперативно обеспечивать водоподачу и рациональное использование водных ресурсов при орошении сельскохозяйственных культур.

Под автоматизацией понимают обычно полное или частичное применение устройств, приборов, приспособлений и механизмов, позволяющих осуществлять технологические процессы без непосредственного участия человека, а лишь под его контролем /5/.

Объект исследования – Ыссык-Атинский бассейн декадного регулирования (БДР) расположен на реке «Ыссык-Ата» в 300 м южнее села Сынташ Чуйской области, в 60 км юго-восточнее г. Бишкек.

Год строительства: 1979;

Тип орошения: поверхностный;

Существующая площадь орошаемых земель: 3978 га.

Существующее состояние ГТС БДР в рабочем состоянии, но требует капитального ремонта.

Назначение Ыссык-Атинского БДР: декадное регулирование стока воды с целью его полного использования на орошение, не допуская сбросов, когда расходы в источнике будут превышать пропускную способность канала и задержание влекомых наносов источника с тем, чтобы исключить истирание ж/бетонной облицовки дна Ыссык — Атинского подпитывающего канала.



Рис. 1 – Ыссык-Атинский БДР, машинный зал, нижний бьеф, верхний бьеф

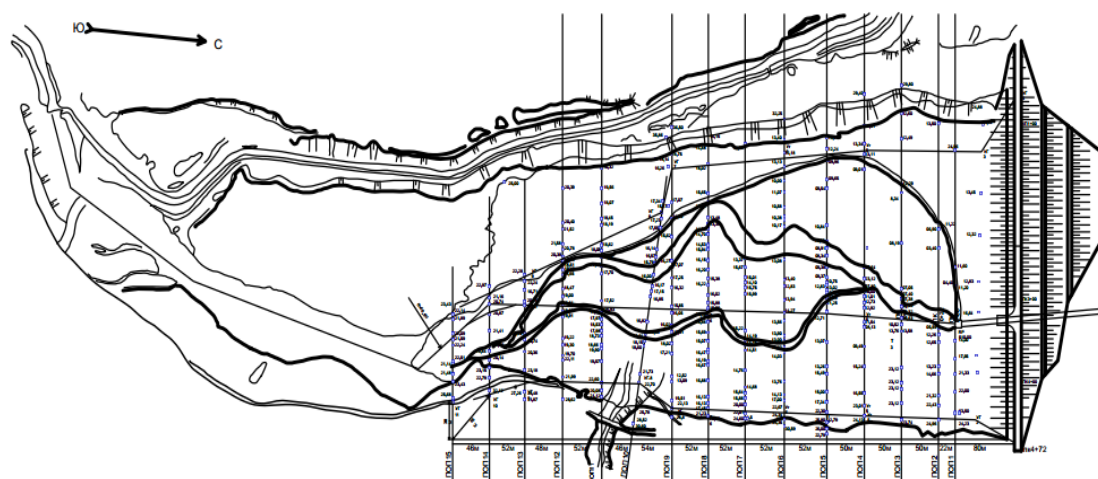


Рис. 2 – Генеральный план Ыссык-Атинского БДР

БДР имеет земляную насыпную плотину высотой 25 м; полная емкость чаши 3 млн.м³; полезный объем 2,5 млн. м³; мертвый объем 0,5 млн. м³. Длина чаши 1,17км. Максимальный расход 1% обеспеченности реки - 56 м³/сек. Руслоформирующий расход 10 % обеспеченности -36, 2 м /сек.

Река Ыссык-Ата является левым притоком реки Чу. Её длина составляет 81 км, площадь водосбора 558. Она берет начало с ледников северного склона Киргизского Ала-Тоо. В бассейне реки 4 озера, около 70

ледников /3/.

Основное питание реки Ыссык-Ата осуществляется за счет вечных снегов и ледников. На северном склоне Киргизского Ала-Тоо в верховьях реки Ыссык-Ата наблюдаются 2 ледника. Восточный Ысык-Атинский ледник имеет длину 3,8 км, площадь 4,8. Верхняя точка на высоте 4280 м над уровнем моря, нижняя – на высоте 3800 м. Западный Ысык-Атинский ледник имеет длину 2 км, площадь 3,6. Верхняя точка на высоте 4280 м над уровнем моря, нижняя – на высоте 3830 м.

Река по режиму относится к тянь-шаньскому типу — наибольшие расходы воды приходятся на летние месяцы.

Твердый сток или мутность, особенно до выхода в равнины, незначителен. Средняя годовая мутность составляет 195. Зимой в отдельных случаях она доходит до 8, а летом изредка достигает 1460. Фракционный состав взвешенных наносов в половодье характеризуется наличием частиц от 0,01мм до 0,5-1,0 мм, преобладают частицы от 0,01 до 0,5 мм.

По химическому составу воды относятся к гидрокарбонатному классу со слабой минерализацией, она колеблется от 250 до 350 /4/.

Ледовые явления характеризуются образованием заберегов и шуги в период декабря - февраля. Среднее количество дней с ледовыми явлениями составляет 73 дня, максимальное 114 дней. В теплые зимы ледовые явления вообще отсутствуют.

Главной задачей эксплуатации БДР для нужд орошения является выдерживание требуемых гарантий покрытия заявок на воду. Эксплуатация производится по правилам общеперативной и технической эксплуатации. В задачи общеперативной эксплуатации входит решение вопросов, затрагивающих интересы бассейна реки в целом. Техническая эксплуатация БДР и его сооружений осуществляется непосредственно службой эксплуатацией БДР и включает:

- Повседневное оперативное управление техническими устройствами БДР с целью создания необходимого запаса воды и подачи ее на орошение;
- Выполнение эксплуатационных планов по наполнению и опорожнению БДР в соответствии с утвержденным графиком режима;
- Производство наблюдений, связанных непосредственно с эксплуатацией БДР;
- Надзор и контроль за состоянием сооружений, оборудования и поддержание их в рабочем состоянии;
- Разработку мероприятий по приведению в надлежащее техническое состояние сооружений и чаши БДР с указанием состава работ, сроков их выполнения и исполнителей;
- Учет воды па входе и выходе из БДР;
- Выполнение ремонтных работ (собственными силами или с привлечением специализированных организаций);
- Ведение технической документации по эксплуатации, внедрение достижений науки, техники и передового опыта;
- Паспортизацию сооружений и БДР в целом.

Режим работы Ыссык-Атинского БДР обеспечивает:

- Выдерживание требуемых гарантий покрытия заявок на воду;
- Ликвидацию перебоев в водоподаче в остро маловодные периоды;
- Нормальные условия и безопасность работы всех сооружений БДР;
- Минимальный объем заилиения и занесения с целью удлинения срока службы БДР;
- Санитарные пуски воды из БДР и поддержание в нем уровня воды;
- Минимальные объемы холостых сбросов.

Во всех случаях необходимо соблюдать следующие общие правила управления режимом БДР:

- Уровень воды в БДР в проектных условиях его водохозяйственного использования не должен превышать нормально подпертый уровень;
- Уровень воды БДР в условиях пропуска максимальных расходов не должен превышать установленный проектом форсированный уровень.

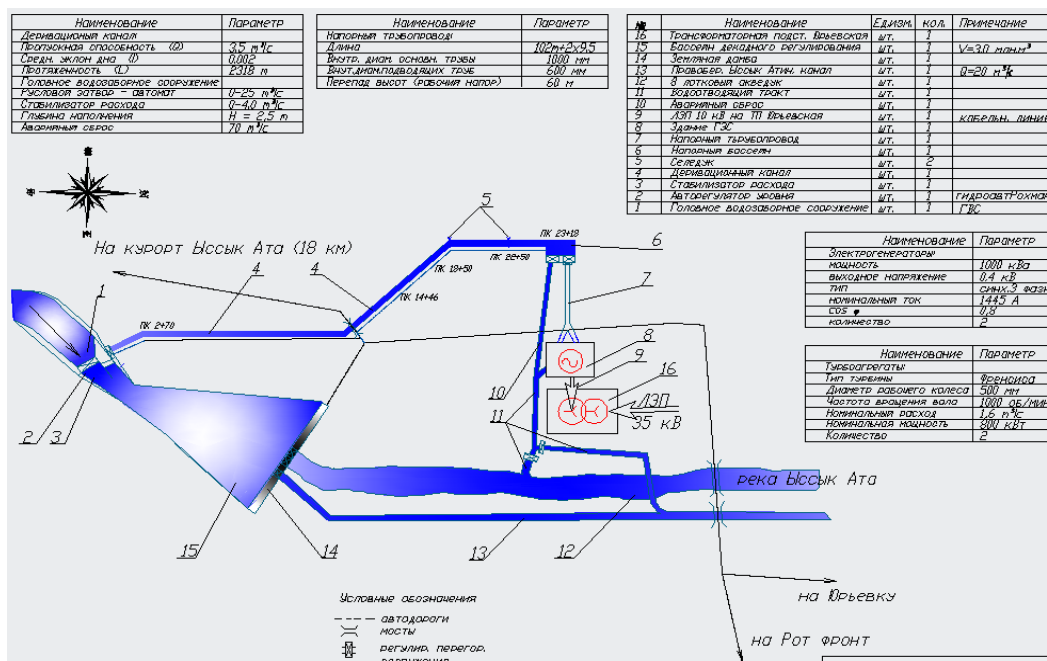


Рис. 3 – Ситуационная схема Ыссык-Атинского БДР

Автоматизации подлежат лишь эксплуатационные приемы процесса пропуска воды, причем автоматизируются только операции контроля и управления.

Общее количество технологических приемов, автоматизируемых в рамках процесса, называется объемом автоматизации. Можно автоматизировать все технологические приемы процесса, в этом случае процесс будет автоматизирован в полном объеме. Можно автоматизировать лишь часть приемов (неполный объем автоматизации). Это связано с созданием высокоэффективных средств гидравлической автоматики, совмещающих в одном устройстве выполнение нескольких функций. Так, при водоподаче из БДР и в регулирующих сооружениях в одних случаях необходимо поддерживать постоянный контроль в верхнем уровне, а в других постоянный расход воды.

Общее количество операций контроля и управления, автоматизируемых в рамках данного технологического приема, характеризует степень автоматизации. В зависимости от того, какие операции контроля и управления автоматизированы, можно выделить четыре основных степени автоматизации /5/:

I степень — локальная (местная) автоматизация;

II степень — комплексная автоматизация через диспетчера;

III степень — комплексная автоматизация через диспетчера с применением ЭВМ;

IV степень — полная автоматизация, то есть управление процессом без участия человека.

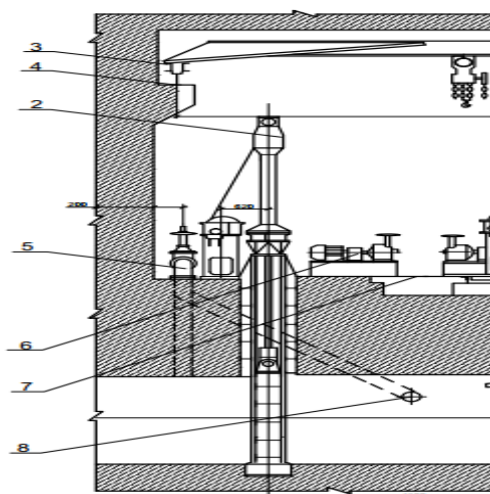


Рис.4

Рис. 4 – Схема плоского затвора Ыссык-Атинского БДР

2 - плоский затвор; 3 - кран мостовой; 4 – подкрановые пути; 5 – задвижка;

6 – маслonaсосный агрегат; 7 – перекрытие;

Анализ показывает: несмотря на наличие большого количества предложений по средствам автоматизации, внедрены только те, что доведены до практического использования, т.е. прошли следующую стадию опытно-конструктивной разработки и производственной апробации.

Перспективные направления развития автоматизационного процесса водозабора:

1. максимальное применение эксплуатационных приемов с укороченным управлением.
2. разработка и внедрение программного обеспечения.

Помимо этого, в условиях рыночных отношений и проведения в республике земельной реформы средства регулирования параметров потока воды должны обладать водомерными свойствами. Этим условиям в полной мере отвечают авторегуляторы уровня и расхода воды, рассматриваемые в данной работе.



Рис. 5 - Эксплуатационный и ремонтный затвор Ыссык-Атинского БДР



Рис. 6 - Гидравлический подъёмник Ыссык-Атинского БДР

Основной вопрос

Цель и задачи разработки и исследований - анализ и обзор, натурное обследование существующих видов средств автоматизации; исследование и анализ технологических приемов и принципов оптимизации работы БДР; формирование функциональных задач технологических алгоритмов управления. Функции алгоритмов управления реализуются модулями, отображающими задачи: контроля и управления, расчета технологических параметров, текущее оперативное управление, прямое цифровое управление. Этим составом задач определены данные для разработки алгоритмов управления технологическими процессами.

Исследовательская работа направлена на компьютерное управление данным гидроузлом и компьютерное регулирование речного стока без участия человека, а также увеличение пропускной способности гидроузла (Ыссык-Атинский БДР).

Для проведения эксперимента в лабораторных условиях в данный момент готовится установка с компьютерным программным управлением. Установка состоит из трех частей:

- 1-я - программная часть,
- 2-я - аппаратная часть, т.е. дополнение к лабораторной установке,
- 3-я - это система управления гидроузлом (смотрите вторую часть).

Преимуществом данной разработки является то, что ее можно использовать в разных гидроузлах разного назначения, например, для увеличения пропускной способности гидроузлов и регулирования уровня воды в ирригационных системах, гидроэлектростанциях, БДР.

Для этого мы должны опираться на:

- результаты теоретических, экспериментальных и расчётных исследований технологических процессов водосбора;
- программное обеспечение с учетом требуемого расхода воды для потребителей Ыссык-Атинского БДР.



Рис. 7 – Электрический щит -подъёмник Ыссык-Атинского БДР

Ценность и научная значимость данной работы заключается в следующем: предварительном комплексном учете основных природных факторов (многоводность реки, режим стока, участки русел рек), технологических (водозабор, очистка воды от наносов, плавника, шуги, пропуск паводка, водорегулирование, водотранспортирование, вододеление), технических (основные градации и конструктивные элементы гидротехнических комплексов) факторов на состав и содержание технологических ограничений; в технологическом обосновании водозабора и водораспределения на ирригационных системах предгорной зоны с использованием предложенных средств гидравлической автоматики, внедрении программного обеспечения и экономическом обосновании принятых технических решений.

Практическая значимость – возможность внедрения алгоритмов управления технологическими процессами в БДР и водорегулирования при разработке проблемно-ориентированного комплекса технических средств автоматизации, использование результатов работы как технологической основы проектирования автоматизации БДР и его узлов независимо от их конструктивных особенностей и схем размещения их элементов.



Рис. 8 – Пункт управления Ыссык-Атинского БДР

Управление затворами при пропуске нарастающих и максимальных паводковых расходов должно производиться с пунктов местного управления с одновременным визуальным наблюдением за сооружением и потоком в реальном времени.

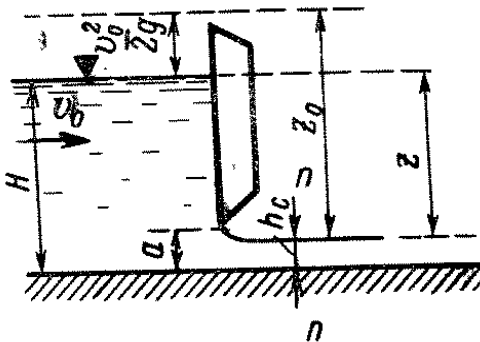
Методология исследования

Авторы провели основную часть существующего теоретического исследования, обработку и обобщение расчетных данных, составили ситуационную схему Ыссык-Атинского БДР с помощью данных Чуйского управления водного хозяйства и ОАО «Кыргызсуудолбоор».

Также авторы 21.12.2014 года совместно с научным руководителем выполнили полевой выезд для ознакомления с объектом исследования (Ыссык-Атинский БДР), провели интервью с работниками, сделали фотосъемку местности.

Остается закрепление расчетных данных нижеперечисленными действиями:

- 1) написание программного обеспечения с учетом расчетных данных для управления Ыссык-Атинским БДР;
- 2) лабораторными анализами и экспериментом.



При свободном (незатопленном) истечении расход определяется по формуле [1]:

$$Q = \varphi \frac{\varepsilon}{\sqrt{1+\varepsilon_h}} b a \sqrt{2gH} \quad (1)$$

φ – поправочный коэффициент, учитывающий влияние потерь напора;

a – степень открытия затвора;

H – напор перед затвором;

ε – коэффициент вертикального сжатия;

b – ширина канала.

Учитывая специфику горных источников орошения, задачи исследований технологических процессов, связанных с их автоматизацией, разделены на две группы:

Первая – системный анализ положительного опыта и недостатков эксплуатации БДР узлов в межень, при пропуске паводков, в зимний период, определение взаимовлияния составных частей, систематизация основных контролируемых и регулируемых параметров технологического процесса, периодичность, точность и диапазон их измерения, изучение переходных процессов, связанных с манипуляцией затворами, установление параметров запоздания потока в звеньях водоприемного узла.

Вторая – содержит задачи исследований технологических режимов процесса водосбора в различных условиях гидроузла – определение функциональных связей между элементами гидроузла при осуществлении на нем основных технологических операций, разработку технологических алгоритмов управления, реализацию алгоритмов управления и разработку технологических требований к средствам и системам автоматизации [5].



Рис. 10 - лаборатория гидротехнических сооружений

Расчет зависимостей:

a/H - поправочный коэффициент, учитывающий влияние потерь напора;

ϵ - величина коэффициента сжатия струи при истечении из-под вертикального плоского затвора.

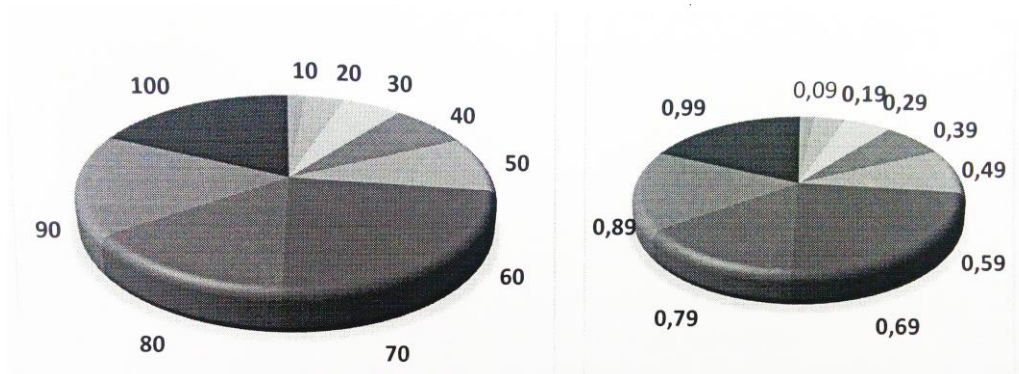
Таблица 1

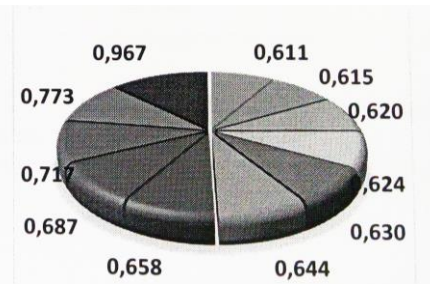
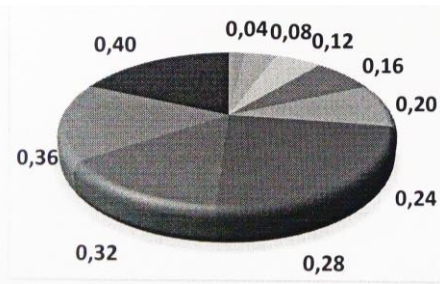
Расчет зависимостей

Шаг	a	H	a/H	ϵ
0	0,00	2,5	0,00	0,00
1	0,01	2,5	0,00	0,611
10	0,1	2,5	0,04	0,615
20	0,2	2,5	0,08	0,620
30	0,3	2,5	0,12	0,625
40	0,4	2,5	0,16	0,630
50	0,5	2,5	0,20	0,645
60	0,6	2,5	0,24	0,66
70	0,7	2,5	0,28	0,69
80	0,8	2,5	0,32	0,720
90	0,9	2,5	0,36	0,780
100	1	2,5	0,40	1

График 1

Расчет зависимостей по таблице 1





Выводы. Ыссык-Атинский БДР при реализации автоматизации III степени — комплексная через диспетчера с применением ЭВМ - увеличит свою пропускную способность.

Мы должны составить инструкцию по работе с данным программным обеспечением, и она должна быть предназначена для пользования личным эксплуатационным штатом Ыссык-Атинского БДР и отделением Чуйского государственного бассейнового управления водного хозяйства (ЧГБУБХ) в целях повышения уровня технической эксплуатации обслуживаемой части оросительной системы.

Правильная эксплуатация оросительной системы должна быть направлена на максимальное использование водных и земельных ресурсов и создание условий для коренного подъема сельского хозяйства и получения высоких и устойчивых урожаев сельскохозяйственных культур в хозяйствах — водопользователях системы.

Инструкция затвора гидроузла с компьютерным программным управлением должна быть составлена на основании материалов технического архива ЧГБУБХ, практического опыта эксплуатационного штата управления, а также технической литературы по вопросам эксплуатации оросительных систем.

В процессе эксплуатации и по мере изменения технических данных объекта инструкция должна корректироваться и дополняться.

В будущем разработанная инструкция может быть пересмотрена и уточнена в случаях:

- изменения условий регулирования стока и объема бассейна декадного регулирования;
- производства реконструкции всего комплекса гидротехнических сооружений или отдельных его частей;
- накопления достаточного эксплуатационного опыта.

Помимо этого, в условиях рыночных отношений и проведения в республике земельной реформы средства регулирования параметров потока воды должны обладать водомерными свойствами. Этим условиям в полной мере отвечают авторегуляторы уровня и расхода воды, рассматриваемые в данной работе.

Это дает возможность более рационально использовать и эффективно орошать посевные земли ниже по течению реки Ыссык-Ата.

Список литературы

1. Под редакцией Киселева П.Г. Издание четвертое, переработанное и дополненное. Справочник по гидравлическим расчетам/ Москва: «Энергия», 1972г. стр. 53-54
2. Проектная документация ПКТИ «Водоавтоматика и метрология».
3. Лавров Н.П. и др. «Модель водозаборного сооружения деривационной ГЭС на реке Ыссык-Ата» / Вестник КРСУ, Том 3, 12. – Бишкек 2003. 87-93 стр.
4. Рабочий проект «Восстановление, реконструкция и модернизация малой ГЭС Иссык - Ата», ОАО «Строительная фирма ARK», Бишкек, 2003г.
5. Вавилов А.С., Захаров В.П., Ушаков А.П. Эксплуатация гидротехнических сооружений Средней Азии в зимних условиях. -Ташкент: Госиздат
6. http://www.unece.org/fileadmin/DAM/env/water/publications/NPD_Kyrgyzstan/Chu_basin_water_infrastructure_2014.pdf

References

1. Edited by Kiseleva P.G. Fourth edition revised and added. Spravochnik po gidravlicheskim raschetam [Guide on hydraulic calculations] / Moscow: "Energia", 1972 year. p. 53-54
2. Project documentation PKTI Proektnaya dokumentatsiya PKTI "Vodoavtomatika i metrologiya" ["Water automation and metrology"].
3. Lavrov N.P. and others Model vodozabornogo soorujenya derivatsionnoi GES ["Model of intake structure of diversion hydro power plant on Issyk-Ata river"] / KRSU Bulletin, Vol. 3, 12 – Bishkek 2003. p. 87-93
4. Rabochii proekt "Vostanovlenye, rekonsruksya i modernizatsya maloi GES Issyk-Ata" [Working project "Rehabilitation, reconstruction and modernization of Issyk-Ata mini hydro power plant"], OJSC Construction company "ARK", Bishkek, 2003 year.
5. Vavilov A.S., Zaharov V.P., Ushakov A.P. Expluatatsya gidrotehnicheskikh soorujenii Srednei Azii v zimnih uslovyah [Exploitation of hydro technical structures in Central Asia during winter.] -Tashkent: State Edition
6. http://www.unece.org/fileadmin/DAM/env/water/publications/NPD_Kyrgyzstan/Chu_basin_water_infrastructure_2014.pdf

ХИМИЯ, ХИМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ И НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ

УДК: 666.92:664.1:625

**ИССЛЕДОВАНИЕ СОРБЕНТА, ПОЛУЧЕННОГО ИЗ НОВООБРАЗУЮЩЕГО
ФИЛЬТРАЦИОННОГО ОСАДКА САХАРНЫХ ЗАВОДОВ ДЛЯ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ОТ
КРАСИТЕЛЕЙ**

Омурзакова Айдана Болотбековна, аспирант КГТУ им. И. Раззакова, НИХТИ,
e-mail: Omurzkova.aidana@yandex.ru.

Цель статьи - ассортимент красителей, используемых предприятием текстильной промышленности, постоянно расширяется. Между тем, красители являются весьма токсичными и одними из самых трудноудаляемых загрязнителей сточных вод. Выбор соответствующего метода очистки сточных вод, загрязненных красителями, определяется концентрацией красителей, их химическим строением, качеством и количеством примесей, а также требованиями, предъявляемыми к очищенной воде. Красители широко используются в различных отраслях промышленности для крашения разнообразных материалов, таких как шелк, мех, кожа и различных синтетических, деревянных и металлических материалов /1/. По физическим свойствам синтетические красители можно разбить на две основные группы: растворимые и нерастворимые в воде. Почти все растворимые красители имеют ионогенный характер. Находят применение для окраски натурального шелка, приготовления чернил, карандашей, в полиграфии, косметике, а также в качестве сенсibiliзирующих красителей, для галогенсеребряных фотоэмульсий. К числу нерастворимых в воде относятся кубовые и сернистые красители /1/.

Для очистки сточных вод от красителей более широкое распространение получили сорбционные методы, т.е. использование сорбентов, в частности глинистых минералов в виде порошка. В качестве сорбентов также используют кору тинового дерева, рисовую шелуху, хлопковые отходы, уголь, волос и прочее /2/.

Таким образом, в настоящее время сорбционная очистка сточных вод от красителей принадлежит к числу наиболее эффективных и распространенных. Однако поиск новых недорогих методов очистки сточных вод от красителей, основанных на применении местных природных материалов и отходов производства /3/, является актуальным.

Нужно исследовать и разработать эффективный сорбент для очистки сточных вод от красителей на основе новообразующего фильтрационного осадка (ФО) сахарных заводов.

Очистку сточных вод проводили на примере очистки модельных растворов (МР) от красителей с использованием термообработанного новообразующего фильтрационного осадка в качестве сорбента, полученного пиролизным способом.

Ключевые слова: Исследована эффективность сорбента, полученного пиролизным способом из фильтрационного осадка сахарных заводов, в процессе очистки сточных вод от красителей.

**STUDY OF SORBENTS, DERIVED FROM NEWLY FORMING FILTERED CAKE SUGAR
FACTORY, TO SEWAGE TREATMENT FROM DYES.**

Omurzakova Aidana Bolotbekovna. KSTU named after I. Razzakov.

Purpose of the article - Assortment dyes, used by textile industry, is constantly expanding. Meanwhile, dyes are highly toxic and one of the water pollutants. Selection of an appropriate method of wastewater contaminated with dyes, determined concentration of dyes, their chemical structure, quality and impurities, as well as the requirements for purified water. Dyes are widely used in various industries for dyeing variety of materials: such as silk, fur, leather and various synthetic, wood and metal materials /1/. According to Physical properties, synthetic dyes may be divided into two main groups: soluble and insoluble. Almost all of the soluble dyes are ionic in nature. They are used for dyeing silk, preparation of ink sticks, in printing, cosmetics, as well as sensitizing dyes for silver halide emulsions. Among insoluble included vat dyes and sulfur / 1 /.

For sewage treatment from dyes more widespread sorption methods is usage of sorbents in particular clay minerals as a powder. As sorbents are used as statins tree bark, rice husks, cotton waste, coal, and other hair / 2 /. Thus, now the sorption wastewater from dyes among the most common and effective. However, the search for new low-cost methods of sewage treatment from dyes, based on the usage of local natural materials and waste production / 3 / is relevant.

Explore and develop an effective sorbent for sewage treatment from dyes based start-ups filter cake (FO) of sugar factories.

Wastewater treatment was carried out with model solutions (MP) from dyes using precooked start-filtercake sorbent as prepared pyrolysis method.

Keywords: Investigated the effectiveness of sorbent obtained pyrolysis method of filtration the sediment sugar factories, in the process of sewage treatment from dyes.

С помощью способа пиролиза обработанный фильтрационный осадок представляет особый интерес для очистки сточных вод. Для этого прокалили без доступа воздуха новообразующий фильтрационный осадок при температуре 350-550 °С. В результате термической обработки из фильтрационного осадка образуется композиция, в которой основными компонентами являются карбонаты кальция, магния и активный уголь /4/.

При пиролизной обработке новообразующего фильтрационного осадка была установлена область температур 350-500 °С, в которой происходит сгорание адсорбированных поверхностных органических веществ с образованием промежуточного продукта $\text{CaCO}_3 + \text{C}$ (сажи), обладающего высокими сорбционными свойствами по отношению к красителям, жирам, нефтепродуктам и другим органическим веществам. Полученный порошок темно-серого цвета обладает высокой степенью дисперсности, высокой химической стойкостью к различным агрессивным средам; высокой поглощающей способностью по маслам и жирам; невысокой плотностью в пределах 2500-2550 кг/м³ /4/.

С целью сравнения эффективности сорбентов, другой сорбент получили из новообразующего ФО термообработкой известным способом на открытом воздухе /5,6/.

В процессах очистки сточных вод от загрязняющих веществ большую роль играют концентрации взаимодействующих веществ. Поскольку концентрация добавляемого ФО зависит от его массы, добавляемой к раствору, представляет интерес исследовать влияние массы добавляемого ФО на эффективность водоочистки.

При проведении опытов к раствору объемом 100 мл добавляли различные массы ФО в интервале от 1 до 5 гр. Продолжительность перемешивания была равна 15 мин. После перемешивания суспензию фильтровали через фильтровальную бумагу, в фильтрате определяли концентрацию красителя на фотоэлектроколориметре (ФЭК) при установленных длинах волн 590 нм. Зная исходные концентрации красителей в растворах и определив остаточные, рассчитывали эффективность очистки по формуле (1).

$$\Theta = \frac{C_n - C_k}{C_n} * 100\%, \quad (1)$$

где C_n – начальная концентрация красителя в растворе, мг/дм³;

C_k – конечная концентрация красителя в растворе, мг/дм³.

Проведенные опыты показали, что при применении сорбента, полученного из новообразующего ФО способом пиролиза, более эффективны для очистки сточных вод по сравнению с сорбентом, полученным из новообразующего ФО, термообработанным на открытом воздухе (рис.1...4).

Из графика, представленного на рис.1, видно, что в интервале масс добавляемого ФО от 1 до 2 г наблюдается интенсивное увеличение эффективности очистки раствора (до 91–93 % для концентраций 25 и 50 мг/дм³), затем интенсивность роста эффективности значительно снижается и после добавления массы ФО, равной 5 г, эффективность очистки увеличивается всего лишь на 4 и 5 % соответственно.

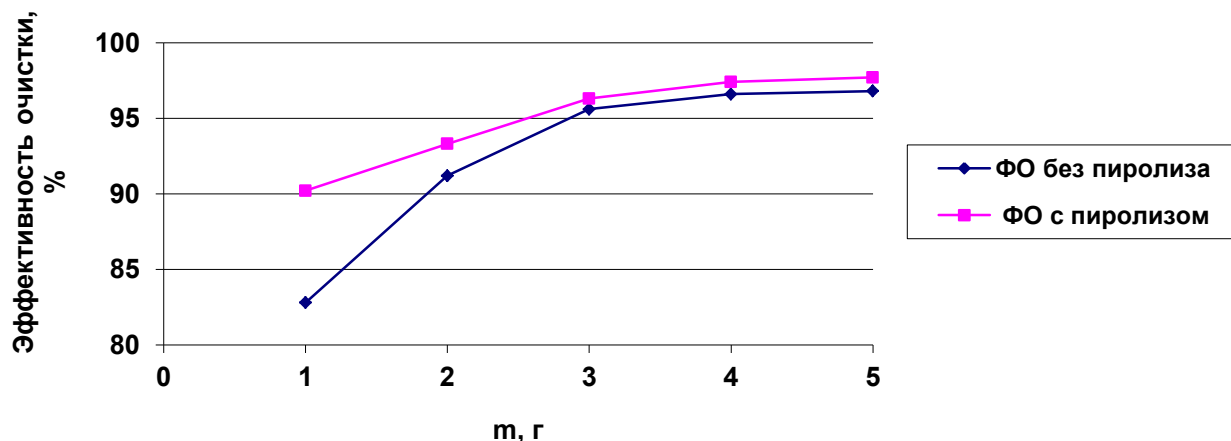


Рис 1. Зависимость эффективности очистки модельных растворов (МР) от массы добавления ФО (100 мл МР; 15 мин; $t = 20^\circ\text{C}$)

Длительность перемешивания в процессе очистки вод от загрязнителей имеет важное значение, т.к. характеризует скорость взаимодействия сорбента. Для определения наиболее рациональной длительности мы подвергли модельные растворы длительному временному интервалу. В пробу раствора объемом 100 мл внесли навеску ФО 450⁰С массой 2 г и осуществляли перемешивание в течение 30 мин, фиксируя показатель эффективности очистки каждые 2 мин. (рис. 2).

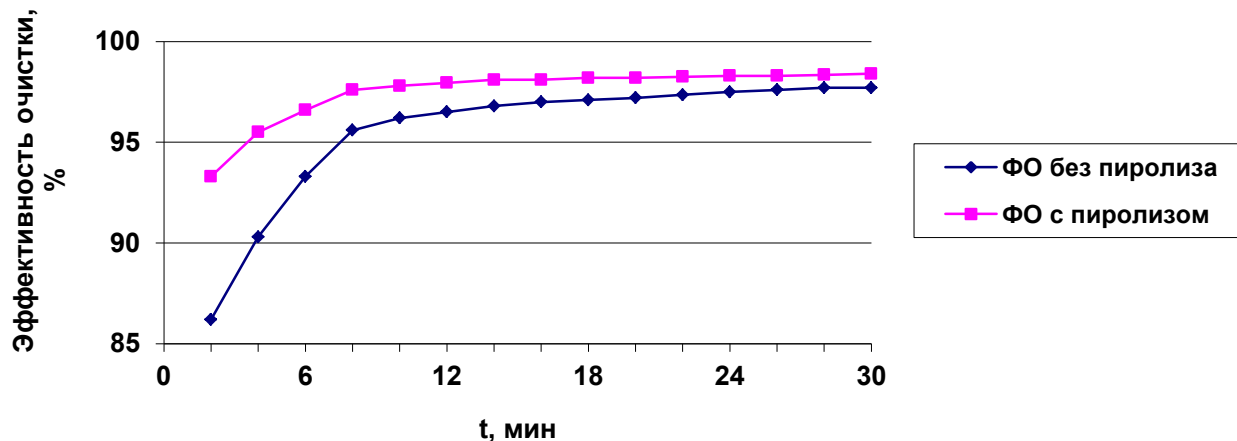


Рис. 2. Зависимость эффективности очистки модельных растворов (МР) от длительности перемешивания (100 мл МР; 2 г ФО; $t = 20^{\circ}\text{C}$)

Как видно из графика на рис. 2, в интервале времени от 2 до 10 мин, наблюдается стремительный рост эффективности очистки с 86 и 93 %, после 10 мин. - до 96 и 98 %. Следовательно, интервал взаимодействия 10 мин можно считать достаточным для достижения высоких показателей эффективности очистки.

Нами установлено, что эффективности очистки зависит и от температуры обжига ФО. Для этого готовили навески ФО около 50 г каждая и обжигали в муфельной печи при различных температурах от 100 до 800°C , с шагом в 100°C . Период термического воздействия для обеих проб составил 30 мин. Потом обожженные пробы ФО двумя способами использовали для очистки модельных растворов. Масса добавки ФО в обоих случаях составила 2 г.

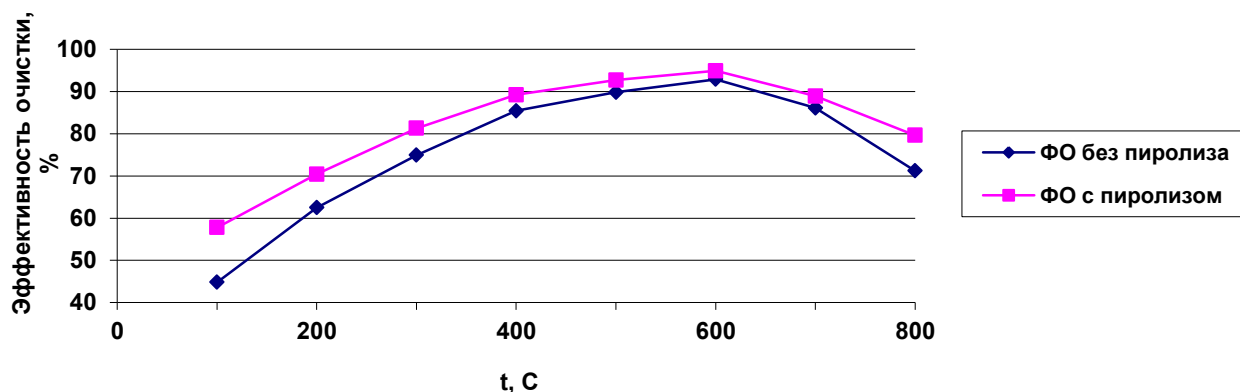


Рис. 3. Зависимость эффективности очистки модельных растворов от температуры обжига ФО (100 мл МР; 15 мин; 2 г ФО; $t = 20^{\circ}\text{C}$)

Из рис. 3 видно, что на начальных этапах эксперимента эффективность очистки невысока и составляет 44 и 57 % для раствора красителя метиленовый оранжевый с концентрациями 25 и 50 мг/дм^3 . Однако с увеличением температуры обжига происходит значительное возрастание эффективности. В интервале от 100 до 450°C она увеличивается до 88-92 %, при этом при температуре 600°C наблюдается максимум эффективности. На отрезке от 600 до 800°C эффективность очистки снижается на 22 и 15 % для концентрации в растворе 25 и 50 мг/дм^3 , что, вероятно, связано с выгоранием углерода, т.к. начало процесса сгорания находится на 615°C , а максимум - на 670°C . Таким образом, из полученных результатов следует, что наиболее оптимальной температурой обжига является значение в 450°C .

Для определения наиболее рациональной длительности обжига ФО подвергли термической обработке в интервале от 5 до 60 мин, с шагом 5 мин. При анализе растворов красителя использовались растворы с концентрациями 25 и 50 мг/дм^3 с добавлением ФО массой 2 г на 100 мл. Перемешивали суспензию в течение 15 мин.

Как видно из рис. 4, первые 5 мин обжига не дают нам необходимой эффективности очистки. При этом наблюдается рост с максимальными показателями 92 и 95 % на 20-ой минуте обжига. Затем и до 40-ой мин опыта эффективность обеих концентраций снижается на 7 %. Дальнейшая убыль ограничена всего 1 % эффективности.

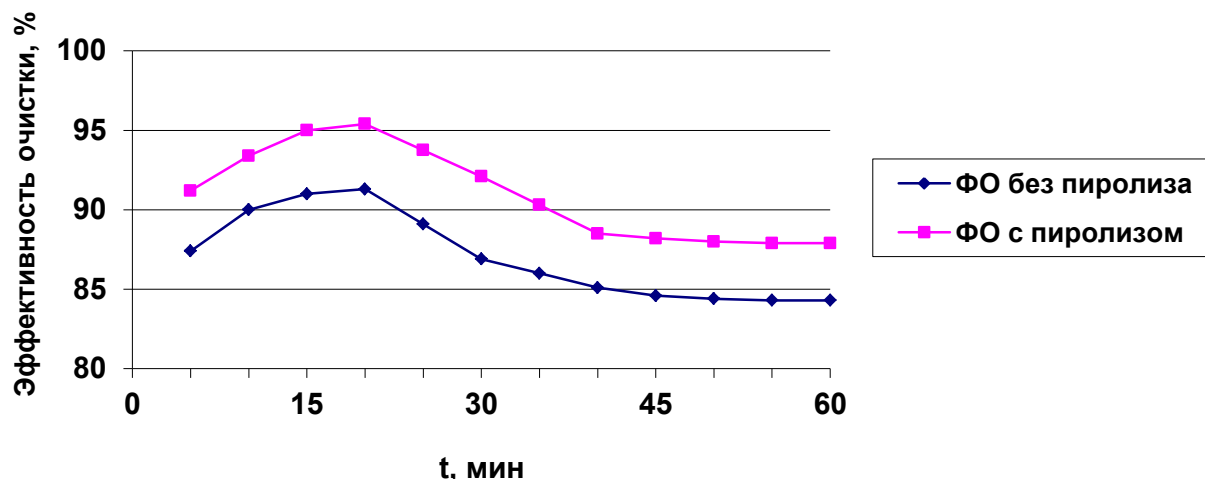


Рис. 4. Зависимость эффективности очистки модельных растворов от продолжительности термического воздействия (100 мл МР; 2 г ФО; 15 мин; $t = 20^{\circ}\text{C}$)

Вывод. Получен сорбент. При обжиге пиролизным способом новообразующего ФО в течение до 30 мин при температуре 450°C образуется сорбент с более эффективным сорбционным свойством.

Исследовано влияние на эффективность очистки таких факторов, как: масса добавки ФО; длительность перемешивания суспензии; температуры и продолжительности термической обработки; роли углерода в процессе очистки. Установлено, что максимальная эффективность очистки достигается при массе добавки ФО 2 г на 100 мл раствора, длительности перемешивания 10 мин и температуре обжига 450°C в течение 20 мин. Предлагаемый способ очистки является перспективным для очистки сточных вод от красителей.

Список литературы

1. Бородин В. Ф. Химия красителей / Б. С. Бородин – М.: Химия, 1981. – 248с.
2. Ласков Ю. М. Очистка сточных вод предприятий кожевенной и меховой промышленности / Ю. М. Ласков, Т. Г. Федоровская. – М.: Пищевая и легкая промышленность, 1984. – 200 с.
3. Сатыбалдиева Д.К., Шатемиров К.Ш. Применение отходов свеклосахарного производства в качестве коагулянтов //Химия и технология воды, 1981, №3, с.442-443.
4. Чериков С.Т., Молдокулов Н.А., Водолазская Н.Н. Разработка конструкции пиролизного реактора для переработки углеродсодержащих отходов // Вестник КГУСТА им. Н. Исанова. –Бишкек, 3(37)/2012.
5. Сатыбалдиева Д.К. Удаление полигалактуроновых кислот и сапонина из сточных вод сахарного производства при обработке их прокаленным дефекосатурационным осадком //Пищевая промышленность, ЦНИИТЭИ пищепром, 1983, №3, с.14-16.
6. Свергузова Ж.А. Получение и коллоидно химические свойства сорбента на основе твердого отхода сахарной промышленности. Канд. дисс. - Белгород. Белгородск. гос. техн. университет, 2008. -123 с.

References

1. Borodkin VF Chemistry dyes / BS Borodkin - M.: Chemistry, 1981. - 248s.
2. Laskov YM Wastewater enterprises of leather and fur industry / YM affection, TG Fedorovskaya.- M. : Food and Light Industry, 1984. - 200 p.
3. Satybaldiyeva DK, KS Shatemiroy The use of waste sugar production as coagulants // Chemistry and technology of water, 1981, №3, s.442-443.
4. Cherikov ST, Moldokulov NA, NN Vodolazskaya Development of the construction of the pyrolysis reactor for processing carbon-containing waste // Bulletin KSUCTA them. N. Isanova. -Bishkek, 3 (37) / 2012.
5. Satybaldiyeva DK Removal of polygalacturonic acid and saponin from the wastewater of sugar production in the processing of their calcined defekosaturatsionnym sediment // Food Industry, TSNIITEI food industry, 1983, №3, s.14-16.
6. JA Sverguzova Obtaining and colloid chemical properties of the sorbent based on solid waste sugar industry. Cand. diss. - Belgorod. Bashkortosta. Gos. tehn. University, 2008. -123 p.

ВЛИЯНИЕ АРХИТЕКТУРЫ НА ДИЗАЙН КОСТЮМА

Маслянова Фатима Ибрагимовна, и.о.доц. КГТУ им. И.Раззакова, Кыргызстан, 720044, г. Бишкек, пр.Мира, 66, e-mail: maslyanova66@mail.ru

В статье рассмотрено развитие архитектуры как формы изобразительного искусства, и ее влияние на дизайн костюма. Приведены общие принципы формообразования и выразительные средства, применяемые как в архитектуре, так и в дизайне костюма. В качестве примера рассмотрены работы архитекторов XIX-XX вв., которые экспериментировали с дизайном женской одежды.

Ключевые слова: дизайн костюма, одежда, мода, пропорция, художественный стиль, декор, образ, фактура, орнамент.

INFLUENCE OF ARCHITECTURE IN DESIGNING SUIT

Maslyanova Fatima Ib., Kyrgyzstan, 720044, Bishkek, KSTU named after I.Razzakov, e-mail: maslyanova66@mail.ru

The article deals with the development of architecture as a form of visual art, and its influence on design costume. General principles of formation and means of expression are used in the architecture and design of the costume. As an example, work of architects of XIX-XX centuries, Who were experimenting with the design of women's clothing, are considered.

Keywords: costume designing, clothing, fashion, proportion, art style, decor, image, texture, pattern.

В современном мире всё взаимосвязано. Научный и технический прогресс всё больше и больше проникает в область искусства, архитектуры и моды. С каждым днем мы всё больше приближаемся к «будущему» с фантастическими постройками, «умной» техникой и одеждой, которая может менять форму, цвет, температуру. Безусловно, в первую очередь на моду оказывает огромное влияние архитектура. Ибо она всегда является «лицом» времени. На сегодняшний день в мире моды возник термин «архитектурный крой» и большое количество дизайнеров объединились для поиска новых форм и создания интересных проектов. Архитектура, как форма изобразительного искусства очень часто является главным источником многих мировых дизайнеров. Наблюдая за мировыми зданиями, восхищаясь их сложностью и красотой, мы убеждаемся в том, насколько этот вид искусства ценен. То, что архитектура и мода взаимосвязаны, это видно на примере известных зданий и коллекций одежды, как мода и архитектура развивались бок о бок, как некоторые элементы перетекали из одного в другое. Выявив сходство по многим из них, представив одежду и здания объектами, выполняющими, по сути, одну и ту же роль: «в моде и архитектуре совершенно разные масштабы применения, однако основной мерой этих сфер искусства считается человеческое тело»[1].

Сегодня, в новом времени, когда прогресс во всем происходит большими темпами, архитектура и мода стали намного ближе.

Самые первые зодчие были во власти простых форм и прямых линий. Это обуславливалось трудностями при строительстве зданий и маленькими возможностями материалов. Сегодня же, при помощи компьютерных технологий и научно-технического прогресса, возможности стали неограниченны.

В основе произведений любого архитектурного искусства лежат формообразующий фактор, структура, строение, которые преобразованы в художественный образ. Принципы формообразования в архитектуре и дизайне костюма сходны, их связь можно проследить во многих областях, особенно четко в текстуре. Оба эти вида искусства бифункциональны. Они выполняют как утилитарную, так и художественную функцию. В костюме, так же как и в архитектуре, эстетические, конструктивные и функциональные качества взаимосвязаны. Известны слова Тома Форда: «И одежда, и здания – оболочка, в которой живёт человек». Связь между одеждой и архитектурой имеет глубокие корни: и архитектура, и костюм функционально определены человеком. Как и костюм, архитектурное сооружение служит средством укрытия человека, его очага, семьи от действия непогоды. Архитектура и мода в одежде не только основываются на одних и тех же идеях, они даже используют одинаковые профессиональные термины: фактура, орнамент, эскиз, размер, образ. Основные выразительные средства, применяемые как в архитектуре, так и в костюме, – композиция, тектоника, пластика объемов, масштабность, ритм, пропорциональность, а также фактура и цвет поверхностей материалов. Для архитектуры, как и для костюма, характерно качество ансамблевости. Принципы организации архитектурных масс, линий, формы, пропорциональности членений здания, проявление свойств материалов (не только тектонических, но и фактурных) аналогично проявляются в линиях и членении объемов костюма, его ритмическом построении, характере применения материала. Здесь можно привести слова мирового дизайнера Коко Шанель: «Мода, как и архитектура, – вопрос пропорций». Обязательным свойством объектов архитектурных искусств высокого эстетического уровня является их оригинальность. Форма нового изделия должна обладать индивидуальным, неповторимым обликом.

В каждую эпоху развития человечества формировались определенные художественные стили. Во всех исторических художественных стилях прослеживается стилевое единство костюма и архитектуры, ее элементов и декора помещений, следовательно, схожи и приемы архитектоники, являющиеся важным элементом стиля. Между костюмом и архитектурой существует стилевая связь, которая выражается в общности образного решения, сходства силуэтов, принципиальной схемы внутренних членений. Архитектура возглавляет перечень искусств в границах художественного стиля, а костюм его завершает. Архитекторы и дизайнеры используют одни и те же источники информации, вдохновляют друг друга, обмениваются идеями. Диалог моды и архитектуры особенно мощно проявился в конце XIX–начале XX вв., во времена модерна, когда архитекторы – Петер Беренс, Анри Ванн де Велде и Фрэнк Ллойд Райт – экспериментировали с дизайном женской одежды. Ив Сен Лоран, Тьерри Мюглер признавались, что архитектурному подходу в одежде они учились у одного из первых архитекторов в моде Чарльза Джеймса (1906–1978), который создал стеганые атласные пальто – прототип современной «дутой» одежды. Один из талантливейших дизайнеров 1960-х гг. Пако Раббан – архитектор по образованию. В искусстве он больше строитель, чем портной. Вместо ножниц, иголок и ниток он использовал плоскогубцы, отвертки и молотки. Тем не менее, все непластичные материалы, от металла до пластика, которые использовал художник, подобно тканям, повторяли линии тела. Опора на архитектурное прошлое помогает создавать не только монументальную, но и очень практичную, удобную одежду. Выпускник Миланского политехнического института Жанфранко Ферре, с блестящим защитивший диплом архитектора, посвятил моде всю свою жизнь. Будучи значительной фигурой в мире моды, он всегда отличался архитектурным мышлением, интеллектуальным использованием тканей и острым чутьём к настроениям времени. Ферре славился точными объёмами и совершенными формами, а его знаменитые сорочки кажутся не сшитыми, а «смакетированными» из хрустящей белой бумаги. Именно за это модельер получил прозвище «Архитектор белых блузок».

Как дизайн костюма испытывает влияние архитектуры, так и архитектура испытывает влияние моды. мода слишком влиятельна. Она всегда в поиске новых форм и материалов.

В архитектуре и дизайне костюма в наше время наблюдается расширение ассортимента используемых материалов, и сфера деятельности творчества расширяется благодаря техническому прогрессу. Крупные научно-технические открытия находят отражение в новых художественных формах и новых технологиях формообразования.

Архитектура – это «лицо» нашего времени, она влияет на всё, что связано с дизайном и с дизайном костюма в частности. Движение к упрощению внешнего облика и к усложнению содержания в технологиях несомненно для этих видов искусств. Создание одежды носит архитектурный характер, то, как её создают, от эскиза до влажной тепловой обработки, сравнимо только со строительством. Появились приталенные изделия, не имеющие рельефных швов. Можно сказать, что изделие, выглядящее простым, внутри построено как здание. Все это роднит такие, казалось бы, далёкие виды искусства, как архитектура и дизайн костюма. Несомненно их дальнейшее сближение и взаимовлияние. Уже сейчас архитекторы работают рука об руку с дизайнерами и сами становятся модельерами. Примером такого взаимопроникновения архитектуры и моды являются известные коллекции: Токийская совместная коллекция Prada - RemKoolhaas и техно-эксперимент Hussein Chalayan, создавшего коллекцию платьев, смонтированных в стулья, как неотъемлемая часть дизайна интерьера, Лондонская коллекция «Параллельная практика в Мода и Архитектуре», демонстрирующая следующий шаг в «архитектурно-модном» направлении. Шоу представляет ретроспективу 1980-х гг. и ранние графические работы архитектора Zaha Hadid. Движущиеся фигуры в одеждах составляют ступени и лестницы галереи. Алюминиевые диски – стройматериалы огромного универсального магазина – переплетаются с платьями из металлической крошки от Gianni Versace. Центральное место в коллекции отведено структурированной коже, обволакивающей здание Тод в Токио. Костюмы от Ralph Rucci поражают техникой швов, которые ассоциируются с инженерными конструкциями подвесных мостов. Недаром костюм называют движущейся архитектурой. Вот так сегодня видится модельерам влияние архитектуры на моду.

Куртки с капюшоном, маски для лица и щитки предназначены для того, чтобы избавиться от страхов, связанных с жизнью в городе, обратиться к фобиям и чувству исключённости, которые побуждают человека искать защиты в архитектурном пространстве. Это первая волна самодостаточных сред, которые предоставляют носителю обогревающие элементы, музыкальные системы и коммуникативные средства. Хотя сами эти технологические системы новы, в основе их лежат старые добрые представления о том, что жилища незаменимы, чтобы свести людей вместе, дать им тепло, безопасность и защиту. Они не только расширяют первичную функцию моды как убежища, но и показывают, что мода готова принять на себя функции современного жилья. Если технология ускоряет взаимодействие между модой и архитектурой, синергия между ними могла бы даже изменить характер отношений между людьми и обществом, разделяя индивидуумов, выталкивая их в собственную скорлупу, а не объединяя в единой среде. Этот сдвиг мог бы также положить конец господству архитектуры в пространстве, поскольку мода получает способ создавать приемлемые жилища. Архитектура создает материально организованную среду, необходимую людям для их жизнедеятельности, в соответствии с назначением, современными техническими возможностями и эстетическими воззрениями общества. Как вид искусства архитектура входит в сферу духовной культуры, эстетически формируя окружение человека, выражает общественные идеи в художественных образах: представления человека о мире, времени, величии, радости, торжестве, одиночестве и многих других чувствах.

В архитектуре взаимосвязаны функциональные, технические, эстетические начала: польза, прочность, красота. Основные выразительные средства, применяемые в архитектуре, – композиция, тектоника, пластика объемов, масштабность, ритм, пропорциональность, а также фактура и цвет поверхностей материалов, синтез искусств и др. Архитектурные сооружения отражают художественный стиль эпохи, как и произведения любого другого вида искусства. Своей художественно-образной стороной архитектура отличается от простого строительства. Архитекторы создают для человеческой жизнедеятельности художественно организованное пространство, которое является возможной средой для синтеза искусств. Всемирно известные архитектурные сооружения и ансамбли запоминаются как символы стран и городов (пирамиды в Египте, Акрополь в Афинах, Колизей в Риме, Эйфелева башня в Париже, небоскребы в Чикаго, Кремль и Красная площадь в Москве и др.).

Архитектура и мода не только питаются одними и теми же идеями, они даже используют одинаковые профессиональные термины: фактура, орнамент, эскиз, размер, образ. Вопросы единого подхода в постановке творческой задачи и взаимосвязи проектной деятельности архитекторов и дизайнеров одежды интересуют искусствоведов мира и постоянно рассматриваются на страницах различных изданий. Архитектура рассматривается как макрокосмос, жизненное пространство. Мода – микрокосмос, вторая кожа, которую человек может выбрать себе сам. Архитектурное сооружение защищает человека от внешнего мира. Одежда помогает сохранить наш внутренний мир. Первым архитектуру с одеждой сравнил римский архитектор Витрувий, живший во времена императора Августа. В своем трактате «Об архитектуре» он писал: «От красоты обнаженного тела мы переходим к колоннам толщиной в одну восьмую их роста; там, где у человека ноги, – у колонны основание. Капитель похожа на человеческую голову с кудрями, она украшена витиеватым орнаментом, как венки из фруктов украшают прическу. Флюты, очерчивающие тело колонны, похожи на ниспадающие складки ткани».

Диалог моды и архитектуры достиг своего расцвета в конце XIX – начале XX веков, во времена модерна, а затем ар-деко. Архитекторы того времени – Петер Беренс, Анри ван де Велде и Фрэнк Ллойд Райт – экспериментировали с дизайном женской одежды. Это была эпоха простых форм, лишенных декора зданий с открытыми планами и текучими пространствами. Этот стиль отразился в моде благодаря Полю Пуаре. Он освободил женщин от корсета, а позднее одел в брюки и ампирные платья, которые давали свободу движениям.

Одним из первых архитекторов в моде был Чарльз Джеймс (1906–1978), который ввел в моду стеганные атласные пальто – прототип современных дутих вещей. Ив Сен Лоран, Тьерри Мюглер и Аззедин Алая признавались, что именно у него они учились архитектурному подходу к одежде. Выпускника Миланского политехнического института Джанфранко Ферре часто сравнивают с выдающимся архитектором начала XX века Фрэнком Ллойдом Райтом. Он всегда славился своими точными объемами и совершенными формами, а его знаменитые сорочки кажутся не сшитыми, а смакетированными из хрустящей белой бумаги.

Вышивка на кринолинах из коллекции Yohji Yamamoto словно заимствована с фасада ренессансного собора (Флоренция, сер. XV века) (рис. 1). Йоджи Ямамото в коллекции весна-лето 2002 почти копирует легкий и праздничный рисунок фасада собора Санта-Мария Новелла итальянского архитектора Леона Баттиста Альберти. Изящные детали в последней коллекции Gucci похожи на круглые окна, типичные для итальянского средневековья.



Рис. 1. Ренессансный собор (Флоренция, сер. XV века).

Выводы

-архитектор и дизайнер костюма используют одни и те же формы, вдохновляют друг друга, обмениваются идеями;

- связь между одеждой и архитектурой имеет и более глубокие корни: и архитектура, и костюм функционально определены человеком. Как и костюм, архитектурное сооружение служит средством прикрытия человека, его очага, семьи от действия непогоды. Принципы организации архитектурных масс, линий, формы,

пропорциональности членений здания, проявление свойств материалов – не только тектонических, но и фактурных – являются непосредственными носителями образного содержания, которые затем преломляются в линиях и членениях объемов костюма, его ритмическом построении, характере применения материала;

- между костюмом и архитектурой существует стилевая связь, которая выражается в общности, единстве образного решения, похожести силуэта, принципиальной схеме внутренних членений.

Список литературы

1. Сафонова Е.В. Архитектура и дизайн костюма о взаимовлиянии и взаимопроникновении двух видов искусства // Автореферат на соискание ученой степени кандидата наук, СФУ, г. Красноярск.
2. Бусева-Давыдова И. Л., Акимов Л. И. История искусства: архитектура, живопись, скульптура, графика, декоративное искусство. Энциклопедия архитектурных стилей. М.: Искусство XXI век, 2003. 672с.
3. Бондаренко И.А. Архитектурное наследие. Выпуск 48.М.: ЛКИ,2008. 352с.

References

1. Safonova E.V. Architecture and design of the interaction of the suit and the interpenetration of the two arts // Abstract for the degree of Candidate of Sciences, Siberian Federal University, Krasnoyarsk.
2. Buseva IL-Davydov, Akimova LI History of art: architecture, painting, sculpture, graphics, decorative art. Encyclopedia of architectural styles. M.: Art of the XXI Century, 2003. 672s.
3. Bondarenko IA Architectural heritage. Release 48.M.: LKI 2008. 352s.

ПРОБЛЕМЫ И ИННОВАЦИИ В ИНЖЕНЕРНОМ ОБРАЗОВАНИИ

УДК: 005.212. 378.1

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ РАЗРАБОТКИ СТРАТЕГИИ
РАЗВИТИЯ ВУЗОВ КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ**

Торобеков Б.Т., к.т.н., профессор КГТУ им. И. Раззакова, e-mail: bekjan2003@mail.ru

В статье приводятся результаты исследования по стратегическому управлению вузами. На основе изучения, анализа и обобщения имеющейся научно-исследовательской базы и практического опыта функционирования системы высшим образованием разработана методика формирования стратегии развития вузов. Рассмотрено современное состояние системы развития и управления высшего образования. Обоснована необходимость разработки и реализации стратегии развития вузов.

Ключевые слова: система высшего образования, управление образованием, вуз, стратегия развития, качество образования, модель управления, интеграция в мировое образовательное пространство.

**IMPROVING THE DEVELOPMENT STRATEGY OF THE UNIVERSITIES
IN THE KYRGYZ REPUBLIC**

Torobekov B.T., Ph.D., professor of KSTU I. Razzakov, e-mail: bekjan2003@mail.ru

The article presents the results of a study on strategic management of universities. Based on the study, analysis and synthesis of existing research base and practical experience of the system of higher education developed a technique of strategic development of universities. The current state of development and management of higher education. The necessity of the development and implementation of the development strategy of universities.

Keywords: system of higher education, management education, university, development strategy, the quality of education, governance model, integration educational space in the world.

Введение. Изменения в государственно-политическом устройстве и социально-экономической жизни страны требуют модернизации системы управления высшим образованием и приведение ее уровня в соответствие новым требованиям современного мира.

Ключевая роль системы высшего образования Кыргызской Республики в современных условиях модернизации экономики страны предполагает углубление реформ в системе высшего образования и улучшение его качества в перспективе с учетом создания экономики страны, основанной на знаниях.

Дальнейшее реформирование управления высшим образованием имеет целью формирование эффективной системы, обеспечивающей высокое качество, конкурентоспособность образования, его многообразие и удовлетворение запросов личности и общества, а также интеграцию в мировое образовательное пространство.

Организационной основой реализации государственной политики Кыргызской Республики в сфере образования являются Концепция развития образования в республике на 2012-2020 годы и Стратегия развития образования на 2012-2020 годы, обеспечивающие продолжение модернизации национального образования. [1].

Достижение программных целей и видения образования на перспективу обеспечивается реализацией системы мероприятий. В частности, к 2020 году предполагается создание системы стратегического планирования и управления в секторе образования, основанной на технологиях сбора и анализа информации.

При этом принятая стратегия развития для деятельности вузов имеет две основополагающие характеристики.

Во-первых, как документ директивного значения, она обозначает главные задачи для руководства к действию и решения, нацеливает на разработку соответствующего плана развития на перспективу всей структуры высшего образования и предусматривает необходимость осуществления мониторинга за выполнением планируемых показателей. Все это обуславливает разработку и внедрение системы соответствующих управленческих решений, т.е. планирование, организацию и управление деятельностью вузов в соответствии с возложенными задачами и предъявляемыми требованиями. В этом контексте одной из стратегических задач является повышение эффективности управления образованием на всех уровнях, включая уровень вуза и его структурных подразделений.

Во-вторых, форма представления и содержание самой национальной стратегии образования, охватывая большой спектр направлений системы высшего образования, может являться своеобразным макетом для разработки стратегии развития вузов страны. Также следует отметить, что поставленные задачи и планируемые показатели стратегии должны быть взаимосвязаны и сбалансированы ожидаемыми результатами деятельности образовательных учреждений.

При этом необходимо руководствоваться положением, что стратегия развития вузов выступает как логически преемственная часть стратегии развития образования страны в институциональном масштабе. Поэтому содержание разработанной стратегии и планируемые целевые задачи вуза должны соответствовать требованиям национального документа и действующему законодательству в сфере образования.

Актуальность и постановка задачи. В настоящее время многими вузами страны в целях интеграции в мировое образовательное пространство реализуются основные положения Болонского процесса. Следует отметить, что дальнейшее продвижение на пути реализации этого процесса предусматривает также активизацию деятельности вузов по разработке политики и процедуры гарантии качества. В этой связи вузам необходимо формировать свои стратегии развития, которые включают в себя программы по обеспечению качества образования. [2,3,4].

Формирование стратегии развития вузов продиктовано, с одной стороны, современными потребностями рынка образовательных услуг, вызовами времени и процессами интеграции в мировое образовательное пространство, а с другой стороны, имеющимся слабым и несовершенным уровнем управления деятельностью вузов. Глобальные изменения в обществе и экономике привели к необходимости разработки более эффективных методов организации и управления вузами, действующими в рыночных условиях экономики. Поэтому в систему высшего образования все более настойчиво проникают методы стратегического развития.

Несмотря на очевидную производственную необходимость внедрения стратегического развития высших учебных заведений в соответствии с современными требованиями образовательного процесса, в настоящее время этот процесс еще не получил должного внимания, а процедура стратегии не нашла системного применения. Вопросы стратегического управления в вузах нашей страны находятся еще в стадии накопления, первоначального анализа и осмысления.

В силу указанных причин все еще не разработан документ, регламентирующий разработку и реализацию стратегии развития образовательных организаций на институциональном уровне. В результате этого вузы испытывают определенные трудности при разработке стратегических документов. Поэтому не все вузы страны имеют свои стратегические программы развития в соответствии с современными стандартами управления образовательной системой. Нарушена преемственность логических и содержательных связей, показателей направлений деятельности между стратегиями национального уровня и институционального масштаба.

В этой связи разработка методики формирования и совершенствование стратегии развития вузов становится актуальной задачей государственной важности.

Высшее учебное заведение как социальная структура в теории и практике описана довольно обширно, цели, процессы и результаты деятельности, функции, ресурсные потребления и т.д. имеют общие подходы и критерии. В то же время каждое высшее учебное заведение на основе своего видения или под воздействием внешних требований создает свою собственную систему управления деятельностью вуза. Поэтому при одинаковых входных показателях организации производственной деятельности достигаются различные результаты, которые характеризуются применяемой в вузе конкретной моделью управления. В связи с этим следует констатировать необходимость создания оптимальной модели управления в вузе, обеспечивающей его эффективную деятельность по реализации миссии в соответствии с поставленными целями.

Результаты исследования и рекомендации. В Кыргызском государственном техническом университете им. И. Раззакова проводятся исследования по совершенствованию системы управления в вузах. По результатам исследовательской работы и с учетом обобщения мировой практики нами разработана и внедрена в практическую деятельность методика разработки стратегии развития вузов в современных условиях.

Основная цель исследования заключается в разработке методологии проектирования и формирования модели управления вузом на основе разработки и реализации стратегии развития.

Методология и методы исследования основаны на принципах системного анализа и теории современного менеджмента, сформулированных в международных стандартах.

Разработанная стратегия представляет собой модель управления развитием университета и содержит совокупность организационной структуры, методик, процессов и ресурсов, необходимых для реализации заявленной политики по направлениям деятельности, и прежде всего в обеспечении качества образования.

Стратегия вуза как модель управления его развитием должна управляться как в процессе разработки, так и реализации. Разработка стратегии представляет собой формирование плана действий, которые будут осуществлены в последующем по соответствующим направлениям деятельности. Управление разработкой стратегии, с нашей точки зрения, аналогично разработке проекта.

При разработке стратегии необходимо учесть следующие требования:

- осуществление анализа и учета исходных данных, определенных образовательной политикой в стране, внешними вызовами;
- нужно предусмотреть условия осуществления самого процесса разработки стратегии, формат, содержание и разделы документа;
- для разработки и реализации стратегии должны быть предусмотрены соответствующие ресурсы (финансовые, материальные интеллектуальные и пр.)

Управление разработкой и реализацией стратегии развития вузов является достаточно сложным процессом, который предлагаем рассмотреть по следующей модели (рис. 1.)

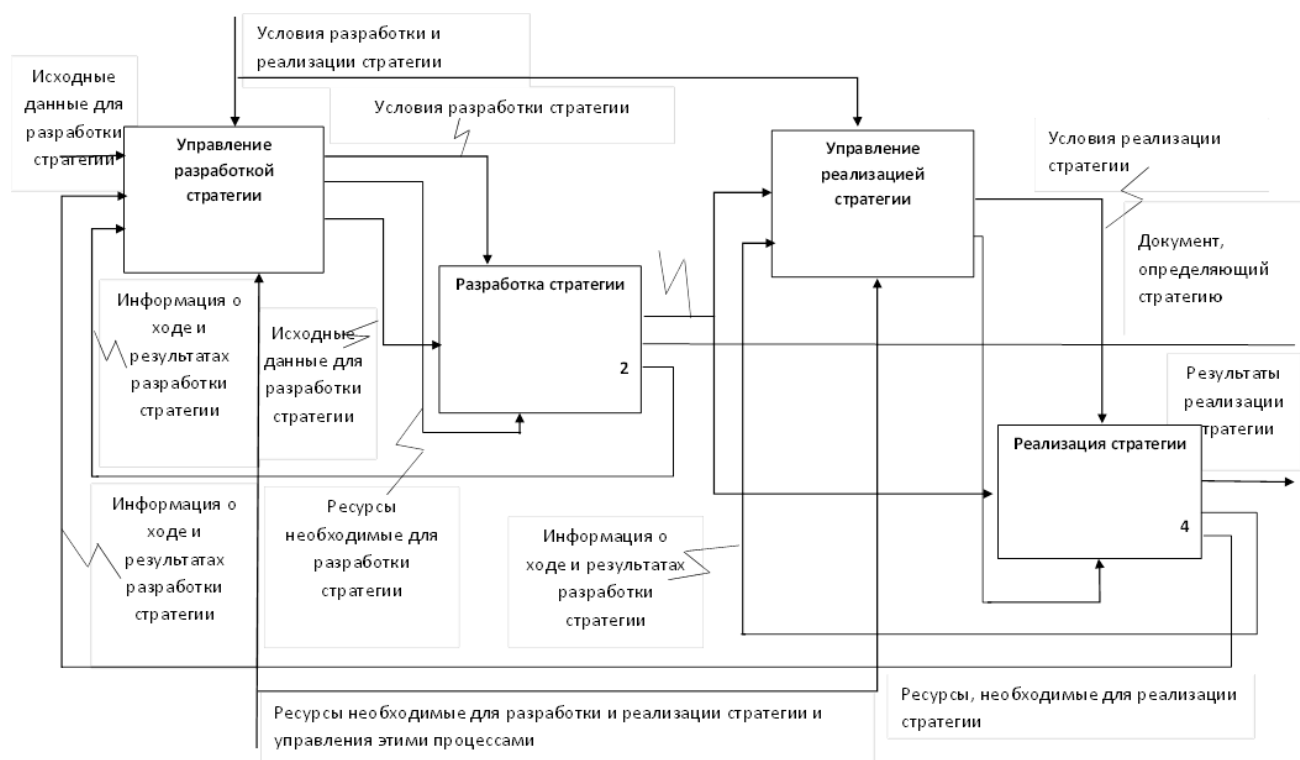


Рис.1. Модель управления разработкой и реализацией стратегии вузов

Модель показывает следующее:

- выходным параметром рассматриваемого процесса разработки и входным параметром его реализации является документ – стратегия развития вуза, состоящая из соответствующих планов и программ, которые необходимо реализовать;

- условия разработки и реализации стратегии определяются в процессе управления ими.

В соответствии с данной моделью нами предложена и реализована в практической деятельности методика разработки стратегии развития вузов, которая включает следующие основные положения:

- стратегия как своеобразная модель управления развитием вуза предусматривает формулирование целей эффективности деятельности, обоснование и выбор соответствующих задач с показателями для реализации поставленных целей;

- стратегия включает в себя соответствующие процессы и действия по модернизации деятельности вуза и оформляется в виде документа согласно определенных стандартов (требований);

- формирование структуры и содержания разработанной стратегии должно осуществляться согласно установленным порядкам и обеспечить логическую связь и преемственность ее разделов.

Выводы. Развитие современного вуза, обеспечение эффективности и качества его функционирования, в силу высокой сложности организационной структуры и управления образовательными процессами путем разработки и реализации модели вуза становится объективной необходимостью.

Список литературы

1. Стратегия развития образования в Кыргызской Республике на 2012-2020 гг. – Б.: 2012. 101 с.
2. Филиппов В.М. Управление в высшей школе: опыт, тенденции, перспективы. Руководитель авторского коллектива– 2-е изд. – М.: Логос, 2006. – 488 с.
3. Торобеков Б.Т. Методологические основы разработки стратегии развития вуза в современных условиях. Известия КГТУ им. И. Раззакова, №32 (ч. I) – Б.: ИЦ «Техник», 2014. С. 519-522.
4. Воробьев А.Е., Торобеков Б.Т. Модернизация российского высшего образования в ответ на вызовы современности: Монография. – М.: КноРус, 2014. – 230 с.
5. Разработка стратегии образовательного учреждения: Методические рекомендации / О.Б. Веретенникова, Н.В. Дрантусова, А.К. Клюев, Е.А. Князев, С.В. Кортков, В.И. Майданик, Л.А. Малышева, Л.Н. Попова / Под ред. Е.А. Князева, А.К. Клюева. – Екатеринбург, 2007. – 408 с. (Биб-ка журн. «Университетское управление: практика и анализ»).

References

1. Strategiya razvitiya obrazovaniya v Kyrgyzskoy Respublike na 2012-2020/[Education Development Strategy in the Kyrgyz Republic for]. - B.: 2012. 101 p.
2. Filippov V.M. Upravleniye v vysshey shkole: opyt, tendentsii, perspektivy. Rukovoditel' avtorskogo kollektiva– 2-ye izd. [Vladimir Filippov Management in higher education: experience, trends, and prospects. Lead Author kollektiva- 2nd ed]. - M.: Logos, 2006. - 488 p.
3. Torobekov B.T. Metodologicheskiye osnovy razrabotki strategii razvitiya vuza v sovremennykh usloviyakh. Izvestiya KGTU im. I. Razzakova. [Torobekov BT Methodological foundations of development strategy of the university today. Proceedings of KSTU. I. Razzakova], №32 (h. I) - B.: IC "Technique", 2014. S. 519-522.
4. Vorob'yev A.Ye., Torobekov B.T. Modernizatsiya rossiyskogo vysshego obrazovaniya v otvet na vyzovy sovremennosti: Monografiya. – M.: KnoRus, [Vorobiev AE, BT Torobekov Modernization of Russian higher education in response to the challenges of our time: Monograph. - M.: KnoRus], 2014. - 230 p.
5. Knyazev E.A Razrabotka strategii obrazovatel'nogo uchrezhdeniya.[Develop a strategy of educational institution].

УДК.: 377.5:67/68

К ВОПРОСУ ПОДГОТОВКИ КАДРОВ ДЛЯ ЛЕГКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Таштобаева Бурул Эшимбековна., к.т.н., доцент, e-mail: bet-75@hotmail.com.

Маслянова Фатима Ибрагимовна, доцент кафедры «Технология изделий легкой промышленности», КГТУ им. И. Раззакова, Кыргызстан, 720044, г. Бишкек, пр. Мира 66, e-mail: maslyanova66@mail.ru

В статье рассмотрены проблемы подготовки кадров и их роли в обеспечении устойчивого развития отрасли. В частности, затронут вопрос подготовки управленческих кадров как один из элементов эффективного функционирования предприятий. Даны результаты исследований по состоянию обеспечения кадрами предприятий легкой промышленности в Кыргызстане и их качественный состав. Выявлены предпочтения руководителей данной отрасли по видам повышения квалификации, а также вопросы повышения качества подготовки кадров в высших учебных заведениях.

Ключевые слова: легкая промышленность, швейное производство, кадровое обеспечение, работодатели, учебные заведения, высшее профессиональное образование, конкурентоспособность.

TO THE QUESTION OF TRAINING PERSONNEL FOR LIGHT INDUSTRY

Tashtobaeva Burul, PhD (Engineering), Associate Professor, e-mail: bet-75@hotmail.com.

Maslyanova Fatima, Professor of Department « Technology of products of light industry», KSTU named after I. Razzakov, Kyrgyzstan, 720044, Bishkek, st. Mira 66, e-mail: maslyanova66@mail.ru

In article, problems of training personnel and their role in providing a sustainable development of branch are considered. (In particular, the issue of management training is raised, as one of the elements of the effective functioning of the enterprises). The results of researches on condition of staffing of the enterprises of light industry in Kyrgyzstan and their qualitative structure were presented. Preferences of heads of this branch by types of professional development, and also questions of improvement of quality of training personnel in universities.

Keywords: light industry, sewing production, staffing, employers, educational institutions, higher education, competitiveness.

Легкая промышленность республики, в том числе текстильно-швейная отрасль, является одной из приоритетных отраслей экономики страны. Многие предприятия текстильно-швейной отрасли успешно развиваются, повышая конкурентоспособность продукции, улучшая показатели финансовой деятельности и совершенствуя методы управления производством.

Объем экспорта продукции легкой промышленности ежегодно увеличивается, как сообщил на международной конференции «Кыргызстан на пути к евразийской интеграции» бывший заместитель министра энергетики и промышленности Сапарбек Асанов: «...До 90 % швейной продукции производят частные предприятия. В Кыргызстане созданы хорошие условия для этой отрасли, и что экспорт швейной продукции занимает третье место после золота и сельскохозяйственной и пищевой промышленности» [1].

Сегодня швейная отрасль Кыргызстана – это более тысяч малых и средних предприятий, где занято около 300 тысяч человек, из них 150 тысяч - швеи. Деятельность этих швейных и трикотажных предприятий курируют две ассоциации - «Легпром» и «Союзтекстиль». Основными рынками сбыта их продукции являются Россия и страны ближнего зарубежья. Швейная продукция со знаком «Изготовлено в Кыргызстане» на сегодняшний день приобрела устойчивую популярность, как на внутреннем, так и на рынках многих стран.

По данным исследований Международного центра по торговле, около 2% российского рынка одежды обеспечивает Кыргызстан. В перспективе потенциал КР в текстильно-швейном производстве будет расти и впредь, поскольку вступление Кыргызстана в Таможенный союз обеспечит свободное перемещение товаров по территории других стран. По оценкам международных экспертов у Кыргызстана есть хорошие возможности использовать имеющиеся ресурсы данной отрасли, чтобы наполнить внутренний рынок и выйти на внешние экспортные рынки.

Многие производители одежды в нашей стране научились производить модную, качественную одежду, освоили технологии продаж. Это такие предприятия как «Александра-мода», «Назик», «Е- Linemoda», «Ардамина» и др. Тем не менее, большинство предприятий все еще находится на стадии становления, а современный рынок одежды становится все более динамичным, появляются новые фирмы - производители, меняются предпочтения потребителей и покупатели становятся более капризными. В таких условиях предприятиям работать очень сложно. Они вынуждены ускорять темпы работы для того, чтобы не потерять свои позиции на рынке. В условиях усиливающейся конкуренции ассортиментная политика, качество выпускаемой продукции и скорость поступления новых моделей в продажу становятся важным элементом в конкурентной борьбе.

С целью укрепления конкурентных позиций отрасли разработана Программа развития текстильного и швейного производства (ТШП) на 2013–2015 годы и в настоящее время она успешно реализуется.

В данной Программе особое значение придается формированию благоприятных условий для развития текстильного и швейного производства, прежде всего, в регионах республики, что, несомненно, должно найти отражение в росте профессионального уровня местного населения и сокращения внутренней и внешней миграции. Немаловажное значение придается развитию экспорта, освоению новых рынков сбыта, подготовке кадров для отрасли, активизации социального диалога между предприятиями ТШП и государственными органами, а также увеличению доли отечественных товаров на внутреннем рынке.

Однако, несмотря на многочисленные положительные результаты в отрасли, многие предприятия отрасли находятся в трудном положении из-за различных проблем. Основными проблемами в отрасли остаются технологическая отсталость, зависимость от импортного сырья, высокие ставки по кредитам, низкая конкурентоспособность отечественной продукции, появление контрафактной продукции на рынке, недостаток квалифицированных кадров.

Одной из приоритетных задач и направлений развития ТШП в КР является подготовка рабочих кадров и специалистов низшего, среднего и высшего звена.

В этом направлении требуется усиление потенциала учебных заведений разного уровня. Особая роль должна быть отведена вопросам координации и взаимодействия учебных заведений и предприятий в сфере кадрового обеспечения ТШП. В частности, необходимо увеличение численности обучаемых по специальностям: швея, закройщик, вязальщик, наладчик оборудования - в системе профессионально-технического образования по краткосрочной программе, нужно рассмотреть возможность создания учебно-производственных комплексов на базе существующих профессиональных лицеев и производств. Целесообразно увеличить количество студентов, направляемых на учебу в вузы России, Беларуси и Турции по указанным направлениям [2].

На сегодня однозначно, что учебные заведения и предприятия отрасли должны объединить усилия в подготовке кадров для отрасли.

Современные предприятия функционируют в условиях, которые изменяются из-за влияния многих факторов, таких как глобализация, постоянные новшества в области техники и технологии, требующих быстрого реагирования и правильной ориентации. В таких сложившихся условиях возникает потребность в профессионалах, обладающими высокими знаниями, навыками, а также способностью эффективно управлять. Несомненно, успех в эффективном управлении производством в немалой степени зависит от уровня подготовки управленческих кадров. Подготовка специалистов легкой промышленности привлекает пристальное внимание отечественных исследователей и предпринимателей. Данной проблеме посвящены многие диссертационные исследования.

Между тем, подготовка специалистов легкой промышленности основана на узко-профессиональном подходе, она не развивает комплекс индивидуальных качеств личности, не учитывает часто меняющиеся задачи, возникающие в процессе профессиональной деятельности. Общество заинтересовано в специалистах нового типа, ориентированных на нужды тех, кто будет пользоваться продукцией их профессиональной деятельности [3].

Анализ современного состояния и перспектив отечественной легкой промышленности показывает, что изменения в ее развитии влечет за собой преобразования в подготовке кадров. Новые требования к деятельности образовательных учреждений, задаются современной производственной системой, новыми аспектами деятельности предприятий и новыми функциями специалистов, осуществляющих профессиональную деятельность.

Удовлетворенность потребности производства в высококвалифицированных кадрах возможна в условиях активизации взаимодействия предприятий отрасли с системой профессионального образования, что обуславливает рыночную ориентацию подготовки специалистов, способных осваивать новые виды профессиональной деятельности.

Сегодня для успешного развития ТШП, нужны не только материальные ресурсы. Важное значение для реализации программы развития легкой промышленности имеют человеческие ресурсы и, особенно, профессионализм коллектива предприятия. Кадры становятся важнейшим капиталом предприятий, именно специалисты являются носителями ключевых компетенций, влияющих на уровень конкурентоспособности и дохода предприятия. Высококвалифицированные сотрудники представляют основную ценность компаний, производящих одежду. Наличие таких специалистов является одним из основных факторов успешности деятельности предприятий.

Для эффективного управления предприятием необходима хорошая профессиональная подготовка. С целью выявления потребности в подготовке управленческих кадров для легкой промышленности нами проведен социологический опрос среди 30 руководителей швейных предприятий г. Бишкек. В ходе опроса выяснились следующие половозрастные показатели:

- 70% возглавляют предприятия женщины;
- руководители до 40 лет - 25%;
- от 41- 50 лет 30%;
- от 51 и выше – 45%.

При исследовании определены также юридический статус действующих в КР предприятий (рис.1) и уровень квалификации и образования их руководителей (рис.2 и 3).

Подготовку и обучение швей, закройщиков и модельеров среднего звена в КР осуществляют учебный центр «Швей-Профи», около 50 учебных заведений начального профессионального образования, а также различные краткосрочные курсы. Учебный центр «Швей-Профи» был создан по инициативе Ассоциации «Легпром» и при поддержке международных доноров, в г. Бишкек, как центр подготовки специалистов для швейно-трикотажной отрасли.

Подготовка кадров высшего звена (инженеров-конструкторов, инженеров-технологов, дизайнеров) в КР готовят в нескольких вузах, в том числе в КГТУ.

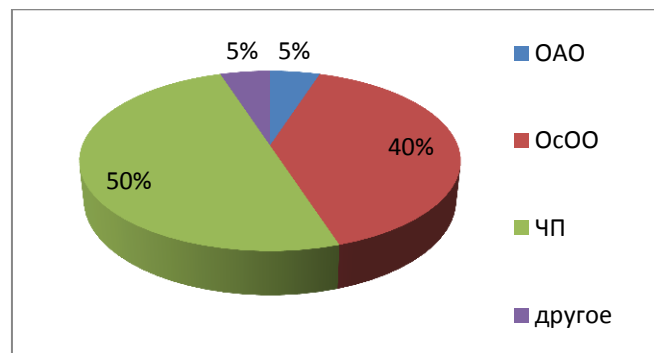


Рис.1. Юридический статус предприятия (фирмы).

Следует отметить, что большинство абитуриентов охотно выбирают профессию в области швейной промышленности, особенно, дизайнера по художественному проектированию костюма.

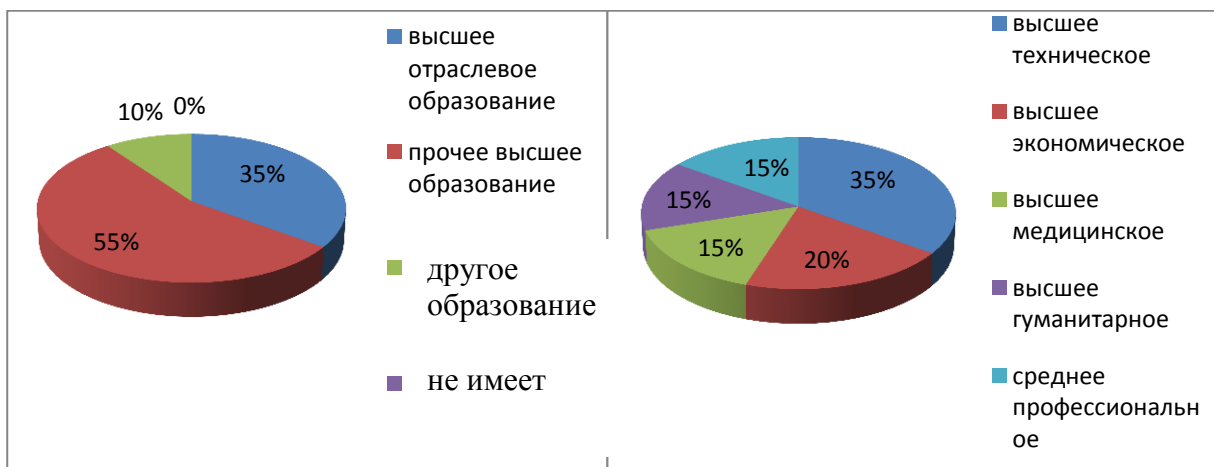


Рис.2-3. Образование руководителей предприятий швейной отрасли

Из проведенных данных (рис.2) видно, что только 35% руководителей швейных предприятий имеют соответствующее отраслевое высшее образование. 55% руководителей швейных предприятий имеют прочее

высшее образование в разных областях деятельности. Следует отметить также, что среди руководителей предприятий 15% составляют выпускники, имеющие среднее профессиональное образование швейной отрасли.



Рис.4. Дополнительное и послевузовское образование, которое желают получить руководители отрасли

86% респондентов понимают и считают, что элементом успешной хозяйственной деятельности является высокая профессиональная подготовка кадров. 70 % респондентов имеют желание получить дополнительное профильное образование через курсы повышения квалификации, 25% руководителей хотели бы продолжить обучение в магистратуре. В основном это руководители в возрасте от 25-30 лет. Интерес ко второму высшему образованию (5%) проявили руководители, имеющие высшее медицинское и гуманитарное образование.

Однако традиционная система образования и образовательные программы не дают достаточно знаний о существующих производственных ситуациях, об эффективном управлении и факторах, влияющих на успех предприятия. Кыргызские предприниматели главным образом приобретают свой опыт на собственных ошибках. Нехватка экономических навыков в малом и среднем бизнесе может стать серьезным препятствием выхода бизнеса на международный уровень. Предпринимателям необходимо улучшить свои навыки в управлении бизнесом, планировании, контроле и маркетинге. Нужны новые образовательные программы. Необходимо совершенствование существующих программ.

Здесь необходимо отметить, что без согласованных действий учебных заведений и предприятий невозможно поднять конкурентоспособность отрасли на должный уровень. В современных условиях конкуренции учебные заведения и предприятия должны объединить усилия в подготовке кадров для отрасли. Университет дает много теоретических знаний, а практических недостаточно для того, чтобы после окончания вуза успешно трудиться на предприятии. Теория и практика должны быть рядом и изучаться параллельно студентами. Предприятия могли бы сыграть огромную роль в повышении практических навыков будущих специалистов отрасли, предоставляя производственные площадки для проведения производственной и преддипломной практики. Кроме этого, они имеют возможность во время проведения практики решить свои кадровые вопросы.

В стратегии развития текстильной и легкой промышленности КР отмечено, что образовательным учреждениям необходимо стремиться к предоставлению услуг, соответствующих международным стандартам и удовлетворяющим потребности рынка труда.

Министерство образования и науки, а также вузы, в свою очередь, делают серьезные шаги по повышению качества образовательных услуг. Начиная с 2003 г., в КР проводятся работы по присоединению системы высшего образования к Болонскому процессу. В основу этого процесса взята кредитная технология обучения, которая должна обеспечить его непрерывность, аккумуляцию учебных достижений и взаимопризнание образовательных программ.

В целях интеграции в международное образовательное пространство и обеспечения требований потребителей образовательных услуг в современных условиях в стране с 2010 года проводятся работы по обновлению реализуемых образовательных стандартов. К обновлению существующих стандартов привела также необходимость укрупнения направлений профессиональной подготовки специалистов. Требования рынка труда и технологии, используемые в производстве, постоянно обновляются, а подготовка специалистов осуществляется по узконаправленным профессиям (на конкретное рабочее место). К примеру, работодатель требует специалиста художника, конструктора и технолога швейного производства в одном лице.

В соответствии с постановлением правительства КР (№496) от 23.08.2011 г. «Об установлении двухуровневой структуры высшего профессионального образования в Кыргызской Республике» с 2011-12 учебного года в стране введена многоуровневая система высшего образования по подготовке кадров. Данным постановлением утверждены перечень наименований направления подготовки бакалавров, магистров и специальностей в республике, а также макеты ГОС бакалавров, магистров и специальностей.

В последние два года вновь созданные Министерством образования и науки Учебно-методические объединения разработали проекты Государственных образовательных стандартов (ГОС) по подготовке бакалавров и магистров на основе утвержденных макетов.

КГТУ является базовым вузом в стране по разработке ГОС по техническим направлениям, в т.ч. по направлениям «Технология и конструирование изделий легкой промышленности» и «Искусство костюма и текстиля». Одним из отличий ГОС нового поколения являются выраженный компетентностный характер и установление новой формы исчисления трудоемкости в виде кредита ECTS (European credit transfer system) вместо часовых эквивалентов. Основной проблемой при разработке стандартов является связь с производством, т.к. компетенции должны определяться согласно требованиям рынка труда. Образовательными учреждениями разработан метод определения компетенций путем анкетного опроса работодателей и выпускников вуза. Выявлено, что метод является не эффективным, нужны другие методы работы с работодателями.

Существуют и другие проблемы взаимодействия образовательных учреждений с работодателями. С каждым годом все труднее организовать практику студентов, особенно преддипломную. В то время как именно во время преддипломной практики студенты должны углубить и закрепить знания, полученные в период обучения в вузе и практически подготовиться к самостоятельной работе в должности инженера – технолога, конструктора или дизайнера. Составить полный, правильный отчет по практике в соответствии с программой представляется очень сложным для студента, так как одни предприятия на период практики закрываются, другие только открываются, кроме того у многих руководителей нет профильного образования. Причинами отказа проведения практики они объясняют нехваткой свободного времени, нет свободных специалистов для работы со студентами, они не желают делиться своим опытом и достижениями, нечего показать и рассказать и т. д. Лишь немногие руководители предприятий понимают, что студенты-выпускники не представляют угрозы для их деятельности и, даже используют потенциал молодых специалистов. На практике многие успевающие выпускники трудоустраиваются на местах прохождения преддипломной практики или получают приглашения на работу в будущем после окончания вуза.

Именно в процессе практики, в реальных производственных условиях формируются способности принимать экономически грамотные, целесообразные и перспективные решения, проявлять самостоятельность и ответственность принятия решения. Поэтому руководители предприятий должны подойти с пониманием и всей ответственностью к вопросу подготовки кадров для своей отрасли.

Выводы. Анализ официальной статистики и данных опросов руководителей предприятий отрасли позволил выделить ряд основных проблем в сфере образования, которые сказываются уже сегодня или скажутся на дальнейшем развитии отрасли и экономики страны в целом:

- трудности с обеспечением производства квалифицированными рабочими и специалистами в силу их дефицита на рынке труда;
- несоответствие профессиональной подготовки рабочих и специалистов потребностям рынка труда;
- недостаточное материально-техническое оснащение учебной базы;
- проблемы в организации повышения квалификации профессорско-преподавательского состава;
- слабое взаимодействие вузов с рынком труда;
- недостаточная заинтересованность предприятий в совместной подготовке кадров;
- проблемы в организации прохождения всех видов практики;
- недостаточный уровень подготовленности выпускников школ;
- отсутствие единой стратегии в подготовке кадров и осуществлении непрерывного образования.

Работодатели и образовательные учреждения надеются, что проводимые в стране реформы высшего профессионального образования эффективно повлияют на подготовку конкурентоспособных специалистов, способных результативно использовать знания, умения, навыки и способности в процессе осуществления профессиональной деятельности.

Список литературы

1. Асанов С. Кыргызстан на пути к евразийской интеграции: [Электронный документ].- (<http://www.knews.kg/econom/29867/>)
2. Программа развития текстильного и швейного производства Кыргызской Республики на 2013-2015 годы. Постановление Правительства КР №123 от 6.03.2013.
3. Бородин Ю.И. Компетентностно - ориентированный подход к подготовке конкурентоспособных специалистов для легкой промышленности: Кандидатская диссертация / Ю.И. Бородин - Самара, 2006. – 206 с.

References

1. Asanov S. Kyrgyzstan on the way to the Euroasian integration: [Electronic document].- (<http://www.knews.kg/econom/29867/>)
2. The program of development of textile and sewing production of the Kyrgyz Republic for 2013-2015. Resolution of the government of KR No. 123 of 6.03.2013.
3. Borodin Yu.I. Competence focused approach to training of competitive experts for light industry: Master's thesis / Yu.I. Borodin - Samara, 2006. – 206 p.

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ

1. В журнале публикуются материалы на кыргызском, английском и русском языках по тематике, соответствующей утвержденным для журнала отраслям наук и тематическим рубрикам.
2. Редколлегия принимает к рассмотрению следующие виды материалов:
 - а) статьи с результатами оригинальных исследований и разработок;
 - б) обзорно-аналитические статьи;
 - в) информацию о результатах научных, научно-производственных и научно-методических мероприятий по тематике журнала, которые проводились на базе КГТУ им. И.Раззакова;
 - г) сведения о юбилейных датах.
3. Объем публикаций для пунктов «а» и «б» должен быть не меньше 5 и не больше 16 страниц, для остальных видов материалов – не более 2 страниц.
4. Информация по пунктам «в» и «г» считается не научными публикациями, а информационными материалами. Такие материалы могут публиковаться от имени редакции журнала или конкретных авторов (соавторов). В списки научных работ авторов они не должны включаться.
5. Сроки экспертного рассмотрения редколлгией поступивших статей – не более 1 месяца.
6. Публикация материалов осуществляется в основном в порядке их поступления в редколлгию журнала. Однако редколлегия может принимать решения и о внеочередной публикации особенно важных или актуальных материалов.
7. Содержание каждой статьи должно включать следующие блоки (разделы):
 - Название статьи и сведения об авторах.
 - Аннотацию и ключевые слова. Объем аннотации – от 100 до 250 слов. Количество ключевых слов – от 8 до 12.
 - Название статьи, сведения об авторах, аннотацию и ключевые слова на английском языке (для англоязычных статей – на русском).
 - Введение должно заканчиваться формулировкой цели работы.
 - Собственно текст статьи – при необходимости с заголовками разделов (подразделов).
 - Выводы или заключение (должны соответствовать формулировке цели статьи).
 - Для русскоязычных статей – библиографический список на языках оригиналов статей и дополнительный список с транслитерацией на латиницу.
8. К содержанию статей предъявляются следующие требования:
 - 8.1. Количество авторов (соавторов) не должно превышать четырех. В обоснованных случаях это количество может быть увеличено, но при этом соавторы дополнительно должны представить обоснование с характеристикой содержания/объема работы, выполненной каждым из них. В список соавторов работ включаются только те, которые внесли творческий вклад в подготовку представленных материалов. Лицам, оказавшим только техническую помощь, можно выразить благодарность в конце статьи.
 - 8.2. К статье приводится два списка литературы: первый – на языке оригиналов работ, второй – с транслитерацией первого списка на латиницу согласно правилам в журналах из списка SCOPUS (References).

В первом списке порядок следования источников – сначала русскоязычные, затем иноязычные. В обоих сегментах первого списка (русскоязычном и иноязычном) сортировка источников должна быть выполнена по алфавиту.

Во втором списке (на латинице) порядок следования источников должен совпадать с первым списком. В списке на латинице, помимо транслитераций названий статей и журналов, необходимо в квадратных скобках дополнительно приводить их переводы на русский язык.

Количество источников в списке литературы в представляемых статьях – не менее пяти. Верхняя граница количества источников не лимитируется. В список литературы целесообразно включать только источники, имеющие прямое отношение к теме/содержанию статьи и с момента опубликования которых прошло не более пяти лет.

На все источники, включенные в список литературы, должны быть даны ссылки в тексте статьи – в виде номеров источников внутри квадратных скобок. Если ссылка дается на несколько источников, то внутри квадратных скобок они перечисляются через запятую. При необходимости авторы могут указывать номера страниц в источниках. Приветствуются ссылки на иноязычные источники, а также на материалы, опубликованные ранее в журнале «Известия КГТУ».

Наличие в статьях ссылок на иноязычные источники, которые составляют преобладающую часть научных публикаций в мире, отражает знакомство авторов с зарубежными публикациями, современным мировым уровнем исследований. Отсутствие таких ссылок может оправдываться спецификой отдельных статей, посвященных исключительно внутриреспубликанской проблематике. Количество ссылок на учебники и учебные пособия необходимо ограничить, так как они не рассматриваются в качестве научных публикаций.

Ссылки в библиографическом списке на материалы, размещенные в Интернете, допускаются при соблюдении следующих условий:

- если у материала, на который дается ссылка, имеется автор и/или название, то они должны быть указаны для источника;
- должен быть приведен полный маршрут доступа к источнику в Интернете;
- должна быть указана дата обращения к источнику.

Если для статьи существует и печатный, и электронный варианты, то следует указывать ссылку только для первого из них.

Ограничения по списку литературы:

- доля самоцитирований для любого из авторов статьи, а также по совокупности всех авторов, не должна превышать 30 %;
- доля ссылок на статьи с участием одного автора, не являющегося автором (соавтором) статьи, не должна превышать 30 %.

8.3. Суммарная доля таблиц и иллюстраций в общем объеме представляемой статьи не должна превышать 40%. Под иллюстрациями понимаются следующие объекты: диаграммы; графики; рисунки; эскизы; фотографии; карты и т.п.

8.4. Доля оригинального текста в статьях (оцениваемого через систему «Антиплагиат» на сайте www.antiplagiat.ru) должна быть не менее 85 %, для статей обзорного и экономикоуправленческого характера – не ниже 80 %.

8.5. Один человек может быть автором (соавтором) не более двух статей в одном номере (выпуске) журнала. При этом единственным автором он может быть только в одной из статей.

Ограничение по данному пункту не распространяется на материалы, соответствующие пунктам «в», «г», которые носят информационный характер.

8.6. Для уменьшения объемов текста в статьях могут использоваться аббревиатуры (сокращения). Все нестандартные сокращения должны быть расшифрованы при первом появлении их в тексте. Количество используемых нестандартных аббревиатур нужно ограничить, так как большое количество аббревиатур ухудшает читаемость текста. Расшифровки аббревиатур в аннотациях и основном тексте следует давать независимо друг от друга.

8.7. Указание на то, что работа финансируется по какому-либо гранту, государственного заказа и пр. дается в виде постраничной сноски после заголовка (названия) работы. Если источников финансирования более одного, то могут даваться две и более сноски.

8.8. В журнале «Известия КГТУ» по каждому публикуемому материалу указываются даты поступления в редколлегию:

- первоначального варианта статьи (материала);
- финального (окончательного) варианта с внесенными исправлениями по замечаниям рецензентов и редколлегии.

9. В отношении технического оформления статей (материалов) предъявляются следующие требования:

9.1. Текст должен быть расположен по ширине страницы формата А4 с учётом полей (левое, правое – 2,5 см, верхнее, нижнее – 2,5 см), набран шрифтом Times New Roman, кегль 14, межстрочный интервал 1,0.

Как правило, содержание работы должно быть размещено на страницах с книжной ориентацией. Альбомная ориентация страниц допускается только в порядке исключения для следующих случаев: широкоформатные таблицы с большим количеством колонок; иллюстрации большого размера, которые не умещаются на странице с альбомной ориентацией.

Абзацные отступы должны быть одинаковыми по всему тексту – 1,25 см. Кавычки («»), скобки ([], ()), маркеры и другие знаки должны быть сохранены аналогичными на протяжении всего предоставляемого для публикации материала.

9.2. Заголовки и подзаголовки в тексте представляемого авторами материала оформляются в виде соответствующих стилей (Заголовок 1, Заголовок 2 и т.д. с включенной автоматической нумерацией),

отделяются от основного текста 1 (одним) интервалом и располагаются по центру строки. Заголовки (наименования разделов) записываются прописными буквами, подзаголовки (наименования подразделов) – строчными. Переносы слов в заголовках не допускаются, в подзаголовках – не рекомендуются. Точки в конце заголовков и подзаголовков не ставятся.

Переносы в текстах статей (материалов) автоматические (путь: сервис, язык, расстановка переносов). Желательно убирать переносы в словах, используемых в ссылках (сносках) и аннотациях.

Размерность всех величин, используемых в представляемых материалах, целесообразно давать в системе единиц СИ.

9.3. Требования к оформлению таблиц:

- шрифт Times New Roman, кегль 9; ширина таблиц –13 см, портретная ориентация страниц;
- все таблицы в представляемом материале должны иметь сквозную нумерацию арабскими цифрами;
- в отдельной строке пишется слово «Таблица» (шрифт Times New Roman, кегль 9, выравнивание по правому краю), после которого через пробел следует порядковый номер таблицы;
- на следующей строке (без пропуска) размещается заголовок таблицы в виде 1–строк текста, набираемого стилем: шрифт Times New Roman, кегль 9, жирный, по центру, междустрочный интервал 1.0, запрет висячих строк, запрет переноса;
- тело таблицы размещается после заголовка по ширине поля;
- содержимое ячеек таблиц центрируется по горизонтали и вертикали границы –0,5 пт;
- в представляемом материале таблицы должны располагаться сразу после окончания абзацев, в которых даны ссылки на них. Части таблиц не должны попадать в зону полей листа формата А4. При переносе таблиц на другую страницу следует повторять их шапки.

9.4. Требования к оформлению формул. Формулы должны быть выполнены с помощью средств Microsoft WORD в редакторе формул Microsoft Equation Editor (допускается создание формул в MathType).

Формулы последовательно нумеруют по всему тексту статьи с использованием круглых скобок, расположенных по правому краю листа. Нумерация формул осуществляется независимо от нумерации таблиц и рисунков.

При нумерации формул авторы могут исходить из двух подходов:

- нумеруются все формулы, расположенные в отдельных строках или группах строк;
- нумеруются только формулы, на которых есть ссылки в тексте статьи.

Редколлегия убедительно просит авторов не использовать без необходимости «многоэтажные» формулы, которые неоправданно увеличивают размер статьи и затрудняют восприятие.

Размеры шрифтов для формул в MS Equation Editor:

- основные символы –14 пт.;
- подстрочные и надстрочные индексы –10 пт.;
- дополнительные индексы для подстрочных и надстрочных индексов –8 пунктов.

Если это допускает редактор формул или текстовый редактор, то константы в формулах записываются прямым шрифтом, переменные – курсивом (наклонным шрифтом); векторные и матричные величины – полужирным шрифтом.

Скобки в формулах применяются для определения старшинства операций. Могут использоваться записанные нежирным шрифтом круглые, а при необходимости и квадратные скобки.

Использование русских букв в формулах не допускается.

При этом должно быть пояснено, что является матрицей, а что – векторами.

Все применяемые в формулах обозначения должны быть расшифрованы в тексте статьи до места расположения формулы или после первого появления этих обозначений в формулах.

Расшифровка обозначений осуществляется только однократно. Редакция просит авторов воздержаться от использования в формулах одинаковых символов для обозначения различных величин в разных местах текста.

В случае необходимости «длинные» формулы могут переноситься на следующие строки, при этом знаки арифметических операций в местах «разрывов» указываются только однократно.

9.5. Иллюстрации размещаются непосредственно в тексте статьи (выбор места их размещения осуществляется исходя из логики изложения) и сопровождаются подписями под ними.

Публикация иллюстраций в журнале осуществляется в черно-белом варианте. В статьях, размещенных на страничках сайта журнала, иллюстрации показываются в цветном варианте.

Каждая иллюстрация, включаемая в текст статьи (материала), представляется в графическом формате:

- графики, диаграммы, рисунки и т.п. представляются в векторных форматах;

-для фотографий, образов экранов и т.п. объектов целесообразно использовать растровый формат jpeg или tiff.

Требования к оформлению иллюстраций:

- ширина рисунков, фотографий, диаграмм, графиков, схем –не более 13 см;
- все обозначения на иллюстрациях должны быть разъяснены в тексте или в подписи к иллюстрациям;
- линии на рисунках: основная –1,5, тонкая –0,75;
- графические элементы, входящие в иллюстрации, должны быть «сгруппированы» средствами MsWord.
- подписи к иллюстрациям выполняются обычным стилем и начинаются с обозначения «Рис.», затем после одного пробела следует номер иллюстрации арабскими цифрами (нумерация сквозная), затем после пробела текст подписи. Шрифт: Times New Roman, 9, по центру, между строчный интервал 1,0, запрет висячих строк, запрет переноса;
- все иллюстрации должны быть центрированы по ширине страницы.

10. Кроме собственно статей авторы представляют в редколлегию:

10.1. Сканированное изображение авторской справки с подписями всех авторов. Справка должна включать оценку доли оригинального текста в статье (на сайте www.antiplagiat.ru). Форму справки смотри ниже.

Авторские справки представляются также на материалы по пунктам «в» и «г», публикуемые от имени конкретных авторов.

10.2. Сканированное изображение внешней рецензии на статью с подписью рецензента, указанием его ученой степени, занимаемой должности, заверяющей подписью, печатью организации. Термин «внешняя рецензия» означает, что человек, дающий рецензию, не должен работать ни в качестве штатного сотрудника, ни по совместительству в любой из организаций, где работают соавторы статьи. Рецензент должен быть специалистом именно в той отрасли знаний, по которой авторами направлена статья для опубликования и иметь соответствующую ученую степень.

Рецензент не может быть соавтором для авторов статьи в работах, которые опубликованы в любых изданиях в течение года до момента подписания им рецензии.

На материалы по пунктам «в» и «г», публикуемые от имени конкретных авторов, рецензии не представляются.

11. При необходимости редколлегия имеет право запросить у авторов отдельных работ представление в виде оригиналов на бумаге следующих материалов:

- текста статьи с визами всех авторов на каждом листе;
- авторской справки с подписями авторов;
- внешней рецензии;
- актов экспертизы в отношении возможности опубликования материалов статьи в открытой печати (такие акты представляются авторами только по требованию редакции).

12. Переписка авторов с редакцией ведется по адресу электронной почты журнала. По этому же адресу могут быть направлены замечания и комментарии читателей, относящиеся к опубликованным в журнале материалам.

13. Оплата статей осуществляется авторами по требованию редакции только после принятия статей к публикации.

1. Статья авторами вычитана, фамилии и инициалы авторов проверены, цитаты и фактические данные сверены с первоисточниками.

2. В отношении всех заимствований текста и графических объектов, в статье сделаны необходимые ссылки. Цитаты в тексте заключены в кавычки и источники их заимствования указаны в списке литературы.

3. В статье отсутствуют сведения, носящие секретный характер, являющиеся закрытыми служебными материалами организаций, а также представляющие собой коммерческую тайну.

4. Переданная в редакцию журнала статья не находится на рассмотрении в других изданиях в отношении определения возможности ее опубликования.

5. Авторы дают свое согласие на размещение материала статьи в электронной форме на сайте журнала в Интернете.

6. После опубликования статьи в журнале авторы имеют право размещать ее текст на личных страничках в Интернете, а также на сайтах тех организаций, где они работают – при условии обязательного указания на место опубликования материала.

7. В случае перевода по инициативе редакции текста статьи с русского языка на иностранный для размещения на «не русскоязычных» страницах сайта университета, текст перевода должен быть согласован с авторами статьи.

Авторы

ПОДПИСИ

Заверьте в отделе кадров.

Оплата:

- с иногородних и других авторов, граждан Кыргызстана не являющихся сотрудниками КГТУ, взимать оплату за публикацию в размере 100 сомов за страницу;
- с авторов – сотрудников КГТУ взимать оплату в размере 600 сомов за статью;
- с зарубежных авторов оплата 50\$ за статью;
- едиличные статьи аспирантов КГТУ, равно как и любых других вузов и научных учреждений, публиковать бесплатно.

При публикации в соавторстве статей аспирантов и других лиц, не являющихся аспирантами, оплату производить в соответствии с долевым участием авторов: аспиранты публикуются бесплатно, другие лица в соответствии с вышеперечисленными пунктами.

Оплата производится только после принятия решения редакционной коллегией журнала, о чем авторам сообщается в письме.

В адрес редакционной коллегии просим направлять:

- внешнюю рецензию на статью, заверенную подписью рецензента и печатью учреждения, а для иногородних авторов – электронную копию рецензии или факсограмму;
- сопроводительное письмо с указанием рубрики, к которой относится статья, полных имён, отчеств и фамилий авторов, регалий, места работы, должности (на русском и английском языках), а также номеров контактных телефонов и адреса электронной почты (обязательно);
- отсканированную квитанцию об оплате (после принятия решения редакционной коллегией).

Реквизиты для оплаты публикаций:

Для переводов в национальной валюте (сом) Первомайский РОК р/с 1290524132820096
Бишкекский филиал ОАО «РСК банк» г.Бишкек БИК 129052,
л/с 4402011103004532, ИНН 02702200610350,
Код ОКПО 23999934,
ГНИ Первомайского р-на 004
Г..Бишкек, пр. Мира 66

Тел.: 996 (312) 545125

Факс: 996 (312) 545162

Web сайт: <http://kstu.kg>

Обязательно указывать назначение платежа: Ф.И.О. автора, название и номер журнала, название статьи.

При несоблюдении указанных правил статьи публиковаться не будут.

Главный редактор журнала –д-р физ.мат. наук, проф. Дуйшеналиев Туратбек Болотбекович.

Ответственный секретарь –д-р. техн. наук, Джолдошев Бекболот Оморович.

Адрес редколлегии:

Издательский центр “Техник”

Кыргызского государственного технического университета им. И.Раззакова

720044, Бишкек, ул. Сухомлинова, 20.

Тел.: 54-29-43, e-mail: beknur@mail.ru

ПРИМЕР ОФОРМЛЕНИЯ СТАТЬИ

УДК 621.3

АЛГОРИТМИЗАЦИЯ РАБОТЫ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА И КОНТРОЛЯ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ИДЕНТИФИКАЦИИ СТЕПЕНИ ПОВРЕЖДЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКИ СЛОЖНЫХ ОБЪЕКТОВ

Статья поступила в редакцию 19.02.2014, в окончательном варианте 24.02.2014.

Савочкин Александр Евгеньевич, к.т.н., доцент, КГТУ им. И.Раззакова, Кыргызста, 720044, г.Бишкек, пр. Мира 66, e-mail: aebrat@mail.ru

Цель статьи – разработка и апробация алгоритма решения задач идентификации состояния технически сложных объектов (ТСО). Автором рассмотрена общая архитектура систем мониторинга и контроля ТСО (СМиК ТСО), представляющих собой обобщённое, единое решение платформенного уровня, объединяющее архитектуру данных, архитектуру приложений в рамках иерархической интегрированной архитектуры. Предложена модернизированная структурная схема СМиК ТСО, включающая блок нейросетевой идентификации. В рамках выполненных исследований для входного сигнала с ТСО были выбраны методы обработки, оптимальный алгоритм фильтрации, опробованы архитектуры многослойных нейронных сетей, проведено тестирование и оценка точности результатов идентификации. Затем была выбрана оптимальная архитектура искусственной нейронной сети (ИНС). Путем моделирования ИНС была выявлена степень повреждения ТСО для нескольких тестовых сигналов; проведены проверки полученных результатов на точность и адекватность. Они показали высокие идентификационные способности использованной ИНС.

Ключевые слова: прогнозирование, алгоритм, фильтрация, технически сложные объекты, интеллектуальный анализ данных, нейронная сеть, нейровычисления, идентификация

ALGORITHMIZATION OF SYSTEM OPERATION OF MONITORING AND CONTROL FOR SOLUTION OF IDENTIFICATION TASKS OF DAMAGE LEVEL OF TECHNICALLY COMPLEX OBJECTS

Savochkin Alexandr Ye., PhD (Engineering), Associate Professor, Kyrgyzstan, 720044, c.Bishkek, KSTU named after I.Razzakov e-mail: aebrat@mail.ru

The purpose of this article is to develop algorithm of the solution of identification's tasks of a TCO's status was set, the author considered a system architecture of monitoring and monitoring of technically difficult objects – SMAC TCO – the generalized, single solution of platform level integrating architecture of data, architecture of applications within the hierarchical integrated architecture. During writing of article the upgraded skeleton diagram of SMAC TCO which is turning on the unit of neural network identification was offered.

Within the conducted researches the input signal with TCO was processed, selected optimum algorithm of filtering, architecture of multi-layer neural networks were tested, testing and an assessment of accuracy of results of identification was held. After that the optimum architecture of the artificial neural network was selected. By means of simulation of NN TCO (S) damage level for several test signals was revealed and inspections on the accuracy and adequacy are carried out. They testify to high identification abilities of used NN.

Keywords: forecasting, algorithm, filtering, technically difficult objects, data mining, neural network, neuro computing, identification

Сегодня наиболее эффективными способами диагностики аварийных ситуаций на технически сложных объектах (ТСО) являются мониторинг и идентификация их технического состояния. Для ТСО, подверженных риску повреждений от внешних факторов (на данном этапе будем рассматривать только внешние факторы, подразумевая, что в дальнейших исследованиях обратимся и к внутренним; таким образом, в данной работе будем рассматривать идеальную ситуацию, в которой значимые внутренние факторы отсутствуют), контроль технического состояния, грамотный анализ полученных при этом данных, своевременное принятие корректирующих мероприятий обязательны в течение всего периода возможного проявления внешних воздействий. Для решения такого рода задач разрабатываются информационно-измерительные системы (ИИС) ТСО. Создание современных ИИС ТСО позволит устранить отставание России в области средств измерений, контроля, диагностики и мониторинга технического состояния ТСО. Цель данной работы – создание алгоритма работы СМиК ТСО для решения задач идентификации степени повреждения ТСО.....

.....
.....
.....

Выводы: Полученные результаты для тестов на точность и адекватность свидетельствуют о высоких идентификационных способностях ИИС. Недостатком данного исследования является неполный учет всех влияющих на состояние ТСО факторов, включая особенности конструкции, и некоторые другие параметры самого ТСО. Это связано с отсутствием полного объема информации с мониторинговых датчиков, применяемых для контроля состояния ТСО. В свою очередь такая ситуация, вероятно, вызывает уменьшение точности прогноза. Поэтому дальнейшие исследования с использованием этих параметров, безусловно, являются актуальными.

Список литературы

1. Вайнштейн Л. А. Выделение сигналов на фоне случайных помех / Л. А. Вайнштейн, В. Д. Зубаков. – Москва : Советское радио, 1960. – 447 с.
2. Галушкин А. И. Нейросетевые технологии в России (1982–2010) : в 2 ч. / А. И. Галушкин. – Москва : Нейросетевые технологии, 2012. – Ч. 1. – 316 с.
3. Горпинченко В. М. Мониторинг эксплуатационной пригодности особо ответственных, сложных и уникальных сооружений / В. М. Горпинченко, М. И. Егоров // Промышленное и гражданское строительство. – 2004. – № 10.
4. ГОСТ 12.1.012-90. Система стандартов безопасности труда. Вибрационная безопасность. Общие требования. – Москва, 1991.
5. ГОСТ Р 52892-2007. Вибрация и удар. Вибрация зданий. Измерение вибрации и оценка ее воздействия на конструкцию. – Москва : Стандартинформ, 2008.
6. Оперативная аналитическая обработка данных: концепции и технологии. – Режим доступа: http://www.olap.ru/basic/olap_and_ida.asp (дата обращения 12.01.2014), свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус.
7. Паклин Н. Б. Бизнес-аналитика: от данных к знаниям / Н. Б. Паклин. – Санкт-Петербург: Питер, 2012. – 704 с.
8. СН 2.2.4/2.1.8.566-96. Санитарные нормы. 2.2.4. Физические факторы производственной среды. 2.1.8. Физические факторы окружающей природной среды: производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий. – Москва, 1996.
9. Строительные нормы и правила: СНиП 2.01.07–85*. Нагрузки и воздействия. – Москва, 2005.
10. DataMining – интеллектуальный анализ данных. – Режим доступа: http://www.iteam.ru/publications/it/section_55/article_1448/ (дата обращения 04.02.2013), свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус.

11. FindSounds – Search the Web for Sound. – Available at: <http://www.findsounds.com/> (accessed 23 February 2014).
12. Matlab. – Режим доступа: <http://matlab.exponenta.ru/matlab/default.php> (дата обращения 10.01.2014), свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус.
13. Matlab. – Available at: <http://www.mathworks.com/products/neural-network/codeexamples.html> (accessed 13 January 2014).
14. Matlab. Нейронная сеть. Режим доступа: <http://neural-networks.ru/Rasshirenie-protsedurobucheniya/> (дата обращения 07.01.2014), свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус.
15. Software for Data Mining, Analytics, and Knowledge Discovery. – Available at: <http://www.kdnuggets.com/software/index.html> (accessed 9 February 2013).

References

1. Vaynshteyn L. A., Zubakov V. D. *Vydelenie signalov na fone sluchaynykh pomekh* [Allocation of signals on the background of random noise]. Moscow, Sovetskoe radio, 1960. 447p.
2. Galushkin A. I. *Neyrosetevye tekhnologii v Rossii (1982–2010)* [Neural network technologies in Russia (1982–2010)], in 2 parts. Moscow, Neyrosetevye tekhnologii, 2012. Part 1. 316 p.
3. Gorpichenko V. M., Yegorov M. I. Monitoring ekspluatatsionnoy prigodnosti osobo otvetstvennykh, slozhnykh i unikalnykh sooruzheniy [Monitoring of exploitation serviceability of particularly critical, complex and unique structures]. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitelstvo* [Industrial and Civil Construction.], 2004, no. 10.
4. GOST 12.1.012-90. Occupational safety standards system. Vibrational safety. General requirements. Moscow, 1991. (In Russ.)
5. GOST R 52892-2007. Vibration and shock. Vibration of buildings. Measurement of vibration and evaluation of its effects on structure. Moscow, Standartinform, 2008. (In Russ.)
6. Operational analytical data processing: concepts and technologies. Available at: http://www.olap.ru/basic/olap_and_ida.asp (accessed 12 January 2013). (In Russ.)
7. Paklin N. B. *Biznes-analitika: ot dannykh k znaniyam* [Business intelligence: from data to knowledge]. Saint Petersburg, Peter, 2012. 704 p.
8. SN 2.2.4/2.1.8.566-96. Sanitary norms. 2.2.4. Physical factors of the working environment. 2.1.8. Physical factors of the environment: manufacturing vibration, vibration in residential and public buildings. Moscow, 1996. (In Russ.)
9. Building Regulations: SNIP 2.01.07–85*. Load and impact. Moscow, 2005. (In Russ.)
10. DataMining – intellectual data analysis. Available at: http://www.iteam.ru/publications/it/section_55/article_1448/ (accessed 4 February 2013). (In Russ.)
11. FindSounds – Search the Web for Sound. Available at: <http://www.findsounds.com/> (accessed 23 February 2013).
12. Matlab. Available at: <http://matlab.exponenta.ru/matlab/default.php> (accessed 10 January 2014). (In Russ.)
13. Matlab. Available at: <http://www.mathworks.com/products/neural-network/code-examples.html> (accessed 13 January 2014).
14. Matlab. Neural network. Available at: <http://neural-networks.ru/Rasshirenie-protsedurobucheniya/> (accessed 7 January 2014). (In Russ.)
15. Software for Data Mining, Analytics, and Knowledge Discovery. – Available at: <http://www.kdnuggets.com/software/index.html> (accessed 9 February 2013).

ИЗВЕСТИЯ

КЫРГЫЗСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ им. И.РАЗЗАКОВА

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ И ПРИКЛАДНОЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

2015

№1 (34)

Ответственный за выпуск

Курманалиев Б.К.

Редакторы языковой редакции

Лыткин Ю.М., Турдукулова А.К.

Корректор

Эркинбек кызы Жанара

Технический редактор и
компьютерная верстка

Турдукулова А.,
Эркинбек кызы Жанара

Подписано к печати 09.07.2015. Формат бумаги 60x84¹/₈. Бумага офс.
Печать офс. Объем 37,5 п.л. Тираж 200 экз. Заказ 278.

Издательский центр “Текник”
Кыргызского государственного технического университета им. И.Раззакова
720044, Бишкек, ул. Сухомлинова, 20.
Тел.: 54-29-43, e-mail: beknur@mail.ru