

**НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ  
ВЕСТНИК  
ПОВОЛЖЬЯ**

**№1 2014**

**Направления:**

**ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ  
ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ  
ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ**

**Казань**

**2014**

**УДК 60**

**ББК 30-1**

**Н-66**

**Н-66** Научно-технический вестник Поволжья. №1 2014г. – Казань:  
Научно-технический вестник Поволжья, 2014. – 210 с.

**ISSN 2079-5920**

Журнал зарегистрирован в Управлении Федеральной службы по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций ПИ № ФС77-41672 от 13 августа 2010г.

Журнал размещен в открытом бесплатном доступе на сайте [www.ntvp.ru](http://www.ntvp.ru), и в Научной электронной библиотеке (участвует в программе по формированию РИНЦ).

Журнал включен ВАК РФ в перечень научных журналов, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук.

Подписной индекс в объединенном каталоге «Пресса России» № 12025.

*Главный редактор Р.Х. Шагимуллин*

Редакционная коллегия

*Б.Н. Иванов – д.т.н., проф.; В.С. Минкин – д.х.н., проф.;*

*В.К. Половняк – д.х.н., проф.; Х.Э. Харлампиди – д.х.н., проф.*

В журнале отражены материалы по теории и практике технических, физико-математических и химических наук.

Материалы журнала будут полезны преподавателям, научным работникам, специалистам научных предприятий, организаций и учреждений, а также аспирантам, магистрантам и студентам.

**УДК 60**

**ББК 30-1**

**ISSN 2079-5920**

**© Научно-технический вестник Поволжья, 2014 г.**

**СОДЕРЖАНИЕ**

<i>В.С. Минкин, Б.Н. Иванов, Р.Х. Зиятдинов, Р.Н. Костромин</i> СТРОЕНИЕ РАЗВЕТВЛЕННЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ЖИДКИХ ТИОКОЛОВ	9
---	---

**ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ**

<i>В.В. Браништити</i> О ПАРАМЕТРИЧЕСКОМ ОЦЕНИВАНИИ ФУНКЦИИ ПЛОТНОСТИ ВЕРОЯТНОСТИ	13
<i>А.И. Варавва, А.В. Татосов</i> ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕРМОКАПИЛЛЯРНЫХ ТЕЧЕНИЙ	17
<i>В.В. Дружинин</i> РЕШЕТО ТИПА ЭРАТОСФЕНА ДЛЯ ПРОСТЫХ ЧИСЕЛ-БЛИЗНЕЦОВ	22
<i>Н.С. Захаров, Г.В. Абакумов, А.Н. Ракитин</i> ВЗАИМОСВЯЗЬ МЕЖДУ КЛИМАТИЧЕСКИМИ ФАКТОРАМИ	26
<i>В.В. Рыбин</i> ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЙ ПОДХОД К АНАЛИЗУ ТЕРМИЧЕСКОГО РАЗЛОЖЕНИЯ ЭТАНОЛА	30
<i>С.В. Рыков</i> ФУНДАМЕНТАЛЬНОЕ УРАВНЕНИЕ СОСТОЯНИЯ, УЧИТЫВАЮЩЕЕ АСИММЕТРИЮ ЖИДКОСТИ	33
<i>С.А. Соловьева</i> К ВОПРОСУ О РЕШЕНИИ ИНТЕГРАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ ФРЕДГОЛЬМА ВТОРОГО РОДА	37
<i>С.Н. Тимергалиев, А.Н. Углов, Г.А. Якупова</i> ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗРЕШИМОСТИ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ КРАЕВЫХ ЗАДАЧ ДЛЯ ШАРА ЛИНЕЙНОЙ ТЕОРИИ УПРУГОСТИ	41
<i>Т.Ю. Тришина</i> МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ЛОКАЛЬНОГО ПЛАСТИЧЕСКОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ ЦИЛИНДРИЧЕСКОГО СЛОЯ С ПРОГНОЗИРУЕМЫМИ МЕХАНИЧЕСКИМИ И СТРУКТУРНЫМИ СВОЙСТВАМИ МАТЕРИАЛА	45

**ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ**

<i>М.В. Акулова, Б.Р. Исакулов, М.Д. Джумабаев, А.М. Сартова</i> КОМПЛЕКСНАЯ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКАЯ АКТИВАЦИЯ ЗОЛОШЛАМОВЫХ ВЯЖУЩИХ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ЛЕГКИХ АРБОЛИТОБЕТОНОВ	49
<i>В.М. Артюшенко, В.И. Воловач, К.Л. Самаров</i> КОНСТРУИРОВАНИЕ ДВУХМЕРНЫХ КОРРЕЛИРОВАННЫХ МОДЕЛЕЙ НЕГАУССОВСКИХ ПОМЕХ	53
<i>Э.И. Бегагоин, А.Г. Русаков</i> ОЦЕНКА ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕКУПЕРАТИВНОГО ТОРМОЖЕНИЯ	57
<i>В.Ф. Беккер</i> ВВЕДЕНИЕ ДВУХУРОВНЕВОГО МАСШТАБА ГЕОМЕТРИЧЕСКОГО ПОДОБИЯ В ОПИСАНИЕ ГИДРОДИНАМИКИ ТРЕХФАЗНОГО ПСЕВДООЖИЖЕНИЯ	61
<i>Н.Н. Беспалов, М.В. Ильин, С.С. Капитонов, А.В. Капитонова</i> МЕТОДИКА ПОДБОРА СИЛОВЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРОВ ДЛЯ ГРУППОВЫХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫХ ЦЕПЕЙ УСТРОЙСТВ СИЛОВОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ	65
<i>Н.Н. Беспалов, А.Е. Лысенков</i> ПОДХОД К СОЗДАНИЮ ЭЛЕКТРОТЕПЛОВОЙ МОДЕЛИ СИЛОВЫХ МДП-ТРАНЗИСТОРОВ	69
<i>Л.М. Болдырева, И.В. Лашина</i> АНАЛИЗ БЕСКОНТАКТНЫХ СПОСОБОВ ПОЛУЧЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ О ПОВЕРХНОСТИ ТЕЛА ЧЕЛОВЕКА	73
<i>О.В. Васильева, Г.П. Жигулин</i> СПОСОБ ФОРМИРОВАНИЯ МОДЕЛИ УГРОЗ И НАРУШИТЕЛЕЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ЧАСТНОЙ ОБЛАЧНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ	78

<i>В.И. Воловач, А.В. Савенко</i> ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ И РАБОТЫ ТУРНИКЕТНЫХ ДАТЧИКОВ РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ ОБНАРУЖЕНИЯ	81
<i>Н.Ф. Гибадуллин</i> ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ПРОДУКТИВНОСТИ ЛЕСОВ НА ПРИМЕРЕ ЛЕСОВ ЗАКАМЬЯ	86
<i>С.П. Ильясов, А.В. Корнилов, Д.В. Свяжгин</i> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ИЗБЫТОЧНОСТИ КАК СРЕДСТВА ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ РЕЗЕРВНОЙ СИСТЕМЫ ОРИЕНТАЦИИ ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА	89
<i>А.В. Ключников, А.В. Кузнецов, Н.А. Кузьминых, А.В. Лысых</i> СОЗДАНИЕ КОМПЬЮТЕРНОЙ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ СОСТАВНЫХ БЛОКОВ ПИТАНИЯ	93
<i>Т.М. Кокина, Р.Н. Тазмеева</i> ВЫБОР ДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ КРУТИЛЬНЫХ КОЛЕБАНИЙ МЕХАНИЗМА ВЫПУСКНЫХ ВАЛОВ ПНЕВМОПРЯДИЛЬНЫХ МАШИН	96
<i>М.А. Куликов, С.Г. Козлов, О.Р. Середкина</i> ОТЛОЖЕНИЕ НЕРАСТВОРИМЫХ СОЛЕЙ НА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ОБОРУДОВАНИИ ПРОИЗВОДСТВА ХЛОРИДА КАЛИЯ	100
<i>Г.И. Лавров, И.Г. Лавров</i> АВТОМАТИЗАЦИЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УРОВНЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ В СКВАЖИНЕ ДЛЯ ТРЕХМЕРНЫХ ЦИФРОВЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ	104
<i>А.И. Ляшенко, А.А. Матушкин</i> МОДЕЛИРОВАНИЕ КИНЕМАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК УСТРОЙСТВА ДОСТАВКИ ПОЛЕЗНОЙ НАГРУЗКИ С УЧЁТОМ ЕГО УПРУГИХ СВОЙСТВ	109
<i>Е.И. Макаров</i> МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА МОТОРНОГО МАСЛА	113
<i>А.Н. Макарова</i> УТОЧНЕНИЕ ПЕРИОДИЧНОСТИ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ АВТОМОБИЛЕЙ В ЭКСПЛУАТАЦИИ	117
<i>И.А. Мальцев</i> АНАЛИЗ ТЕПЛОВОЙ ЭКВИВАЛЕНТНОЙ СХЕМЫ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРОВ ПРИ НЕСТАЦИОНАРНОМ ТЕПЛОВОМ РЕЖИМЕ	121
<i>И.В. Мостяев</i> КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ОХЛАЖДАЕМЫХ ЛОПАТОК ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ ВИХРЕТОКОВЫМ МЕТОДОМ С ПРИМЕНЕНИЕМ МАГНИТНОЙ ЖИДКОСТИ	126
<i>М.А. Николаев</i> ВЕБ-КОМПЛЕКС ТЕПЛОФИЗИЧЕСКОЙ ОПТИМИЗАЦИИ ЯЭУ	130
<i>Е.К. Петенёв, С.В. Пушилин, В.Б. Чемоданов</i> КОМПЛЕКСИРОВАНИЕ УПРАВЛЯЮЩИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ ПО РАЗНЫМ КАНАЛАМ В МНОГОКАНАЛЬНОЙ СИСТЕМЕ БЕСКОНТАКТНОГО УПРАВЛЕНИЯ	134
<i>И.Н. Петров, А.Д. Самсонов</i> К ВОПРОСУ ФОРМИРОВАНИЯ СИСТЕМ ФИЗИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ АЭРОПОРТОВ	139
<i>С.П. Санников, Д.В. Кубасов</i> ТЕХНОЛОГИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА БЕТОННОГО ОСНОВАНИЯ, ФРАГМЕНТИРОВАННОГО ОБЪЕМНОЙ ПЛАСТИКОВОЙ РЕШЕТКОЙ	143
<i>С.П. Санников, С.А. Куюков, Д.В. Маслов</i> АНАЛИЗ ПРИЧИН РАЗРУШЕНИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ НА ЗАБОЛОЧЕННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ ТЮМЕНСКОЙ ОБЛАСТИ (на примере Уватского района)	146
<i>М.Ю. Сартасова</i> ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ИМПУЛЬСНОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ	150
<i>А.В. Соколов, С.Л. Денисов</i> МНОГОКРИТЕРИАЛЬНАЯ ЗАДАЧА ВЫБОРА ПРОГРАММНО-ТЕХНИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА (ПТК) УПРАВЛЕНЧЕСКОГО ПЕРСОНАЛА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОЛОГИИ ЭКСПЕРТНЫХ СИСТЕМ (ЭС)	156

<i>И.С. Стародубцев</i> ЗАХВАТ ДВИЖЕНИЯ НА ОСНОВЕ ИЕРАРХИЧЕСКОГО ГИБКОГО СКЕЛЕТА	159
<i>А.А. Тестешев, В.Д. Тимоховец</i> УПРАВЛЕНИЕ СКОРОСТНЫМИ РЕЖИМАМИ НА ДОРОГАХ В НЕБЛАГОПРИЯТНЫХ ПОГОДНЫХ УСЛОВИЯХ В ЗИМНИЙ ПЕРИОД	163
<i>И.С. Федоров, Г.П. Жигулин</i> ХРАНЕНИЕ ИНФОРМАЦИИ В СИСТЕМЕ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ КОМПЬЮТЕРНЫХ ПРЕСТУПЛЕНИЙ И ОБРАЗОВАНИЯ ДОКАЗАТЕЛЬНОЙ БАЗЫ ПРИ ИХ СОВЕРШЕНИИ НА ОСНОВЕ КОНТРОЛИРОВАНИЯ ЭКРАНА ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ	167
<i>Л.А. Феокистова, И.П. Талипова, Т.В. Рзаева</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ТУРБУЛЕНТНОГО ТЕЧЕНИЯ В КРУГЛОЙ ТРУБЕ С НАЛОЖЕННЫМИ ПУЛЬСАЦИЯМИ РАСХОДА	170
<i>Р.Р. Хамидова</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОБЛЕМЫ ОРГАНИЗАЦИИ И ПРОВЕДЕНИЯ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ	174
<i>И.В. Храпцов, В.Я. Модорский</i> ФОРМИРОВАНИЕ ИНЖЕНЕРНОЙ МЕТОДИКИ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЕФОРМИРОВАНИЯ ГАЗОПРОВОДА С УЧЕТОМ ПОДКРЕПЛЯЮЩЕГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ГРУНТА	177
<i>Д.Э. Цыганков, С.В. Рябов</i> ФОРМАЛЬНОЕ ОПИСАНИЕ КЛАССА ТЕХНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ ФУНКЦИОНАЛЬНО АДАПТИРОВАННОЙ САПР «АНТЕННЫ РУПОРНЫЕ ВОЛНОВОДНЫЕ»	181
<i>А.С. Шайкин, Е.В. Шайкина</i> ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ОТЛАДКИ КОМПОНЕНТОВ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ, СОДЕРЖАЩИХ ДАТЧИКИ ДВИЖЕНИЯ И ПОЛОЖЕНИЯ В ПРОСТРАНСТВЕ	185
<i>П.П. Юрыгин, И.С. Гуданов, Г.М. Гончаров, А.А. Ломов, Ю.Б. Лаврентьев</i> ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СЛОИСТОГО ТЕЧЕНИЯ ВЯЗКОУПРУГИХ ЖИДКОСТЕЙ В ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ КАНАЛАХ ЭКСТРУЗИОННОЙ ГОЛОВКИ	190
<b>АННОТАЦИИ</b>	196

**THE RELEASE MAINTENANCE**

<i>V.S. Minkin, B.N. Ivanov, R.H. Ziyatdinov, R.N. Kostromin</i> THE STRUCTURE OF BRANCHED INDUSTRIAL LIQUID THIOKOLS	9
---	---

**PHYSICAL AND MATHEMATICAL SCIENCES**

<i>V.V. Branishti</i> ON PARAMETRIC ESTIMATION OF PROBABILITY DENSITY FUNCTION	13
<i>A.I. Varavva, A.V. Tatosov</i> NUMERICAL MODELING OF THERMOCAPILLARY FLOW	17
<i>V.V. Druzhinin</i> THE ERATOSTHENES SIEVE FOR PRIME PAIR NUMBERS	22
<i>N.S. Zakharov, G.V. Abakumov, A.N. Rakitin</i> CLIMATIC FACTORS CORRELATION	26
<i>V.V. Rybin</i> THERMODYNAMIC APPROACH TO THE ETHANOL THERMAL DECOMPOSITION ANALYSIS	30
<i>S.V. Rykov</i> THE FUNDAMENTAL EQUATION OF STATE CONSIDERING ASYMMETRY OF FLUID	33
<i>S.A. Solov'eva</i> ON THE QUESTION OF SOLUTION OF FREDHOLM INTEGRAL EQUATIONS OF THE SECOND KIND	37
<i>S.N. Timergaliev, A.N. Uglov, G.A. Yakupova</i> INVESTIGATION OF SPATIAL BOUNDARY PROBLEMS SOLVABILITY FOR BALL IN LINEAR ELASTICITY THEORY	41
<i>T.U. Trishina</i> MODELING OF LOCAL METAL FORMING PROCESS OF CYLINDRICAL LAYER WITH PREDICTED MECHANICAL AND STRUCTURAL MATERIAL PROPERTIES	45

**ENGINEERING SCIENCE**

<i>M.V. Akulova, B.R. Isakulov, M.D. Dzhumabaev, A.M. Sartova</i> COMPLEX ELECTROMECHANICAL ACTIVATION GOLD SLURRY BINDER FOR THE PRODUCTION OF LIGHT ARBOLITE CONCRETE	49
<i>V.M. Artyushenko, V.I. Volovach, K.L. Samarov</i> DESIGNING OF THE TWO-DIMENSIONAL CORRELATED MODELS OF NOT GAUSSIAN HINDRANCES	53
<i>E.I. Begagoin, A.G. Rusakov</i> ESTIMATION OF ENERGETIC EFFICIENCY OF REGENERATIVE BRAKING	57
<i>V.F. Becker</i> INTRODUCTION DUPLEX SCALE GEOMETRIC SIMILARITY IN THE DESCRIPTION HYDRODYNAMICS THREEPHASE FLUIDIZED	61
<i>N.N. Bepalov, M.V. Ilyin, S.S. Kapitonov, A.V. Kapitonova</i> METHOD OF SELECTION OF POWER SEMICONDUCTOR DEVICES FOR SERIES GROUP CIRCUIT FOR POWER ELECTRONICS DEVICES	65
<i>N.N. Bepalov, A.E. Lysenkov</i> THE METHOD OF CREATING THERMAL-ELECTRICAL MODEL OF POWER MOSFET	69
<i>L.M. Boldyreva, I.V. Lashina</i> PROXIMITY ANALYSIS OBTAINING INFORMATION ON THE HUMAN BODY SURFACE	73
<i>O.V. Vasileva, G.P. Zhigulin</i> THE METHOD FOR FORMING A THREAT MODEL AND VIOLATORS INFORMATION SECURITY PRIVATE CLOUD INFRASTRUCTURE	78
<i>V.I. Volovach, A.V. Savenko</i> FEATURES OF CONSTRUCTION AND OPERATION OF TURNSTILE SENSORS OF RADIO ENGINEERING SYSTEMS OF DETECTION	81
<i>N.F. Gibadullin</i> EVALUATE THE ECOLOGICAL PRODUCTIVITY OF FORESTS FOR EXAMPLE FORESTS ZAKAMJA	86

<i>S.P. Ilyasov, A.V. Kornilov, D.V. Svyazhin</i> APPLICATION OF FUNCTIONAL REDUNDANCY LEVERAGE FOR RELIABILITY IMPROVEMENT OF INTEGRATED STANDBY INSTRUMENT SYSTEM	89
<i>A.V. Klyuchnikov, A.V. Kuznetsov, N.A. Kuzminykh, A.V. Lysyh</i> COMPUTER-AIDED SYSTEM DEVELOPMENT FOR CONTROL THE PARAMETERS OF COMPOSITE POWER SUPPLY DEVICES	93
<i>T.M. Kokina, R.N. Tazmeeva</i> SELECTION OF THE DYNAMIC RESEARCH PATTERN FOR THE EXIT SHAFT MECHANISM TORSIONAL OSCILLATION OF THE PNEUMO SPINNING FRAME	96
<i>M.A. Kulikov, S.G. Kozlov, O.R. Seredkina</i> DEPOSITION OF INSOLUBLE SALTS ON THE PROCESS EQUIPMENT PRODUCTION OF POTASSIUM CHLORIDE	100
<i>G.I. Lavrov, I.G. Lavrov</i> AUTOMATION OF THE LEVEL DETERMINATION OF TECHNOLOGICAL PARAMETERS IN THE WELL FOR 3D DIGITAL GEOLOGICAL MODELS	104
<i>A.I. Ljashenko, A.A. Matushkin</i> SIMULATION DEVICE KINEMATIC CHARACTERISTICS DELIVER PAYLOADS WITH REGARD ELASTIC PROPERTIES	109
<i>E.I. Makarov</i> ENGINE OIL TEMPERATURE MODE MODELLING	113
<i>A.N. Makarova</i> MAINTENANCE PERIODICITY CORRECTION OF AUTOMOBILES IN OPERATION	117
<i>I.A. Maltsev</i> ANALYSIS OF HEAT EQUIVALENT CIRCUIT SEMICONDUCTOR UNDER UNSTEADY THERMAL REGIME	121
<i>I.V. Mostyaev</i> QUALITY CONTROL COOLED BLADES FOR GAS TURBINE ENGINES DURING OPERATION USING EDDY CURRENT METHOD WITH THE USE OF MAGNETIC FLUID	126
<i>M.A. Nikolaev</i> WEB-COMPLEX OF THE THERMOPHYSICAL OPTIMIZATION FOR NPU	130
<i>E.K. Petenyov, S.V. Pushilin, V.B. Chemodanov</i> INTEGRATION OF CONTROL ACTIONS ON DIFFERENT CHANNELS IN A MULTICHANNEL SYSTEM OF CONTACTLESS CONTROL	134
<i>I.N. Petrov, A.D. Samsonov</i> TO A QUESTION OF CREATION OF SYSTEMS OF PHYSICAL PROTECTION OF AIRPORTS	139
<i>S.P. Sannikov, D.V. Kubasov</i> TECHNOLOGY OF CONSTRUCTION OF THE CONCRETE BASIS FRAGMENTED BY THE VOLUME PLASTIC LATTICE	143
<i>S.P. Sannikov, S.A. Kuyukov, D.V. Maslov</i> FAILURE ANALYSIS OF HIGHWAYS IN WETLANDS IN THE TYUMEN REGION (example Uvat region)	146
<i>M.Y. Sartasova</i> MATHEMATICAL MODEL AND ALGORITHM FOR CALCULATING PULSED ELECTROMAGNETIC FIELD	150
<i>A.V. Sokolov, S.L. Denisov</i> MULTIOBJECTIVE PROBLEM OF THE EXECUTIVE STAFF SOFTWARE AND HARDWARE CHOICE VIA EXPERT CONSULTING PROGRAMS METHODOLOGY	156
<i>I.S. Starodubtsev</i> MOTION CAPTURE BASED ON FLEXIBLE SKELETON HIERARCHY	159
<i>A.A. Testeshev, V.D. Timohovetz</i> CONTROL SPEED ON THE ROADS IN BAD WEATHER CONDITIONS IN WINTER PERIOD	163
<i>I.S. Fedorov, G.P. Jigulin</i> DATA STORAGE IN SYSTEM OF COMPUTER CRIMES PREVENTION AND EVIDENCE FORMATION BASED ON USER'S SCREEN CONROLING	167
<i>L.A. Feoktistova, I.P. Talipova, T.V. Rzaeva</i> STUDY OF TURBULENT FLOW IN A CIRCULAR TUBE WITH SUPERIMPOSED PULSATIONS FLOW	170
<i>R.R. Hamidova</i> STUDY OF THE PROBLEM OF ORGANIZATION AND EVALUATION OF FOOD QUALITY	174

<i>I.V. Hramtsov, V.Ya. Modorsky</i> FORMATION OF ENGINEERING METHODS NUMERICAL SIMULATION OF DEFORMATION PIPELINE WITH REGARD reinforces IMPACT OF SOIL	177
<i>D.E. Tsygankov, S.V. Ryabov</i> FORMAL PRESENTATION OF FUNCTIONALLY ADAPTED CAD “WAVEGUIDE HORN ANTENNAS” CLASS OF TECHNICAL OBJECTS	181
<i>A.S. Shaykin, E.V. Shaykina</i> HARDWARE AND SOFTWARE TOOLS FOR DEBUGGING MEASURING SYSTEMS, WHICH INCLUDES LOCATION AND POSITION SENSORS	185
<i>P.P. Yurygin, I.S. Gudanov, G.M. Goncharov, A.A. Lomov, Y.B. Lavrentiev</i> EXPERIMENTAL STUDY OF LAYERED FLOW OF VISCOELASTIC FLUID IN CYLINDRICAL CHANNELS OF EXTRUSION DIE	190
<b>ABSTRACTS</b>	196

02.13.00

**В.С. Минкин, Б.Н. Иванов, Р.Х. Зиятдинов, Р.Н. Костромин**

ФГБОУ ВПО «КНИТУ», г. Казань

**СТРОЕНИЕ РАЗВЕТВЛЕННЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ЖИДКИХ ТИОКОЛОВ**

*Проведен статистический анализ спектров ЯМР <sup>13</sup>C и <sup>1</sup>H промышленных и лабораторных образцов тиоколов. Показано, что по интегральным интенсивностям спектров ЯМР <sup>13</sup>C можно определять количественно степень разветвленности промышленных жидких тиоколов. По спектрам ЯМР <sup>13</sup>C был проведен количественный анализ степени разветвленности жидких тиоколов.*

Ключевые слова: жидкие тиоколы, степень разветвленности и превращения, ядерный магнитный резонанс.

Свойства жидких тиоколов зависят от степени их разветвленности, которая определяется количеством вводимого при синтезе разветвляющего агента - 1,2,3-трихлорпропана (ТХП) [1]. Поэтому важно проводить количественный анализ степени разветвленности олигомеров и степени превращения ТХП. Химические методы не дают возможности такого анализа.

Ранее [2] при исследовании строения разветвленных жидких тиоколов методами ЯМР - <sup>1</sup>H и - <sup>13</sup>C спектроскопии было установлено, что не весь вводимый ТХП участвует в образовании длинноцепочечных разветвлений. Особенно заметно это проявляется в тиоколах, содержащих большие количества вводимого разветвляющего агента.

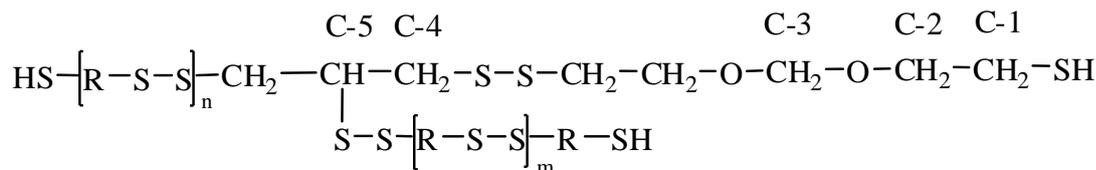
В данной работе с помощью метода ЯМР высокого разрешения на ядрах <sup>13</sup>C измерены количественные соотношения степени разветвленности ряда промышленных жидких тиоколов как отечественного, так и зарубежного производства.

В работе использовались промышленные жидкие тиоколы со следующими характеристиками (таблица 1).

Таблица 1. Характеристики промышленных жидких тиоколов.

№ обр.	Марка тиокола	Содержание железа, %	SH, %	Содержание серы, %	η, Па·С	Содержание ТХП, % мол.
1	158	0,014	2,16	39,8	37,9	2
2	374	0,013	2,1	39,0	33,4	2
3	266	0,021	1,98	39,2	41,2	2
4	574	0,013	2,25	39,0	36,0	2
5	437	0,012	1,92	39,0	47,8	2
6	LP-2	0,002	1,23	36,9	33,2	2

Строение разветвленного жидкого тиокола может быть представлено в виде [3]:



где R = —CH<sub>2</sub>—CH<sub>2</sub>—O—CH<sub>2</sub>—O—CH<sub>2</sub>—CH<sub>2</sub>—

Ниже приведены химические сдвиги и соответствующие им фрагменты структуры разветвленного тиокола.

Атом углерода	C1	C2	C3	C4	C5	C6
Функциональная группа	CH <sub>2</sub> SH	OCH <sub>2</sub>	OCH <sub>2</sub> O	CH <sub>2</sub> S	CHSS	CHCl
$\delta^{13}\text{C}$ , м.д.	23	65	96	39	91	71

Ранее было показано [3], что в спектрах ЯМР  $^{13}\text{C}$  жидких тиоколов длинноцепочечные разветвления приводят к появлению сигнала от ядер углерода C-5. Наличие вторичного атома хлора в молекуле ТХП приводит к некоторому снижению степени разветвленности олигомеров и к появлению в цепи олигомеров фрагментов, содержащих атомы хлора, что приводит к появлению в спектре сигнала ядер углерода C-6.

Статистический анализ спектров ЯМР  $^{13}\text{C}$  и  $^1\text{H}$  промышленных и лабораторных образцов тиоколов свидетельствует о том, что характер наблюдаемых спектров, интенсивность сигналов, наличие и разброс химических сдвигов отдельных групп олигомеров сильно зависят от нескольких причин. В первую очередь к ним относятся: время хранения тиоколов, содержание примесей и общей серы в образцах. Указанные причины, как известно, сильно влияют на скорость и протекание в тиоколах реакций межцепного тиол-дисульфидного и дисульфид-дисульфидного обмена [1]. Кроме того, известно, что в присутствии лабильной серы и протекании в массе олигомера обменных реакций сильно изменяется активность кислородсодержащих формальных групп  $-\text{OCH}_2\text{O}-$  и  $-\text{OCH}_2-$  вводимого в олигомерную цепь пропанового звена [1,2].

Для промышленных жидких тиоколов наличие обменных реакций и повышенная активность протонов пропановых фрагментов могут привести к появлению новых структур или перестройке старых разветвленных фрагментов. Во многих случаях эти факторы и определяют реально наблюдаемое разветвление в промышленных образцах различной конформации.

Используя для записи спектров ЯМР С методику управляемой развязки с учетом значений времен спин-решеточной релаксации  $T_1$  отдельных ядер  $^{13}\text{C}$  жидких тиоколов [3], можно по интегральным интенсивностям спектров ЯМР  $^{13}\text{C}$  определять количественно степень разветвленности промышленных жидких тиоколов.

ЯМР  $^{13}\text{C}$  спектры промышленных тиоколов записывались в условиях управляемой широкополосной развязки спин-спинового взаимодействия с протонами. Измеренные значения времен релаксации  $T_1$  отдельных функциональных групп тиоколов (наибольшим  $T_1$  характеризуется  $\text{CH}_2\text{S}$ -группа и составляет 1 сек.) позволили установить необходимый для достижения равновесного состояния интервал времени (5 с) [2].

Полученный при использовании данной методики характерный спектр разветвленного тиокола приведен на рис. 1.

Учитывая симметрию молекулы тиокола, сигналы ядер C2 и C4 ( $\text{OCH}_2$  и  $\text{SCH}_2$  групп соответственно) должны иметь одинаковую интегральную интенсивность, а интенсивность сигнала, ядра C3 ( $\text{OCH}_2\text{O}$  группы) в два раза меньше по сравнению с C2 и C4, поскольку  $\text{OCH}_2\text{O}$  групп в молекуле тиокола в два раза меньше, чем  $\text{OCH}_2-$  и  $\text{SCH}_2-$  групп.

Из рис.1 следует, что отношения наблюдаемых интегральных интенсивностей ядер C3:C2:C4 = 1:2:2, что хорошо совпадает с предполагаемыми соотношениями.

Аналогичный вид имеют спектры ЯМР  $^{13}\text{C}$  остальных промышленных партий разветвленных жидких тиоколов.

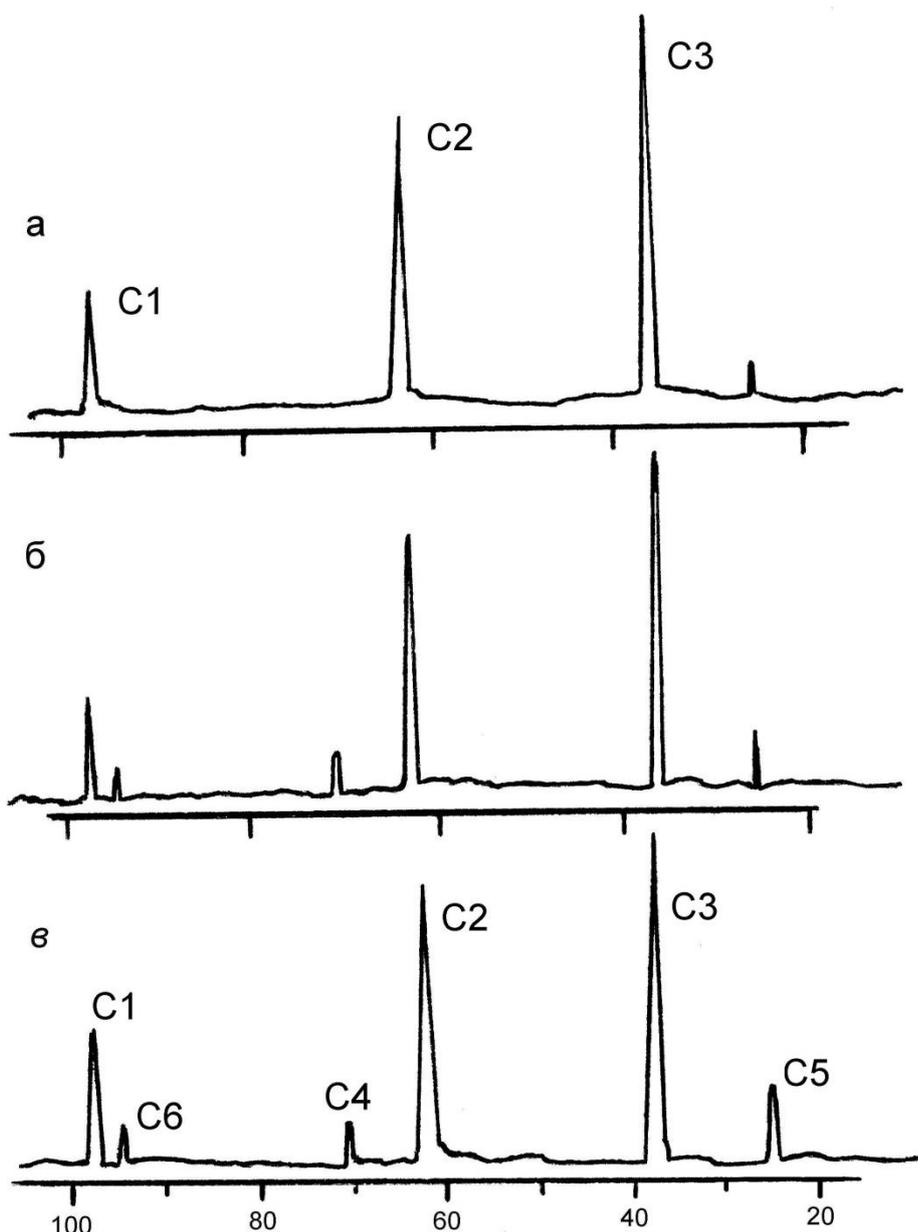


Рисунок 1 – Спектры ЯМР <sup>13</sup>С линейного (а) и разветвленных (б, в) тиоколов при содержании ТХП 3% (б) и 5% мол. (в).

По полученным спектрам ЯМР <sup>13</sup>С был проведен количественный анализ степени разветвленности жидких тиоколов (таблица 2).

Таблица 2. Количественное соотношение разветвленных хлорзамещенных фрагментов промышленных тиоколов.

№	Марка тиокола	Разветвленные фрагменты, %	Хлорзамещенные фрагменты, %
1	156	26	6
2	374	22	6
3	266	32	12
4	574	36	12
5	437	29	9
6	L P - 2	25	5

Таким образом, количество разветвленных фрагментов в макромолекулах жидких тиоколов составляет одну четвертую или одну третью часть от общего числа линейных макромолекул. Содержание хлорнезамещенных фрагментов, приведенное относительно количества введенного при синтезе ТХП, колеблется от 6 до 12% и имеет более высокий порядок, чем у импортного тиокола LP-2 .

Последнее оказывает влияние на кинетику вулканизации и структуру вулканизатов жидких тиоколов [3-5].

#### *Список литературы*

1. *Минкин В.С.* ЯМР в промышленных полисульфидных олигомерах, Абак, Казань, 1997, 222 с.;
2. *Хакимуллин Ю.Н., Минкин В.С., Палютин Ф.М., Дебердеев Т.Р.* Герметики на основе полисульфидных олигомеров: синтез, свойства, применение, М., Наука, 2007, 302 с.;
3. *Минкин В.С. и др.* Высокомолекулярные соединения, 1982, сер. Б, с. 712-716;
4. *Минкин В.С., Иванов Б.Н., Чистяков В.В., Костромин Р.Н.* Новые герметизирующие композиции на основе полисульфидных олигомеров. Сообщение 1. Вестник Казанского технологического университета, Казань, 2011, № 18, с. 316-318;
5. *Минкин В.С., Иванов Б.Н., Чистяков В.В., Костромин Р.Н.* Новые герметизирующие композиции на основе полисульфидных олигомеров. Сообщение 2. Вестник Казанского технологического университета, Казань, 2011, № 19, с. 291-293.

## ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

01.01.05

**В.В. Браништи**

Сибирский государственный аэрокосмический университет  
имени академика М.Ф. Решетнёва, институт информатики и телекоммуникаций,  
кафедра высшей математики, Красноярск, branishti-v-v@yandex.ru

### О ПАРАМЕТРИЧЕСКОМ ОЦЕНИВАНИИ ФУНКЦИИ ПЛОТНОСТИ ВЕРОЯТНОСТИ

*В работе рассматривается задача параметрического оценивания неизвестной функции плотности вероятности по выборке значений случайной величины. Оценка функции плотности вероятности строится в виде линейной комбинации ортонормированных функций. Находятся выборочные оценки количества ортонормированных функций и коэффициентов. Выполняется сравнение эффективности аппроксимации при различных ортонормированных системах.*

Ключевые слова: *функция плотности вероятности, ортонормированные системы, метод наименьших квадратов.*

**Введение.** Задача оценивания неизвестной функции плотности вероятности непрерывной случайной величины часто встречается в различных областях науки и техники. Функция плотности вероятности используется при проверке статистических гипотез, при решении различных задач классификации, распознавания образов, восстановления зависимостей и др. Одним из распространённых подходов к решению этой задачи является построение функции плотности вероятности в виде линейной комбинации ортонормированных функций с неизвестными коэффициентами. Эти коэффициенты можно настроить, исходя из условия минимума среднеквадратической ошибки аппроксимации. Однако не существует системы ортонормированных функций, оптимальной одновременно для всех законов распределения исследуемой случайной величины. В данной работе исследуется эффективность оценки функции плотности вероятности при различных системах ортонормированных функций.

**Настройка параметров оценки.** Пусть  $X$  – непрерывная случайная величина, носителем которой является интервал  $(-1, 1)$ ,  $f(x)$  – неизвестная функция плотности вероятности случайной величины  $X$ ,  $\{x_1, \dots, x_n\}$  – независимая выборка случайной величины  $X$ . Оценку функции плотности будем искать в виде:

$$\hat{f}(x) = a_0\varphi_0(x) + \dots + a_n\varphi_n(x) \quad (1)$$

где  $\{\varphi_0, \dots, \varphi_k\}$  – система ортонормированных на отрезке  $[-1, 1]$  функций, т.е.

$$\int_{-1}^1 \varphi_i(x)\varphi_j(x)dx = \begin{cases} 1, & i = j \\ 0, & i \neq j \end{cases}, \quad i, j = \overline{0, k} \quad (2)$$

Параметры  $a_0, \dots, a_k$  будем искать из условия минимума глобальной среднеквадратичной ошибки аппроксимации:

$$\int_{-1}^1 M \left\{ \left( \hat{f}(x) - f(x) \right)^2 \right\} dx \rightarrow \min. \quad (3)$$

Оптимизация данного функционала по  $a_0, \dots, a_k$  даёт следующие оптимальные значения параметров [1]:

$$a_j^* = M \{ \varphi_j(x) \}, \quad j = \overline{0, k} \quad (4)$$

Так как математические ожидания, входящие в формулу, неизвестны, то по имеющейся выборке находятся их оценки:

$$a_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \varphi_j(x_i) \quad (5)$$

Параметр  $k$  существенно влияет на качество аппроксимации. Его оптимальное значение также можно найти из условия (3). С учётом (5) условие (3) принимает вид:

$$\frac{1}{n} \sum_{j=0}^k D\{\varphi_j(X)\} - \sum_{j=0}^k M^2\{\varphi_j(X)\} + \int_{-1}^1 f^2(x) dx \rightarrow \min \quad (6)$$

Слагаемое  $\int_{-1}^1 f^2(x) dx$  не зависит от  $k$ , поэтому его можно опустить:

$$W_k(\varphi_0, \dots, \varphi_k) = \frac{1}{n} \sum_{j=0}^k D\{\varphi_j(X)\} - \sum_{j=0}^k M^2\{\varphi_j(X)\} \rightarrow \min \quad (7)$$

Численные эксперименты показывают, что функционал  $W$  имеет минимум по  $k$ , поэтому существует некоторое оптимальное значение  $k^*$ .

Однако входящие в выражение для  $W$  моменты  $M\{\varphi_j(X)\}$  и  $D\{\varphi_j(X)\}$  неизвестны, поэтому для нахождения выборочного значения  $k$  была построена несмещённая оценка функционала  $W$ :

$$\hat{W}_k(\varphi_0, \dots, \varphi_k) = \frac{2}{n} \sum_{j=0}^k s_{\varphi_j}^2 - \sum_{j=0}^k m_{\varphi_j}^2, \quad (8)$$

где

$$m_{\varphi_j} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \varphi_j(x_i), \quad s_{\varphi_j}^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\varphi_j(x_i) - m_{\varphi_j})^2.$$

Непосредственная проверка показывает, что

$$M\{\hat{W}_k(\varphi_0, \dots, \varphi_k)\} = W_k(\varphi_0, \dots, \varphi_k).$$

**Выбор системы ортонормированных функций.** Не трудно видеть, что если  $\{v_0(x), \dots, v_k(x)\}$  – система интегрируемых с квадратом ортогональных на множестве  $\Omega$  функций, то систему ортонормированных на этом же множестве функций можно построить следующим образом:

$$\varphi_j(x) = \frac{v_j(x)}{\sqrt{\int_{\Omega} v_j^2(x)}}, \quad j = \overline{0, k}.$$

Таким образом в данной работе рассматривается несколько систем ортонормированных функций, построенных на основе следующих ортогональных систем:

1) многочлены Лежандра [2]:

$$P_n(x) = \frac{1}{n! 2^n} \frac{d^n}{dx^n} (x^2 - 1)^n, \quad \int_{-1}^1 P_m(x) P_n(x) dx = \begin{cases} 0, & n \neq m \\ \frac{2}{2n+1}, & n = m \end{cases}$$

2) многочлены Чебышёва [2]:

$$T_n(x) = \cos(n \arccos x), \quad \int_{-1}^1 \frac{T_n(x) T_m(x)}{\sqrt{1-x^2}} dx = \begin{cases} 0, & n \neq m \\ \frac{\pi}{2}, & n = m \neq 0 \\ \pi, & n = m = 0 \end{cases}$$

3) многочлены Эрмита [2]:

$$H_n(x) = (-1)^n e^{x^2} \frac{d^n}{dx^n} e^{-x^2}, \quad \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{H_n(x) H_m(x)}{e^{x^2}} dx = \begin{cases} 0, & n \neq m \\ \sqrt{\pi} 2^n n!, & n = m \end{cases}$$

4) система слагаемых ряда Фурье [4]:

$$\varphi_n(x) = \begin{cases} 1/\sqrt{2}, & n = 0 \\ \cos(n\pi x), & n \in 2\mathbb{Z} \\ \sin(n\pi x), & n \in 2\mathbb{Z} - 1 \end{cases}, \quad \int_{-1}^1 \varphi_n(x)\varphi_m(x)dx = \begin{cases} 0, & n \neq m \\ 1, & n = m \end{cases}$$

Каждая из построенных ортонормированных систем использовалась для построения оценки функции плотности вероятности.

**Численный эксперимент.** Для восстановления функции плотности вероятности были взяты следующие законы распределения случайных величин с носителями из интервала (-1; 1):

$$1) f_1(x) = \begin{cases} 2(1+4|x|)(1-2|x|), & |x| \leq \frac{1}{2} \\ 0, & |x| > \frac{1}{2} \end{cases} \quad (\text{непрерывная функция с непрерывной}$$

производной);

$$2) f_2(x) = \begin{cases} \sqrt[3]{\frac{9}{16}} - x^3, & |x| \leq \sqrt[3]{\frac{3}{4}} \\ 0 & |x| > \sqrt[3]{\frac{3}{4}} \end{cases} \quad (\text{непрерывная функция с разрывной производной});$$

$$3) f_3(x) = \begin{cases} 2-4|x|, & |x| \leq \frac{1}{2} \\ 0, & |x| > \frac{1}{2} \end{cases} \quad (\text{симметричное треугольное распределение, непрерывная}$$

функция с разрывной производной);

$$4) f_4(x) = \begin{cases} 1, & |x| \leq \frac{1}{2} \\ 0, & |x| > \frac{1}{2} \end{cases} \quad (\text{симметричный равномерный закон, разрывная функция});$$

$$5) f_5(x) = \begin{cases} 1, & x \in (0, 1) \\ 0, & x \in (-\infty, 0] \cup [1, +\infty) \end{cases} \quad (\text{несимметричный равномерный закон, разрывная}$$

функция).

Для каждой системы ортонормированных функций на каждом законе распределения рассчитывалось значение относительной глобальной ошибки аппроксимации при  $n = 100$ :

$$u^2 = \frac{\int_{-1}^1 M \left\{ \left( \hat{f}(x) - f(x) \right)^2 \right\} dx}{\int_{-1}^1 f^2(x) dx} \quad (9)$$

Так как теоретический расчёт этого значения затруднён, то данные значения оценивались статистически по 900 повторениям эксперимента. Результаты расчётов занесены в таблицу. Погрешность определялась статистически по правилу «3σ» [3]. Результаты получены с помощью программной системы Wolfram Mathematica® 8.0 .

Таблица – Относительная глобальная ошибка аппроксимации (в процентах) при различных системах ортонормированных функций.

восстанавливаемая плотность система ортонорм. функций	$f_1(x)$	$f_2(x)$	$f_3(x)$	$f_4(x)$	$f_5(x)$
Лежандра	2.3±0.2	5.4±0.6	2.8±0.2	9.0±0.3	9.1±0.4
Чебышёва	2.5±0.3	3.6±0.4	3.0±0.3	8.9±0.3	9.6±0.4
Эрмита	7.1±0.6	2.5±0.2	4.6±0.1	10.9±0.1	10.9±0.1
Фурье	3.1±0.4	5.1±0.5	3.6±0.4	10.2±0.4	9.5±0.4

Из таблицы видно, что разные законы распределения эффективно восстанавливаются разными системами ортонормированных функций. Однако система, основанная на слагаемых ряда Фурье, ни в одном случае не показала лучшего результата. Кроме того, разрывы в функции плотности существенно ухудшили аппроксимацию для любой из рассмотренных систем.

В данной работе рассматривались законы распределения случайных величин с носителями из интервала  $(-1, 1)$ . При помощи преобразований масштабирования и сдвига можно исследовать восстановление плотности вероятности случайных величин с любыми ограниченными носителями.

Также данная методика сравнения качества аппроксимации может быть применена для сравнения с непараметрическим подходом оценивания плотности вероятности, основанным на оценках Розенблатта и Парзена [5, 6].

### *Список литературы*

1. *Лепский А.Е., Броневиц А.Г.* Математические методы распознавания образов: курс лекций. – Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2009. – 155 с.
2. *Никифоров А.Ф., Уваров В.Б.* Специальные функции математической физики. – М.: Наука, 1984. – 345 с.
3. *Третьяк Л.Н.* Обработка результатов измерений: учебное пособие. – Оренбург: Изд-во ОГУ, 2004. – 171 с.
4. *Фихтенгольц Г.М.* Курс дифференциального и интегрального исчисления: в 3 томах. Том 3. – 8-е изд. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. – 728 с.
5. *Parzen E.* On estimation of a probability density function and mode // *The Annals of Mathematical Statistics.* – 1962. Vol. 35, № 3. – Pp. 1065–1076.
6. *Rosenblatt M.* Remarks on some nonparametric estimates of a density function // *The Annals of Mathematical Statistics.* – 1956. Vol. 27, № 3. – Pp. 832–837.

01.02.05

**А.И. Варавва, А.В. Татосов**

Тюменский государственный университет,  
Институт математики и компьютерных наук, кафедра математического моделирования,  
Тюмень, artevar@yandex.ru, atatosov@utmn.ru

### ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕРМОКАПИЛЛЯРНЫХ ТЕЧЕНИЙ

*Предложен численный метод расчета термокапиллярных течений. Метод основан на введении в уравнение движения сил, обусловленных касательными напряжениями, которые возникают на межфазных поверхностях. Приведен пример расчета течения, возникающего в неравномерно нагретом слое жидкости.*

Ключевые слова: *течение жидкости, температура, поверхностное натяжение.*

#### Введение

В системе уравнений ряда работ [1-3], лежащих в основе программного кода OpenFoam, пренебрегают тангенциальной компонентой поверхностной силы, возникающей на границе раздела фаз, ввиду малости градиента поверхностного натяжения. Однако эта сила приводит ко многим важным эффектам, например, к вызванным температурной неоднородностью вдоль раздела фаз термокапиллярным течениям, которые являются существенными для ряда технологических процессов и научно-исследовательских методов в таких областях, как лазерная диагностика жидкостей, микрофлюидика [4-6]. Цель данной работы состояла в исследовании возможности численного моделирования таких течений.

#### Математическая модель

Рассмотрим двухфазную среду. Фазы предполагаются несжимаемыми, фазовые переходы отсутствуют, свойства жидкостей не зависят от температуры за исключением поверхностного натяжения. Течение жидкостей, отделенных границей раздела фаз, описывается одним уравнением движения и одним уравнением неразрывности [3]

$$\begin{cases} \nabla \vec{U} = 0, \\ \frac{\partial(\rho \vec{U})}{\partial t} + \nabla(\rho \vec{U} \vec{U}) = -\nabla p + \nabla(\mu \nabla \vec{U}) - \rho \vec{g} + \vec{f}_{sv}. \end{cases} \quad (1)$$

Система (1) дополняется уравнением переноса объемного содержания первой фазы

$$\frac{\partial \alpha_1}{\partial t} + \nabla(\vec{U} \alpha_1) + \nabla(\vec{U}_r \alpha_1 (1 - \alpha_1)) = 0, \quad (2)$$

$\vec{U}_r$  – относительная скорость движения фаз, рассчитывается, как максимальное значение амплитуды скорости в поверхностном слое вблизи расчетного узла  $\vec{x}_p$  контрольного объема  $V_p$  и направлена по нормали к границе раздела фаз  $\vec{n}$

$$\vec{U}_r = \vec{n} \cdot \max_{\vec{x}_p \in V_p} (|\vec{U}|).$$

Второй добавочный член в уравнении (2) часто называют «искусственной сжимаемостью», он отвечает за «сжатие» границы раздела в направлении градиента функции  $\alpha_1$  и таким образом и препятствует размытию контактных поверхностей. В областях смешения фаз параметры смеси усредняются

$$\rho = \alpha_1 \rho_1 + (1 - \alpha_1) \rho_2, \quad \mu = \mu_1 \rho_1 + (1 - \alpha_1) \mu_2.$$

Описанный выше метод реализован в открытом пакете OpenFoam. Для интегрирования системы уравнений (1)-(2) в данном пакете используется широко известный метод контрольного объема [7].

#### Поверхностная сила

Характеристики поверхности  $S$  раздела фаз определяются распределением функции  $\alpha_1$  по следующим формулам:

- нормаль к поверхности раздела

$$\vec{n} = \frac{\nabla\alpha_1}{|\nabla\alpha_1|}, \quad (3)$$

- кривизна поверхности

$$k = -\nabla\vec{n} = -\nabla \frac{\nabla\alpha_1}{|\nabla\alpha_1|}. \quad (4)$$

Зная эти характеристики можно определить силу поверхностного натяжения, действующую на границу раздела фаз [3]. Рассмотрим площадку  $\delta A$  на поверхности раздела фаз, ограниченную контуром  $C$  (рис. 1). Поверхностная сила, действующая на элемент контура  $dl$  равна  $\sigma\vec{\tau}dl = \sigma(\vec{dl} \times \vec{n})$ . Тогда поверхностная сила  $\vec{f}_s$ , действующая на элементарную площадку  $\delta A$

$$\vec{f}_s \delta A = \oint_C \sigma(\vec{dl} \times \vec{n}) = \int_{\delta A} dA(\vec{n} \times \nabla) \times (\sigma\vec{n}) = \delta A[(\vec{n} \times \nabla) \times (\sigma\vec{n})],$$

$$\vec{f}_s = (\vec{n} \times \nabla) \times (\sigma\vec{n}). \quad (5)$$

Из (5) можно выделить нормальную

$$\vec{f}_s^n = -(\sigma\vec{n}) \cdot \nabla\vec{n} = k\sigma\vec{n}, \quad (6)$$

и тангенциальную составляющую

$$\vec{f}_s^\tau = \nabla_\tau \sigma. \quad (7)$$

В [3] выполнено преобразование нормальной составляющей (6) поверхностной силы в объемную силу  $\vec{F}_{sv}$ . Для этого рассматривается предел

$$\lim_{h \rightarrow 0} \int_{\Delta V} \vec{f}_{sv} dV = \int_{\Delta S} \vec{f}_s dS = \int_{\Delta V} \vec{f}_s \delta_\Gamma dV, \quad (8)$$

где  $\delta_\Gamma = \delta[\vec{n} \cdot (\vec{x} - \vec{x}_s)]$  – дельта-функция Дирака.

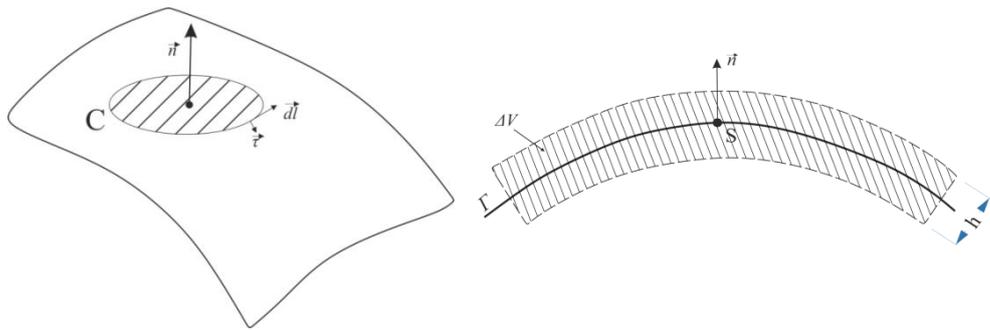


Рис. 1– Граница раздела фаз

Показывается, что с точностью  $o\left(\left(\frac{h}{R_s}\right)^2\right)$  выполняется

$$\nabla\alpha_1 \approx \vec{n} \cdot \delta[\vec{n} \cdot (\vec{x} - \vec{x}_s)], \quad (9)$$

где  $h = V^{-1/3}$  – средний размер контрольного объема, через который проходит граница,  $R_s = \frac{1}{2k}$  – средний радиус ее кривизны.

Представим объемной силой обе составляющие (6) и (7). Применяя к указанным выражениям преобразование (8) и учитывая соотношения (3), (9), для объемной силы поверхностного натяжения  $\vec{f}_{sv}$  будем иметь

$$\vec{f}_{sv} = k\sigma \cdot \nabla\alpha_1 + \nabla_\tau \sigma \cdot |\nabla\alpha_1|. \quad (10)$$

Вычисление градиента  $\nabla_\tau \sigma$  вдоль поверхности раздела фаз весьма неудобно с практической точки зрения, так как граница раздела фаз оказывается искривленной и заранее неизвестной. Будем считать, что поверхностное натяжение однозначно определяется температурой

$$\sigma = \sigma(T); \quad \nabla_\tau \sigma = \nabla_\tau T \cdot \frac{\partial \sigma}{\partial T} = \nabla_\tau T \cdot \sigma_T. \quad (11)$$

Тогда перейти от градиента температуры, определенной уже во всей расчетной области, вдоль поверхности раздела фаз  $\nabla_{\tau}T$  к объемному градиенту можно по следующей формуле

$$\nabla_{\tau}T = \nabla T - \vec{n} \cdot (\vec{n} \cdot \nabla T). \quad (12)$$

Таким образом, результирующее выражение для вычисления объемной силы поверхностного натяжения  $\vec{f}_{sv}$  имеет вид

$$\vec{f}_{sv} = k\sigma \cdot \nabla\alpha_1 + [\nabla T - \vec{n} \cdot (\vec{n} \cdot \nabla T)] \cdot \sigma_T \cdot |\nabla\alpha_1|. \quad (13)$$

Программа OpenFoam является пакетом C++ библиотек с открытым кодом, доступным для модификации. С целью учета, описанного выше термокапиллярного эффекта, в систему уравнений (1)-(2) программного комплекса OpenFoam было добавленное дополнительное слагаемое:

```
reconstruct
(
  fvc::interpolate(sigma*k)*fvc::snGrad(alpha1)
  + TGradS*sigmaT*mag(fvc::interpolate(fvc::grad(alpha1)))
);
TGradS = fvc::snGrad(T) -
(
  fvc::interpolate(fvc::grad(T))&normal
  * ( normal&mesh.Sf() / (mag(mesh.Sf()) )
);
```

что соответствует выражению (13). Использование пространства имен *fvc(FiniteVolumeCalculus)* говорит о том, что данное слагаемое учитывается в уравнении неявно. Использование функций *interpolate* и *reconstruct* связано с тем, что все градиенты вычисляются на границах контрольного объема, а не в узловых точках [9].

### Результаты расчетов

Для проверки модифицированной программы бы проведен расчет движения жидкости в тонком неравномерно нагретом слое, внутри непроницаемой прямоугольной каверны. Первая фаза – жидкость, вторая – газ, находящийся выше. При расчетах использовались следующие константы:

- Геометрия:

$$L = 30 \text{ мм}; h = 15 \text{ мм}; (h_1)_{t=0} = 2,5 \text{ мм}.$$

- Свойства флюидов:

$$\rho_1 = 1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}; \rho_2 = 1 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3};$$

$$\nu_1 = 10^{-4} \frac{\text{м}^2}{\text{с}}; \nu_2 = 1,48 \cdot 10^{-5} \frac{\text{м}^2}{\text{с}}.$$

Распределение температуры по длине каверны задавалось функцией вида

$$T = T_0 + 0.5T_{\max} \cdot \left[ 1 - \tanh\left(\frac{2x - L}{aL}\right) \right];$$

$$T_0 = 293 \text{ K}; T_{\max} = 353 \text{ K}; a = 0.33.$$

Модельная зависимость коэффициента поверхностного натяжения от температуры для простоты принималась линейной

$$\sigma - \sigma_0 = \sigma_T \cdot (T_0 - T(x));$$

$$\sigma_0 = 0.07 \text{ мН} \cdot \text{м}; \sigma_T = 0.5 \frac{\text{мН} \cdot \text{м}}{\text{К}}.$$

При расчетах для всех стенок каверны ставилось граничное условие обращения в нуль скорости. Начальное условие соответствовало гидростатическому равновесию в поле тяжести.

Возникающая тангенциальная к поверхности раздела фаз сила приводит со временем к стационарному движению жидкости, в результате чего толщина слоя будет меняться,  $h_1 = h_1(x)$ . Известно теоретическое описание возникающего динамического равновесия [8].

Расчетная зависимость толщины слоя по длине каверны хорошо совпадает с теоретической (рис. 2), что говорит об адекватности используемой модели.

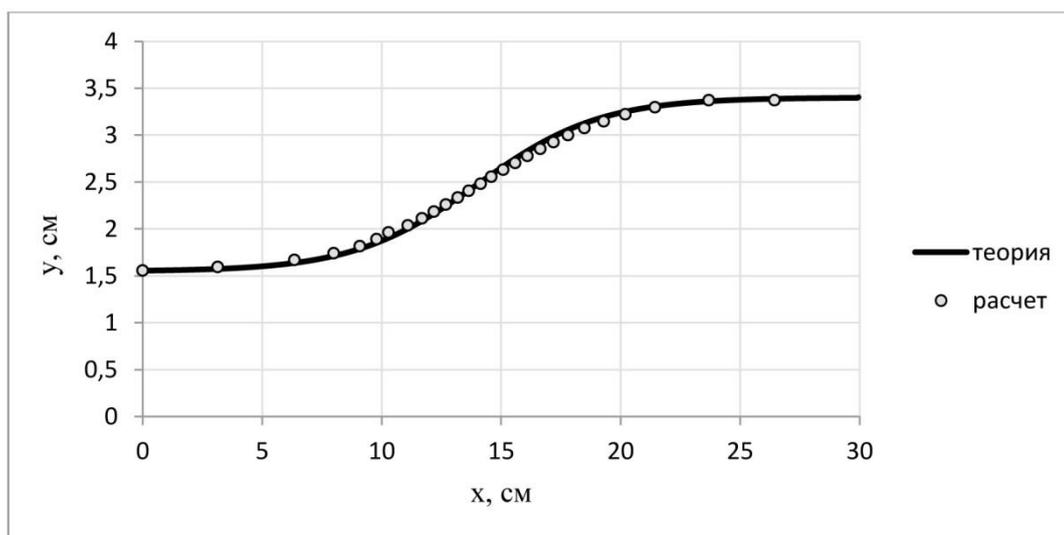


Рис. 2 – Изменение толщины слоя жидкости по длине каверны

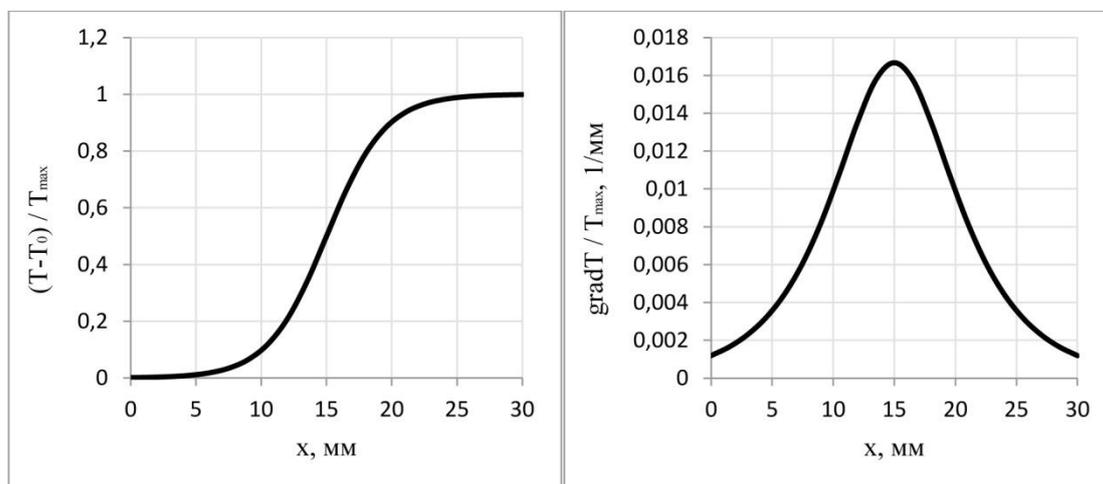


Рис 3 – Распределение температуры по длине каверны

### **Заключение**

В работе исследована возможность моделирования термокапиллярных течений в открытом программном пакете OpenFOAM. Для этого была модифицирована подпрограмма interFOAM, введением дополнительного слагаемого в уравнение движения. Для проверки проведен численный расчет течения, возникающего в неравномерно нагретой тонкой пленке жидкости. Результаты моделирования совпали с высокой точностью с известным аналитическим решением.

**Список литературы**

1. *Hirt C.W., Amsden A.A., Cook J.I.* An arbitrary Lagrangian-Eulerian computing method for all flow speeds // *J. Comp. Physics* – 1974 – vol. 14 – P. 227-253.
2. *Hirt C.W., Nichols B.D.* Volume of Fluid (VOF) method for the dynamics of free boundaries // *J. Comp. Physics* – 1981 – vol. 39 – P. 201-225.
3. *Brackbill J.U., Kothe D.B., Zemach C.* A continuum method for modeling surface tension // *J. Comp. Physics* – 1992 – vol. 100 – P. 335-354.
4. *Непомняшчы А., Симаковский И., Легрос Ж.С.* Interfacial Convection in Multilayer Systems. – Springer, New York, 2012.
5. *Bratsun D.A., De Wit A.* On Marangoni convective patterns driven by an exothermic chemical reaction in two-layer systems // *Phys. of fluids* – 2004 – vol. 16, No. 4. – P. 1083-1096.
6. *Иванова Н.А., Безуглый Б.А.* Влияние толщины жидкого слоя на рост капли, управляемый тепловым действием лазерного излучения. // *Письма в ЖТФ.* – 2009. – том 35. – № 7. – С. 1-7.
7. *Патанкар С.В.* Численные методы решения задач теплообмена и динамики жидкости – перевод с англ. – М.: Энергоатомиздат, 1984
8. *Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М.* Теоретическая физика. Т.VI. Гидродинамика. – М.: Наука, 1988.

01.01.06

**В.В. Дружинин**

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»  
Саровский физико-технический институт,  
кафедра высшей математики,  
г. Саров, vvdr@newmail.ru

## РЕШЕТО ТИПА ЭРАТОСФЕНА ДЛЯ ПРОСТЫХ ЧИСЕЛ-БЛИЗНЕЦОВ

*Вопрос о конечном или бесконечном числе простых чисел-близнецов рассматривается с точки зрения решета типа Эратосфена для этих чисел. Аналитически и по численным экспериментам получено указание о том, что число таких пар бесконечно.*

Ключевые слова: *простые числа-близнецы, решето Эратосфена, распределение.*

1. Парамии близнецов (ПБ) среди простых чисел (ПЧ)  $p \in \mathbb{P}$  называются ПЧ  $p(m, \pm) = 6m \pm 1, m \in \mathbb{N}$ , стоящие в ряду нечетных чисел рядом. В теории чисел нет официального решения вопроса, конечно или бесконечно [1- 6] количество ПБ? В данной работе мы приводим аргументы в пользу бесконечности количества ПБ.

Все нечетные числа, кроме числа «1» и чисел кратных «3», образуют пары нечетных чисел (ПНЧ) вокруг четных чисел вида  $6m$ . Анализ мы ведем для ПБ, начиная со второй ПБ (5; 7). Разделим все  $\{p\}$  на парные ПЧ  $\{\hat{p}\}$ , входящие в ПБ и на не парные ПЧ  $\{\bar{p}\}$  – не входящие в эти ПБ. Например,  $\{\hat{p}\} = \{(5; 7); (11; 13); (17; 19); \dots\}$ ,  $\{\bar{p}\} = \{23; 37; 47; 53; 67; 79; 83; \dots\}$ .

Составные числа обозначим через  $\{s\}$ .

Далее центры пар  $t$  разделим на три класса: хорошие  $\hat{m}$ , являющиеся центром ПБ; плохие  $\bar{m}_1$ , не создающие ПБ, но содержащие  $\bar{p}, (\bar{p}; s)$ ;  $\bar{m}_2$  (второй вид плохих центров) дают пару из составных чисел  $(s_1; s_2)$ . Например,  $\hat{m} = 40$  дает ПБ ( $\hat{p}_1 = 239$ ;  $\hat{p}_2 = 241$ );  $\bar{m}_1 = 4$  дает пару ( $\bar{p} = 23$ ;  $s = 5^2$ );  $\bar{m}_2 = 20$  дает пару ( $s_1 = 7 \cdot 17$ ;  $s_2 = 11^2$ ).

2. Появление ПБ мы определяем решето типа Эратосфена на множестве  $\{m\}$ . Хороший центр ПБ  $\hat{m}$  вырезает все плохие  $\bar{m} = \hat{m} + (6\hat{m} + 1)k = \hat{m} + \hat{p}(\hat{m}, +)k$ . Действительно,  $6\bar{m} \pm 1 = 6\hat{m} + 36\hat{m}k + 6k \pm 1$ , что при знаке «+» дает  $(6k + 1)(6\hat{m} + 1) : \hat{p}(\hat{m}, +)$ . Это первая бесконечная арифметическая прогрессия (АП). Вторая АП для того же самого  $\hat{m}$ , вырезающая плохие  $m$ , есть  $\bar{m} = -\hat{m} + \hat{p}(\hat{m}, +)k$ . Второе ПЧ из этой же ПБ  $\hat{p}(\hat{m}, -) = (6\hat{m} - 1)$  также дает две АП, вырезающие плохие центры  $\bar{m}$ :  $\bar{m} = \hat{m} + \hat{p}(\hat{m}, -)k$  и  $\bar{m} = -\hat{m} + \hat{p}(\hat{m}, -)k$ .

Таким образом, каждое хорошее  $\hat{m}$ , т.е. центр ПБ, создает четыре АП, вырезающие плохие центры  $\bar{m}$ , не содержащие ПБ ( $k \in \mathbb{N}$ ),

$$\bar{m}(\hat{m}, k, 1, \pm) = \pm \hat{m} + \hat{p}(\hat{m}, -)k; \quad \bar{m}(\hat{m}, k, 2, \pm) = \pm \hat{m} + \hat{p}(\hat{m}, +)k. \quad (1)$$

Например,  $\hat{m} = 1$  дает ПБ (5; 7) и четыре АП для плохих  $\bar{m}(\hat{m}, k, 1, \pm)$  и  $\bar{m}(\hat{m}, k, 2, \pm)$

$$\begin{aligned} \bar{m}(1, k, 1, +) &= 1 + 5k; & \bar{m}(1, k, 1, -) &= 4 + 5(k - 1); \\ \bar{m}(1, k, 2, +) &= 1 + 7k; & \bar{m}(1, k, 2, -) &= 6 + 7(k - 1). \end{aligned} \quad (2)$$

Первые две АП с разностью «5» из (2) удаляют, кроме единицы, все центры плохих пар  $\bar{m}$ , оканчивающиеся на «1», «4», «6» и «9». Это 40% массива  $\mathbb{N}$ . Вторые две АП из (2) с разностью «7» удаляют в принципе 28,6% всех  $\mathbb{N}$ , но из-за наложений в вырезаниях, в целом все четыре АП от первой ПБ с  $\hat{m} = 1$  удаляют 57,2% натуральных чисел.

Кроме четырех АП на каждое  $\hat{m}$ , необходимо вырезать числа АП, порожденные непарными ПЧ  $\bar{p}$ , которые не входят в ПБ. Например,  $\bar{m}_1 = 4$  дает  $\hat{s} = 25$  и  $\bar{p} = 23$ . Найденное скрытое ПЧ  $\bar{p} = 23$  надо также вставить в две АП, чтобы обезопасить решето от не вырезанных плохих центров вида  $\bar{m}_1(\bar{p}; s)$  и  $\bar{m}_2(s_1; s_2)$ . Эти центры первыми четырьмя АП (1) напрямую не удаляются. Поэтому в решето для ПБ (1) надо добавить по две АП на

каждое  $\bar{p}$ . В случае с  $\bar{m}_1 = 4$  это  $\bar{m} = (4 + 23(k - 1))$  и  $\bar{m} = (19 + 23(k - 1))$ . В общем случае это две новых АП

$$\bar{m}(\bar{m}_1, k, 1) = \bar{m}_1 + \bar{p}(k - 1); \quad \bar{m}(\bar{m}_1, k, 2) = (\bar{p} - \bar{m}_1) + \bar{p}(k - 1). \quad (3)$$

По центрам  $\bar{m}_2$  дополнительную селекцию проводить не надо, так все ПЧ, входящие в окружений такой пары, вырезаны предыдущим анализом.

**3.** Решето для ПБ при последовательном продвижении по всем  $t$  вырезает плохие  $\bar{m}$  с помощью шести АП (1) и (3), и оставляет только хорошие  $\hat{m}$ . При этом проверяются последовательно все как хорошие, так и плохие  $t$ , т.е. все ПЧ в порядке возрастания. Отметим свойства, предложенного нами решета.

**1. Первое, не вырезанное при последовательном продвижении  $t$ , есть  $\hat{m}$  – центр новой ПБ.** Доказываем от противного. Так как мы проанализировали уже все  $\{\hat{m} \text{ и } \bar{m}\} < t$ , то учли все ПЧ  $\{p\} < (6t - 1)$ . Это значит, что мы вырезали все  $\bar{m}$ , содержащие в своем окружении эти ПЧ. Пусть первое не вырезанное  $t$  есть  $\bar{m}_1$ , т.е. оно содержит новое непарное  $\bar{p} = (6\bar{m}_1 \pm 1)$ , которое в принципе не могло быть удалено. Соседом в этой паре является составное число  $s$ . Входящие в  $s$  ПЧ, учтены ранее и вырезаны шестью АП. Поэтому  $\bar{m}_1$  автоматически удалено. Точно также рассуждаем в случае  $\bar{m}_2$ .

**2. Если учитывать все появляющиеся ПЧ вокруг  $\hat{m}$  и  $\bar{m}$ , мы получим все ПЧ без исключения.** Поскольку мы последовательно находим окружение всех  $t$ , то генерируем все нечетные числа, кроме «1» и «3к», и, следовательно, выявляем не только ПБ, но все остальные ПЧ. Можно считать, что ПБ генерируют все множество ПЧ, кроме двух ПЧ «2» и «3».

**3. Каждое  $\hat{m}$  дает буферную зону.** Это отрезок  $D(\hat{m}) = [\hat{m}, 5\hat{m} - 2]$ , в который входит сам центр ПБ, а все, не вычеркнутые предыдущим анализом числа  $t$ , есть также  $\hat{m}$ , т.е. это центры новых ПБ. Длина  $D(\hat{m})L(\hat{m}) = 4\hat{m} - 1$ , т.е. с ростом  $\hat{m}$  она линейно растет.  $D(\hat{m})$  возникает из-за специфики вычеркивания (1) по  $\hat{m}$ . Первые удаленные  $\bar{m} = \{5\hat{m} - 1; 5\hat{m} + 1; 7\hat{m} - 1; 7\hat{m} + 1\}$ . На отрезке  $[\hat{m}, 5\hat{m} - 2]$  нет новых удалений, поэтому все не вырезанные числа есть центры ПБ.

**4. Соседние буферные зоны перекрываются,** причем число ПБ  $N(\hat{m})$  из  $D(\hat{m})$  в количестве  $(N(\hat{m}) - 1)$  переходит в соседнюю зону. За счет передвижения правого края отрезка  $D(\hat{m})$  добавляются новые ПБ. Таким образом, если в каждой  $D(\hat{m})$  число  $N(\hat{m}) \geq 2$ , то количество ПБ бесконечно.

Реально процесс генерации ПБ происходит так. После чистки  $\mathbb{N}$  АП (1) с  $\hat{m} = 1$  имеем такую структуру чисел  $\{\hat{1}; \underline{2}; \underline{3}; \underline{4}; 5; \underline{6}; 7; \underline{8}; \underline{9}; \dots\}$ . Первая буферная зона  $[\hat{1}, 3]$  дает нам две дополнительные ПБ  $\hat{m} = 2 \rightarrow (11; 13)$  и  $\hat{m} = 3 \rightarrow (17; 19)$ . Далее удаляем  $\bar{m}$  по (1) с  $\hat{m} = 2$  и получаем набор чисел  $\{\hat{1}; \underline{\hat{2}}; \underline{\hat{3}}; \underline{\hat{4}}; 5; \underline{\hat{6}}; 7; \underline{\hat{8}}; \underline{\hat{9}}; 10; \underline{\hat{11}}; 12; \underline{\hat{13}}; 14; \underline{\hat{15}}; \underline{\hat{16}}; 17; \dots\}$ . Вторая  $D(\hat{2}) = [\hat{2}, \underline{\hat{8}}]$  по не удаленным числам, дает две новых ПБ  $\hat{m} = 5 \rightarrow (29; 31)$  и  $\hat{m} = 7 \rightarrow (41; 43)$ . Обработка числа  $\hat{m} = \hat{3}$  дает буферную зону  $D(\hat{3}) = [\hat{3}, \underline{\hat{13}}]$  и еще две новых ПБ  $\hat{m} = 10 \rightarrow (59; 61)$  и  $\hat{m} = 12 \rightarrow (71; 73)$ . После  $\hat{m} = \hat{3}$  идет плохой вырезанный центр  $\bar{m} = \underline{\hat{4}}$ . Анализируем его окружение и выясняем, что это  $\bar{m}_1$ , так как его пара  $(23; 5^2)$ . Вырезаем все  $\bar{m} = (4 + 23(k - 1))$  и  $\bar{m} = (19 + 23(k - 1))$ , т. е.  $\bar{m} = \{4; 19; 27; 42; \dots; 142; \dots\}$ . Мы специально выделили число  $\bar{m} = 142$ . Оно дает пару нечетных чисел  $(23 \cdot 37; \bar{p} = 853)$ , в которую входят только непарные ПЧ  $\bar{p}$  и первым набором АП (1) оно не удаляется. АП (3) удаляет все пары, содержащие в виде множителя  $\bar{p} = 23$ . Если на пути встречается  $\bar{m}_2$ , то мы его «не замечаем».

Таким образом, буферная зона дает массово-рекуррентное соотношение для ПБ.

**4.** Данное решето численно проверено нами на отрезке  $t \in [1, 10^7]$  соотдельным анализом на простоту чисел окружения, не вычеркнутых  $t$ . При этом обнаружено 280557 ПБ при точном соответствии с алгоритмом (1, 3). Последние три хороших  $\hat{m}$  такие:  $\{9\ 999\ 973; 9\ 999\ 980; 9\ 999\ 997\}$ .

Все найденные нами ПБ совпадают с известными таблицами ПБ. Сопоставим полученные нами результаты с формулой Бруна [5]

$$(\pi_2(x)) \ll x/(\ln x)^2, \quad (4)$$

где  $\pi_2(x)$  число ПБ  $s\hat{p}(\hat{m}, +) \leq x \in \mathbb{N}$ . В нашей области расчетов наблюдается обратное соотношение  $\pi_2(x) = \alpha(x)x/(\ln x)^2$ , где  $\alpha(x) > 1$ . Например, для  $x = 59999983$ , число ПБ  $(\pi_2(x)) = 280557$ , что дает  $\alpha(x) = 1,5$ . С уменьшением  $x\alpha(x)$  линейно возрастает. Например, при  $x = 811$ ,  $\pi_2 = 30$   $\alpha(x) = 1,7$ . При значительно больших  $m$  неравенство (4) справедливо.

5. Далее покажем аналитически, что с ростом  $\hat{m}$  в  $D(\hat{m})$  число новых ПБ возрастает. Для этого сформулируем теорему ( $\Sigma$  АП).

Если на отрезке  $[1, B]$  удалим все значения  $N$  линейно независимых АП  $\{a_{ct} + b_c(k - 1)\}$ , где  $t = 1, 2, \dots, \alpha_c$ ;  $c = 1, 2, \dots, n$ ;  $N = \sum_{c=1}^n \alpha_c$ ,  $B = \prod_{c=1}^n b_c$ ,  $a_{ct} < b_c$ , все  $b_c$  разные числа, то количество не удаленных чисел на отрезке  $[1, B]$  есть  $S = \prod_{c=1}^n (b_c - \alpha_c)$ .

Пример. Имеем пять АП:  $\{1 + 5(k - 1)\}$ ,  $\{2 + 5(k - 1)\}$ ,  $\{3 + 5(k - 1)\}$ ,  $\{3 + 6(k - 1)\}$ ,  $\{4 + 6(k - 1)\}$ . Тут  $a_{11} = 1, a_{12} = 2, a_{13} = 3, a_{21} = 3, a_{22} = 4$ ;  $c = 1, 2$ ;  $n = 2$ ,  $\alpha_1 = 3, \alpha_2 = 2, b_1 = 5, b_2 = 6, N = 5, B = 30, S = 8$ .

Числа, которые удаляются пятью АП на отрезке  $[1, 30]$ , следующие:  $\{1; 2; 3; 4; 6; 7; 8; 9; 10; 11; 12; 13; 15; 16; 17; 18; 21; 22; 23; 26; 27; 28\}$ . Не вырезаны восемь чисел  $\{5; 14; 19; 20; 24; 25; 29; 30\}$  в соответствии выводом теоремы.

Теорема  $\Sigma$  АП выводится по теории вероятностей (выемка пронумерованных шариков различных цветов из коробки). При этом события не случайные, а связанные. Полученный результат не вероятностный, а точный. Теорема проверена нами на большом числе задач, и применяется для анализа числа новых ПБ в буферной зоне  $D$ . Как сообщил нам с. н. с. МИАН им. В. А. Стеклова М. А. Королев, теорема правильная и она выводится также с помощью китайской теоремы об остатках.

Пусть мы провели анализ для  $n$  ПЧ. Это  $N = 2n$  АП  $\{m(c) + p_c(k - 1)\}$  и  $\{p_c - m(c) + p_c(k - 1)\}$ ,  $p_c = \{p_1 = 5; p_2 = 7; p_3 = 11; \dots; p_n\}$ . Все  $\alpha_c = 2, a_{c1} = m(c), a_{c2} = p_c - m(c)$ ,  $m(c) = (p_c \pm 1)/6 \in \mathbb{N}$ . Пусть следующий за  $m(n)$  центр  $m(n) + 1 = M$  не вырезан, т.е. это центр новой ПБ  $\hat{M}$ .  $B = \prod_{c=1}^n p_c$ , а число не вырезанных на отрезке  $[1, B]$   $m$  равно  $S = \sum_{c=1}^n (p_c - 2)$ . Отсюда средняя вероятность обнаружения, не вырезанного числа на  $[1, B]$ , есть  $W(\hat{M}) = S/B = \prod_{c=1}^n (1 - (2/p_c))$ . Распределение центров ПБ, также как и самих простых чисел на числовой оси точно неизвестно, но оно не является равномерным. С ростом  $m$  плотность ПБ убывает, как и плотность самих ПЧ. Число ПБ  $N(\hat{M})$  в новой буферной зоне  $D(\hat{M}) = [\hat{M}, 5\hat{M} - 2]$  может быть больше, чем  $\tilde{N}(\hat{M})$  равное произведение длины этой зоны  $L(\hat{M}) = (4\hat{M} - 1)$  на среднюю вероятность не вырезанных чисел  $W(\hat{M})$ . Например, в  $D(\hat{3})N(\hat{3}) = 5$ ,  $L(\hat{M}) = 11$ . Это  $\hat{m} = \{3; 5; 7; 10; 12\}$ . Реально  $\hat{m} = 5$  удаляет  $\bar{m} = \{4; 6; 9; 11\}$  четыре числа. Теория вероятностей «видит»  $(2 \cdot 11/5) = 4,4$ , т.е. большее число удалений. В результате имеем меньшее число не удаленных  $m$  по теории вероятностей. Оно равно  $\tilde{N}(\hat{M}) = L(\hat{M}) \cdot W(\hat{M}) = (11 \cdot 27/91) = 3,26$ , т.е.  $N(\hat{3}) > \tilde{N}(\hat{3})$ . Наши расчеты вплоть до  $m = 10^7$  подтверждают это естественное предположение. Сама средняя вероятность  $W(\hat{M})$  учитывает число не только новых  $\hat{m}$ , но и новых, ранее не вырезанных  $\bar{m}$ . Это значит, что реальное число ПБ в буферной зоне  $N(\hat{M}) > (4\hat{M} - 1) \cdot W(\hat{M})$ . Например, для  $N(\hat{5}) = 7$ ,  $(4\hat{M} - 1) \cdot W(\hat{M}) = 4,45$ .

Далее оценим величину  $W(\hat{M})$ . Поскольку  $(2/p_k) \leq 0,4$ , то  $\ln(1 - (2/p_k)) > - (3/p_k)$  для всех  $p_k \geq 5$ . После этого, логарифмируя  $W(\hat{M})$ , имеем

$$\ln W(\hat{M}) = \sum_{k=1}^n \ln(1 - (2/p_k)) > -3 \sum_{k=1}^n (1/p_k) = -3C. \quad (5)$$

Сравним сумму обратных простых чисел в (5)  $C = \sum_{k=1}^n (1/p_k)$  (соответствующий ряд расходится) с суммой обратных нечетных чисел  $A = \sum_{k=1}^q (1/(4k + 1))$ . Пусть  $(4q + 1) = p_n$ , т. е. начальное и конечное слагаемое в обеих суммах совпадают. При этом число

слагаемых в  $Aq = (p_n - 1)/4$  значительно больше числа слагаемых в  $C$ , так как по формуле Лежандра  $(n + 2) \approx p_n / \ln p_n$ . Поэтому, при  $p_n > 547, A > C$  и  $\ln W(\hat{M}) > -3C > -3A$ . Величину  $A$  можно оценить по интегральному признаку сходимости

$$A = \sum_{k=1}^s \frac{1}{4k+1} < \int_0^s \frac{dk}{4k+1} = \frac{\ln(4s+1)}{4} = \frac{\ln(p_n)}{4}. \quad (6)$$

Отсюда  $W(\hat{M}) > \exp(-3A) > \exp\left(-3 \frac{\ln p_n}{4}\right) = 1/\sqrt[4]{(p_n)^3}$ . Так как  $p_n < (6\hat{M} - 1) < 6\hat{M}$ , то  $1/\sqrt[4]{(p_n)^3} > 1/\sqrt[4]{6^3 \hat{M}^3}$  и  $W(\hat{M}) > 1/\sqrt[4]{6^3 \hat{M}^3}$ . После этого число новых  $\hat{m}$ , т.е. ПБ в буферной зоне  $D(\hat{M})$ ,

$$N(\hat{M}) > (4\hat{M} - 1)W(\hat{M}) > (4\hat{M} - 1)/\sqrt[4]{6^3 \hat{M}} = \sqrt[4]{\frac{32}{27}} \left( \sqrt[4]{\hat{M}} - \frac{1}{\sqrt[4]{6^3 \hat{M}^3}} \right) \approx \sqrt[4]{\hat{M}}. \quad (7)$$

Из (7) следует, что в среднем число новых ПБ в буферной зоне  $D(\hat{M}) = [\hat{M}, 5\hat{M} - 2]$  с ростом  $\hat{M}$  возрастает. Поскольку буферная зона при этом рождает другую буферную зону, то количество ПБ на числовой оси бесконечно.

Численный анализ массива  $m \in [1, 10^7]$  подтвердил в среднем рост числа ПБ в буферных зонах с ростом  $\hat{m}$ . При этом частота появления  $\hat{m}W^*$  уменьшается, но медленнее роста длины  $L(\hat{M})$  во всем массиве. Например, при  $\hat{m} = 7963, L_D = 31851, N_{7963} = 1824, W^* = 0,0573$ . При  $\hat{m} = 9070, L_D = 36279, N_{9070} = 2020, W^* = 0,0556$ .

Оценка числа ПБ в  $D(\hat{M})$  по распределению Бруна (4) также дает рост  $N(\hat{M}) \approx 4(6\hat{M} - 1)/(\ln(6\hat{M} - 1))^2$ .

**6.** Таким образом, мы делаем вывод, что применение решета указывает на бесконечность ПБ. В пользу вывода о бесконечном количестве ПБ свидетельствуют и результат аннотации статьи Итана Чана, в которой доказывалось, что число ПЧ, расстояние между которыми не превышает 70 000 000, бесконечно [7,8]. Это есть приближение к выводу нашей статьи. Поддерживают наш вывод и очень большие центры ПБ, найденные в сложных компьютерных программах, например,  $m = 5 \cdot 43 \cdot 347 \cdot 16785299 \cdot 2^{666668}$  (200700 цифр) [1].

Автор благодарит с. н. с. МИ АН им. В. А. Стеклова М. А. Королева, который прочел статью и сделал ряд ценных замечаний, а также проф., д. ф. м. н., главного научного сотрудника РФЯЦ-ВНИИЭФ А. И. Голубева, проф., д. ф. м. н., начальника отдела ВНИИЭФ Ю. Н. Дерюгина, за обсуждение и поддержку результатов и А. Г. Ломтева за помощь в расчетах.

### Список литературы

1. Кнут Д. Разложение на простые множители. М., Вильямс, 2007 г.
2. Нестеренко Ю.В. Введение в криптографию, Питер, 2001.
3. Дружинин В.В. Детерминантный признак делимости, Саров, Альфа, 2012.
4. Сизый С.В. Лекции по теории чисел, М. ФИЗМАТГИЗ, 2007.
5. Сушкевич А.К. Теория чисел, Харьков, ХГУ, 1956.
6. Dicson L.E. History of the Theory of Numbers, v. II, CPC, New York, 1971.
7. Annals of Mathematics (Princeton University), May 21, 2013.
8. Коняев А. <http://lenta.ru/articles/2013/05/17/primes/>.

01.00.00

**Н.С. Захаров д.т.н., Г.В. Абакумов к.т.н., А.Н. Ракитин к.т.н.**

Тюменский государственный нефтегазовый университет,  
Институт транспорта, кафедра «Сервис автомобилей и технологических машин»,  
г. Тюмень, eom@tsogu.ru

### **ВЗАИМОСВЯЗЬ МЕЖДУ КЛИМАТИЧЕСКИМИ ФАКТОРАМИ**

*В статье рассматривается вопрос взаимосвязи климатических факторов. На основе данных о средних месячных значениях показателей климатических факторов оценена значимость их сезонных изменений, рассмотрены корреляционные связи между ними. Установлено, что все рассматриваемые факторы, за исключением доли дней с осадками, имеют статистически значимую линейную корреляционную связь с температурой воздуха.*

Ключевые слова: *климат, климатические факторы, корреляция, гармонические модели.*

Климат оказывает существенное влияние на многие процессы в социальных, экономических и технических системах. Климатические условия характеризуются рядом факторов, большинство из которых подвержены периодическим колебаниям. Факторы, изменяющиеся по сезонам, относят к сезонным факторам.

При решении ряда задач, в частности, для прогнозирования расхода ресурсов в разные периоды года, необходимо моделировать сезонные изменения факторов.

В ряде публикаций утверждается, что климатические факторы коррелированы с температурой воздуха, поэтому их можно не учитывать, если учтена температура [10, с. 32]. На основе предварительного анализа была выдвинута гипотеза о том, что не все климатические факторы имеют значимую линейную корреляционную связь. В частности, предполагалось, что с температурой не связано количество осадков.

Для проверки этой гипотезы сначала был сформирован исходный перечень сезонных факторов, а также показателей для их оценки:

температура воздуха  $t$ , °C;

количество дней с осадками  $N$ , ед.;

доля дней с осадками  $D$ ;

среднее количество осадков  $h$ , мм;

скорость ветра  $V$ , М/с;

относительная влажность  $B$ , %;

интегральная поверхностная плотность потока суммарного солнечного излучения  $R$ , Вт/м<sup>2</sup>;

энергетическая экспозиция прямого солнечного излучения  $E$ , МДж/м<sup>2</sup>.

Средние месячные значения показателей получены из [1, 8, 9, 11,12].

На следующем этапе оценена значимость сезонных изменений факторов. Для этого ряды значений показателей факторов аппроксимированы гармоническими моделями:

$$t = 2,1 + 15,5 \cdot \cos(30(T - 6,9)), \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$D = 0,42 + 0,06 \cdot \cos(30(T - 10,1)) + 0,04 \cdot \cos(30(2 \cdot T - 1,0));$$

$$h = 34,8 + 29,7 \cdot \cos(30(T - 7,6)), \text{ мм};$$

$$V = 4,3 + 0,33 \cdot \cos(30(T - 1,5)) + 0,36 \cdot \cos(30(2 \cdot T - 8,7)), \text{ м/с};$$

$$B = 63,9 + 13,9 \cdot \cos(30(T - 11,7)) + 2,2 \cdot \cos(30(2 \cdot T - 2,2)), \text{ } \%;$$

$$R = 583 + 286 \cdot \cos(30(T - 6,2)), \text{ Вт/м}^2;$$

$$E = 399 + 170 \cdot \cos(30(T - 6,2)) + 36 \cdot \cos(30(2 \cdot T - 6,1)), \text{ МДж/м}^2.$$

Анализ результатов расчетов показал следующее.

1. Циклические изменения в течение года статистически значимы для всех рассматриваемых факторов.

2. Гармонические модели адекватно описывают изменение указанных факторов по времени.

3. Наибольший вклад в изменение показателей факторов вносит первая гармоника, имеющая период 1 год, в отдельных случаях существенно влияние второй гармоники, имеющей период 1/2 года, остальные гармоники не оказывают статистически значимого влияния.

На следующем этапе проверялась гипотеза о корреляционной связи климатических факторов. На основе выполненных расчетов построена матрица корреляционных полей (рис.) и матрица коэффициентов парной корреляции (табл. 1).

Проверка по критерию Стьюдента показала, что все рассматриваемые факторы, за исключением доли дней с осадками, имеют статистически значимую линейную корреляционную связь с первым из факторов - температурой воздуха.

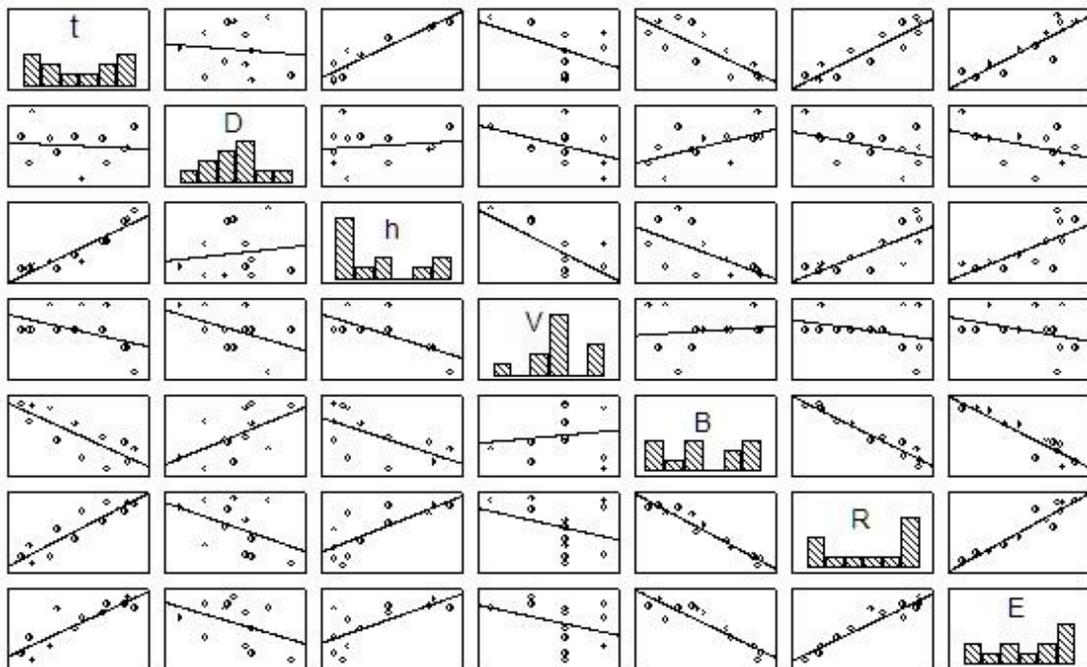


Рис. Матрица корреляционных полей показателей климатических факторов

Таблица 1

Матрица коэффициентов парной корреляции показателей климатических факторов

	t	D	h	V	B	R	E
t	1,00	-0,11	0,93	-0,48	-0,80	0,91	0,87
D	-0,11	1,00	0,14	-0,46	0,55	-0,44	-0,42
h	0,93	0,14	1,00	-0,69	-0,61	0,76	0,71
V	-0,48	-0,56	-0,69	1,00	0,14	-0,31	-0,34
B	-0,80	0,55	-0,61	0,14	1,00	-0,97	-0,91
R	0,91	-0,44	0,76	-0,31	-0,97	1,00	0,94
E	0,87	-0,42	0,71	-0,34	-0,91	0,94	1,00

Таблица 2

Матрица вероятностей значимости парной корреляционной связи показателей климатических факторов

	t	D	h	V	B	R	E
t	0,99	0,00	0,99	0,80	0,99	0,99	0,99
D	0,00	0,99	0,00	0,80	0,90	0,80	0,80
h	0,99	0,00	0,99	0,98	0,95	0,99	0,99
V	0,80	0,90	0,98	0,99	0,00	0,00	0,00
B	0,99	0,90	0,95	0,00	0,99	0,99	0,99
R	0,99	0,80	0,99	0,00	0,99	0,99	0,99
E	0,99	0,80	0,99	0,00	0,99	0,99	0,99

Таким образом, проведённый анализ показал, что все рассматриваемые факторы, за исключением доли дней с осадками, коррелированы со средней месячной температурой воздуха. Вообще первопричиной сезонных изменений является изменение солнечной активности, оцениваемой в данной статье интегральной поверхностной плотностью потока суммарного солнечного излучения R и энергетической экспозицией прямого солнечного излучения E, а изменение температуры воздуха – следствие. Но для практического применения удобно пользоваться показателями температуры (мгновенное значение, среднее за какой-либо период, среднее квадратическое отклонение), поскольку измерения и расчет показателей не требует сложного оборудования. Кроме того в открытом доступе есть ретроспективные, текущие, а также прогнозные краткосрочные и долгосрочные значения показателей.

Полученные результаты могут служить основой для разработки методик прогнозирования потребности в ресурсах разного вида, интенсивность расходования которых зависит от климатических условий.

### Список литературы

1. ГОСТ 16350-80. Климат СССР. Районирование и статистические параметры климатических факторов для технических целей. – М.: Изд-во стандартов. Июль, 1981.
2. Захаров Н.С., Абакумов Г.В., Вознесенский А.В., Бачинин Л.В., Ракитин А.Н. Влияние сезонной вариации факторов на интенсивность расходования ресурсов при эксплуатации транспортно-технологических машин // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 2006. – № 1. – С. 75-79.
3. Захаров Н.С., Логачев В.Г., Тюлькин В.А., Яблочкин И.В. Влияние осадков на скоростной режим автомобилей при движении по магистральным дорогам // Научно-технический вестник Поволжья. 2012. № 4. С. 103-105.
4. Захаров Н.С., Логачев В.Г., Тюлькин В.А., Яблочкин И.В. Влияние температуры окружающего воздуха на скоростной режим при движении автомобилей по магистральным дорогам // Научно-технический вестник Поволжья. – 2012. – № 4. – С. 106-110.
5. Захаров Н.С., Абакумов Г.В., Мироненко А.Е. Влияние сезонных условий на расход электрической энергии при техническом обслуживании и ремонте автомобилей // Научно-технический вестник Поволжья. – 2012. – № 5. – С. 172-176.
6. Захаров Н.С. Влияние сезонных условий на процессы изменения качества автомобилей : дис. ... д-ра техн. наук. – Тюмень, 2000. – 525 с.
7. Захаров Н.С. Модель восстановления транспортной подсистемы производственных систем нефтегазового комплекса // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 1997. – № 6. – С. 157.
8. Погода России [Электронный ресурс] <http://meteo.infospace.ru>
9. Прогноз погоды по городам России [Электронный ресурс] <http://thermo.karelia.ru/weather>.
10. Резник Л.Г., Ромалис Г.М., Чарков С.Т. Эффективность использования автомобилей в различных условиях эксплуатации. – М.: Транспорт, 1989. – 128 с.
11. Gismeteo. Прогноз погоды [Электронный ресурс] <http://www.gismeteo.ru>
12. The Washington Post. Weather [Электронный ресурс] <http://www.washingtonpost.com/wp-srv/weather>

01.04.07

**В.В. Рыбин к.ф.-м.н.**

Ульяновский государственный университет,  
Инженерно-физический факультет высоких технологий,  
кафедра физического материаловедения, vlad\_rib@mail.ru

### ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЙ ПОДХОД К АНАЛИЗУ ТЕРМИЧЕСКОГО РАЗЛОЖЕНИЯ ЭТАНОЛА

*В работе рассматривается пиролиз этанола – один из перспективных методов синтеза углеродных нанотрубок. Представленный подход позволяет выявить оптимальные условия пиролиза – состав парогазовой смеси, температуру и давление для максимального выхода углерода.*

Ключевые слова: *синтез углеродных нанотрубок, термодинамика пиролиза, свободная энергия Гиббса.*

Каталитический пиролиз углеродосодержащих соединений является наиболее удобным методом синтеза углеродных нанотрубок. Применение данного метода позволяет получать структуры с заданной ориентацией относительно других компонентов электронной технологии. Выбор в качестве источника углеродосодержащего вещества различных спиртов позволяет получать «чистые» структуры с наименьшей степенью загрязнения аморфным углеродом [1-2]. Этанол в данном случае представляется лучшим выбором по сравнению с метанолом, поскольку он менее токсичен, имеет более высокую температуру кипения и более низкую фотохимическую активность.

Пиролиз этанола и его разложение в парах воды - довольно сложные процессы, цепочки которых насчитывают до 20 реакций и сопровождаются появлением до 12 химических соединений [3]. В условиях эксперимента необходимо правильно выбирать и контролировать температуру, давление в реакторе, задавать скорость движения и соотношение компонентов парогазовой смеси. Оптимальные условия термического разложения этанола могут быть выбраны на основе термодинамического анализа этого процесса. Большинство авторов используют в качестве вычисления термодинамического равновесия метод минимизации свободной энергии Гиббса [4-6]. В его основе предполагается, что в системе существует равновесие: выровнялись температура и давление, все кинетические процессы стали стационарными. В этом случае при постоянной температуре и давлении должна быть минимальна свободная энергия Гиббса системы, состоящей из газовой смеси реагирующих компонентов. Решение задачи сводится к анализу законов сохранения (числа частиц и атомов разных сортов, давления), составлению и минимизации выражения для свободной энергии Гиббса.

Общее давление в системе определяется суммой парциальных давлений ее составляющих

$$\varphi_p = \frac{RT}{V} \sum_i N_i^{\text{мол}} - p, \quad (1)$$

где суммирование ведется по количеству атомов или молекул разных сортов. Законы сохранения числа атомов углерода, водорода и кислорода (индекс j) в соответствующих молекулах

$$\varphi_j = \sum_i n_{ji} N_i^{\text{мол}} - N_j^{\text{ат}}, \quad (2)$$

$n_{ji}$  – число атомов сорта j в молекуле i.

Закон сохранения числа частиц в объеме газовой фазы определяется количеством мест для данного сорта частиц, а также количествами занятых и вакантных мест

$$\varphi_i = N_i^{\text{мест}} - N_i^{\text{вак}} - N_i^{\text{мол}}. \quad (3)$$

Свободная энергия Гиббса системы  $G=H-TS$ , ее экстремум находится методом неопределенных множителей Лагранжа. Функционал для нахождения условного минимума

$$L = G + \lambda_p \varphi_p + \lambda_C \varphi_C + \lambda_H \varphi_H + \lambda_O \varphi_O + \sum_i \lambda_i \varphi_i, \quad (4)$$

где  $\lambda_p, \lambda_C, \lambda_H, \lambda_O, \lambda_i$  – неопределенные множители Лагранжа, возникшие из законов сохранения давления, числа атомов углерода, водорода, кислорода и количества молекул сорта  $i$  соответственно.

Производная свободной энергии Гиббса по количеству частиц компонента равна его парциальному химическому потенциалу

$$\frac{\partial G}{\partial N_i^{\text{мол}}} = \mu_i,$$

который связан с активностью  $a_i$

$$\mu_i = G_i^0 + RT \ln a_i,$$

где  $G_i^0$  – молярная энергия Гиббса образования компонента  $i$  в стандартном состоянии. Таким образом, неопределенные множители Лагранжа  $\lambda_C, \lambda_H, \lambda_O$  определяют в конечном итоге активности соответствующих элементов. Например, для углерода

$$\ln a_C = \left(-\frac{G_C^0}{RT}\right) - \frac{\lambda_C}{RT}. \quad (5)$$

Активность углерода в газовой среде, где растет углеродная нанотрубка, определяет кинетику ее роста, поэтому оценка данной величины позволяет в конечном итоге оценить и скорость роста данной структуры.

Свободная энергия Гиббса смеси газов имеет следующий вид

$$G = \sum_i \left(G_{Ti} + RT \ln \frac{p}{p_0} + RT \ln \frac{N_i^{\text{мол}}}{\sum_i N_i^{\text{мол}}}\right) N_i^{\text{мол}} - RT \ln W. \quad (6)$$

В последнем выражении  $G_{Ti}$  – стандартная молярная энергия Гиббса образования молекулы сорта  $i$ ;  $p, p_0$  – давление газовой смеси и атмосферы соответственно. Конфигурационный фактор содержит величину  $W$  – термодинамическую вероятность системы, обозначающую число способов размещения молекул разных сортов по их местам в газовой фазе, и определяемую соотношением

$$W = \prod_i \frac{N_i^{\text{мест}}!}{(N_i^{\text{мест}} - N_i^{\text{мол}})! N_i^{\text{мол}}!}.$$

Количество мест для данного сорта молекул в газовой среде может быть найдено через концентрацию частиц в насыщенном паре соответствующего вещества и объема реактора:

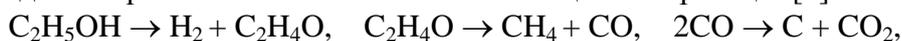
$$N_i^{\text{мест}} = \frac{p_i^{\text{нас}}}{kT} V.$$

Функционал минимален при равенстве нулю производной по числу частиц

$$\begin{aligned} \frac{\partial L}{\partial N_i^{\text{мол}}} = G_{Ti} + RT \ln \frac{p}{p_0} + RT \ln \frac{N_i^{\text{мол}}}{\sum_i N_i^{\text{мол}}} + RT \ln \left(\frac{N_i^{\text{мол}}}{N_i^{\text{мест}} - N_i^{\text{мол}}}\right) + \\ + \lambda_p \frac{RT}{V} + \lambda_C n_{Ci} + \lambda_H n_{Hi} + \lambda_O n_{Oi} - \lambda_i = 0. \end{aligned} \quad (7)$$

Выражения (7), совместно с материальными соотношениями (1-3) представляют собой систему нелинейных уравнений относительно неизвестных величин  $N_i^{\text{мол}}$  и множителей Лагранжа.

В качестве модели пиролиза этанола использовалась цепочка реакций[7]:



где этанол представляет азеотропную смесь с водой.

Моделирование проводилось для области температур в активной фазе реакции 600-1100 К и давления газовой смеси 15 кПа.

Расчет показал, что при температурах выше 650 К степень конверсии этанола приближается к 100 %, а содержание в системе ацетальдегида близко к 0. Повышение температуры процесса приводит к увеличению доли монооксида углерода в газовой смеси и снижению доли его диоксида. Последнее означает и уменьшение выхода атомов углерода, в дальнейшем адсорбируемых катализатором и, как следствие, невысокую скорость роста нанотрубки.

Результаты расчета могут быть использованы для оценки оптимальных параметров пиролиза этанола при различных значениях давления и температуры в реакторе. Так, в условиях рассматриваемой модели, максимальный выход углерода следует ожидать при температуре 850-900 К. Полученные выводы полностью согласуются с экспериментальными результатами [4,7].

Таким образом, предложенная методика может быть использована для качественного рассмотрения процесса термического разложения этанола.

Автор благодарен научному консультанту – Булярскому Сергею Викторовичу, д.ф.-м.н., профессору, чл.-кор. АН Татарстана, заведующему кафедрой Инженерной физики Ульяновского государственного университета, за ценные замечания в процессе подготовки работы.

#### **Список литературы**

1. *Murakami Y., Miyauchi Y., Chiashi S., Maruyama S.* Characterization of single-walled carbon nanotubes catalytically synthesized from alcohol // *Chemical physics letters.* – 2003. – V. 374. – P. 53–58.
2. *Редькин А.Н., Маляревич Л.В.* Получение углеродных нановолокон и нанотрубок методом сверхбыстрого нагрева паров этанола // *Неорганические материалы.* – 2003. – Т. 39., № 3. – С. 1–5.
3. *Wang W., Wang Y.Q.* Thermodynamic analysis of steam reforming of ethanol for hydrogen generation // *International journal of energy research.* – 2008. – V. 32. – P. 1432-1443.
4. *Silva A.L., Fraga Malfatti C., Muller I.L.* Thermodynamic analysis of ethanol steam reforming using Gibbs energy minimization method: A detailed study of the conditions of carbon deposition // *International journal of hydrogen energy.* – 2009. – V. 34. – P. 4321-4330.
5. *Silva C.G., Guirardello R.* Application of methods of optimization in the calculation of combined chemical and phase equilibria for processes with synthesis gas // *Chemical engineering transactions.* – 2010. – V. 20. – P. 247-252.
6. *Михайлов М.Н., Демидов Д.В., Логинова А.Н., Кустов Л.М.* Оптимизация параметров процесса пароуглекислотной конверсии метана методом минимизации энергии Гиббса // *Журнал физической химии.* – 2011. – Т. 85., № 2. – С. 251-259.
7. *Латин Н.В., Редькин А.Н., Бежков В.С., Вяткин А.Ф.* Получение водорода каталитическим пиролизом этанола на никелевом катализаторе. // *Журнал физической химии.* – 2009. – Т. 83., № 11. – С. 2044-2048.

01.04.14

**С.В. Рыков**

Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет ИТМО,  
Санкт-Петербург, togg1@yandex.ru

**ФУНДАМЕНТАЛЬНОЕ УРАВНЕНИЕ СОСТОЯНИЯ,  
УЧИТЫВАЮЩЕЕ АСИММЕТРИЮ ЖИДКОСТИ**

*Впервые на основе феноменологической теории критических явлений обоснована структура фундаментального уравнения состояния, удовлетворяющего требованиям современной физики критических явлений. Установлено, что предложенное фундаментальное уравнение с удовлетворительной точностью передает надежные экспериментальные калорические и термические данные жидкости и газа в регулярной и метастабильной областях термодинамической поверхности.*

Ключевые слова: уравнение состояния, изохорная теплоемкость, изобарная теплоемкость, свободная энергия, масштабные функции.

В статье рассмотрено фундаментальное уравнение в виде:

$$F(\rho, T) = F_r(\rho, T) + \chi \cdot F_n(\rho, T). \tag{1}$$

Слагаемое  $F_r(\rho, T)$  является регулярной функцией температуры  $T$  и плотности  $\rho$  и выбрано в виде:

$$F_r(\rho, T) = F_0(T) + RT \ln \omega + RT \omega \sum_{i=1}^{n_3} \sum_{j=0}^{j_3(i)} C_{ij} \tau_1^j (\Delta\rho)^i, \tag{2}$$

где  $R$  – идеально-газовая постоянная;  $\omega = \rho / \rho_c$ ;  $\tau_1 = T_c / T - 1$ ;  $\Delta\rho = \rho / \rho_c - 1$ ;  $\rho_c$  и  $T_c$  – критические параметры;  $C_{ij}$  – постоянные коэффициенты. Функция  $\chi$  выбирается из условия  $\chi|_{\omega \rightarrow 0} \rightarrow 0$ , и обеспечивает тем самым описание равновесных свойств вещества в области газа.

Слагаемое  $F_n(\rho, T)$  должно обеспечить передачу степенных законов, характеризующих поведение равновесных свойств жидкости в критической области, следующих из теории критических явлений:

– на критической изотерме:

$$\Delta p|_{\tau=0} = \pm D_0 |\Delta\rho|^\delta + D_1 |\Delta\rho|^{\delta+1} \pm D_2 |\Delta\rho|^{\delta+\Delta/\beta} + D_3 |\Delta\rho|^{\delta+\Delta_1/\beta}; \tag{3}$$

$$\Delta\mu|_{\tau=0} = \pm B_1 |\Delta\rho|^\delta \pm B_2 |\Delta\rho|^{\delta+\Delta/\beta} + B_3 |\Delta\rho|^{\delta+\Delta_1/\beta}; \tag{4}$$

$$\tilde{C}_v|_{\tau=0} = C_1^{(1)} |\Delta\rho|^{-\alpha/\beta} + C_2^{(1)} |\Delta\rho|^{(-\alpha+\Delta)/\beta} \pm C_3^{(1)} |\Delta\rho|^{(-\alpha+\Delta_1)/\beta}; \tag{5}$$

– на критической изохоре:

$$\Delta p|_{\Delta\rho=0} = D_{-1} |\tau| + D_0 |\tau|^{2-\alpha} + D_1 |\tau|^{2-\alpha+\Delta} + D_2 |\tau|^{1+\Delta_2}; \tag{6}$$

$$\Delta\mu|_{\Delta\rho=0} = B_1 |\tau|^{\gamma+\Delta_2} \pm B_2 |\tau|^\gamma \pm B_3 |\tau|^{\gamma+\Delta}; \tag{7}$$

$$\tilde{C}_v|_{\Delta\rho=0} = C_1 \tau^{-\alpha} + C_2 \tau^{-\alpha+\Delta} + C_3 \tau^{-\alpha+\Delta_2} + C_4 \tau + const; \tag{8}$$

– на линии равновесия:

$$\Delta p|_{\tau=\tau_s} = D_{-1}|\tau_s| + D_0|\tau_s|^{2-\alpha} + D_1|\tau_s|^{2-\alpha+\Delta} + D_2|\tau_s|^{2-\alpha+\Delta_1}; \quad (9)$$

$$\tilde{C}_v|_{\tau=\tau_s} = C_1^\pm|\tau_s|^{-\alpha} + C_2^\pm|\tau_s|^{-\alpha+\beta} + C_3^\pm|\tau_s|^{-\alpha+\Delta} + C_4^\pm|\tau_s|^{-\alpha+\Delta_1} + C_5^\pm\tau_s.; \quad (10)$$

$$\tilde{K}_T|_{\tau=\tau_s} = G_0^\pm|\tau_s|^{-\gamma} + G_1^\pm|\tau_s|^{-\gamma+\Delta} + G_2^\pm|\tau_s|^{-\gamma+\Delta_1} + G_3^\pm|\tau_s|^{-\gamma+2\Delta}. \quad (11)$$

Целью работы является показать, что структура нерегулярной функции  $F_n(\rho, T)$  может быть строго рассчитана в рамках феноменологической теории критических явлений [1]. Пусть кроссоверная функция  $\chi$  зависит только от приведенной плотности. Подставим (1) в  $S = -(\partial F/\partial T)_\rho$  и после ряда преобразований найдем нерегулярную составляющую энтропии  $\Delta S$ :

$$\Delta S = \chi^{-1} \left( (\partial F/\partial T)_\rho - (\partial F_r/\partial T)_\rho \right). \quad (12)$$

Основываясь на гипотезе об одинаковом характере поведения на критической и не критических изохорах термодинамических функций [2], имеющих особенность критической точки и методе псевдокритических точек [3, 4], можно показать, что сингулярная составляющая изохорной теплоемкости имеет вид:

$$C_v(\rho, T) = \Gamma_1 \cdot \tau_p^{-\alpha} (\tilde{x} + x_1)^{-\alpha}. \quad (13)$$

На основе феноменологической теории критических явлений получено следующее представление масштабной гипотезы:

$$\Delta S = \sum_{n=0}^3 \varphi_{0n} \cdot C_v^{\frac{1-\alpha+\Delta_n}{\alpha}} + \varphi_{1n} \cdot \tau_p^\beta \cdot C_v^{\frac{\beta\delta-1+\Delta_n}{\alpha}} + \varphi_{2n} \cdot \tau_p^\beta \cdot C_v^{\frac{\gamma-1+\Delta_n}{\alpha}}. \quad (14)$$

Подставляя (13) в (14) получим выражение для энтропии:

$$\Delta S = \sum_{n=0}^3 \tau_p^{1-\alpha+\Delta_n} \left( \varphi_{0n}^{(1)} \cdot \Gamma_1^{-(1-\alpha+\Delta_n)/\alpha} (\tilde{x} + x_1)^{1-\alpha+\Delta_n} + \right. \\ \left. + \varphi_{1n}^{(1)} \cdot \Gamma_1^{(\beta\delta-1+\Delta_n)/\alpha} (\tilde{x} + x_1)^{\beta\delta-1+\Delta_n} + \varphi_{2n}^{(1)} \cdot \Gamma_1^{(\gamma-1+\Delta_n)/\alpha} (\tilde{x} + x_1)^{\gamma-1+\Delta_n} \right). \quad (15)$$

Учтем, что в окрестности критической точки поведение  $C_p$  и  $K_T$  описывается степенными законами, аналогичными (13):

$$C_p(\rho, T) = \Gamma_2 \cdot \tau_p^{-\gamma} (\tilde{x} + x_2)^{-\gamma}, \quad K_T(\rho, T) = \Gamma_3 \cdot \tau_p^{-\gamma} (\tilde{x} + x_3)^{-\gamma} \quad (16)$$

Заметим, что уравнения  $\tilde{x} = -x_2$  и  $\tilde{x} = -x_3$  описывают линии, в каждой точке которых расходятся соответственно  $C_p$  и  $K_T$ . Используя следующие представления масштабной гипотезы, получим зависимости:

$$\Delta S \cdot (C_p)^{\frac{1-\alpha}{\gamma}} = \sum_{n=0}^3 C_p^{\frac{-\Delta_n}{\gamma}} \cdot \left( \varphi_{0n}^{(2)} + \varphi_{1n}^{(2)} \cdot \tau_p^{\frac{\beta}{\gamma}} \cdot C_p^{\frac{\beta}{\gamma}} + \varphi_{2n}^{(2)} \cdot \left( \tau_p^{\frac{\beta}{\gamma}} \cdot C_p^{\frac{\beta}{\gamma}} \right)^2 \right), \quad (17)$$

$$\Delta S \cdot (K_T)^{\frac{1-\alpha}{\gamma}} = \sum_{n=0}^3 K_T^{\frac{-\Delta_n}{\gamma}} \cdot \left( \varphi_{0n}^{(3)} + \varphi_{1n}^{(3)} \cdot \tau_p^{\frac{\beta}{\gamma}} \cdot K_T^{\frac{\beta}{\gamma}} + \varphi_{2n}^{(3)} \cdot \left( \tau_p^{\frac{\beta}{\gamma}} \cdot K_T^{\frac{\beta}{\gamma}} \right)^2 \right). \quad (18)$$

Подставляя в выражения (17), (18) соответственно степенные зависимости (16) получим:

$$\Delta S = \sum_{n=0}^3 \tau_p^{1-\alpha+\Delta_n} \left( \varphi_{0n}^{(2)} \cdot \Gamma_2^{-\frac{1-\alpha+\Delta_n}{\alpha}} (\tilde{x} + x_2)^{1-\alpha+\Delta_n} + \right. \\ \left. + \varphi_{1n}^{(2)} \cdot \Gamma_2^{\frac{\beta\delta-1+\Delta_n}{\alpha}} (\tilde{x} + x_2)^{\beta\delta-1+\Delta_n} + \varphi_{2n}^{(2)} \cdot \Gamma_2^{\frac{\gamma-1+\Delta_n}{\alpha}} (\tilde{x} + x_2)^{\gamma-1+\Delta_n} \right), \quad (19)$$

$$\Delta S = \sum_{n=0}^3 \tau_p^{1-\alpha+\Delta_n} \left( \varphi_{0n}^{(3)} \cdot \Gamma_3^{-\frac{1-\alpha+\Delta_n}{\alpha}} (\tilde{x} + x_3)^{1-\alpha+\Delta_n} + \right. \\ \left. + \varphi_{1n}^{(3)} \cdot \Gamma_3^{\frac{\beta\delta-1+\Delta_n}{\alpha}} (\tilde{x} + x_3)^{\beta\delta-1+\Delta_n} + \varphi_{2n}^{(3)} \cdot \Gamma_3^{\frac{\gamma-1+\Delta_n}{\alpha}} (\tilde{x} + x_3)^{\gamma-1+\Delta_n} \right). \quad (20)$$

Как видим, выражения (15), (19) и (20) имеют одинаковую структуру, что позволяет объединить их в одно выражение:

$$\Delta S = \frac{1}{3} \sum_{n=0}^3 \tau_p^{1-\alpha+\Delta_n} \left( \sum_{i=1}^3 \varphi_{0n}^{(i)} \cdot \Gamma_i^{-\frac{1-\alpha+\Delta_n}{\alpha}} (\tilde{x} + x_i)^{1-\alpha+\Delta_n} + \right. \\ \left. + \sum_{i=1}^3 \varphi_{0n}^{(i)} \cdot \Gamma_i^{\frac{\beta\delta-1+\Delta_n}{\alpha}} (\tilde{x} + x_i)^{\beta\delta-1+\Delta_n} + \sum_{i=1}^3 \varphi_{2n}^{(i)} \cdot \Gamma_i^{\frac{\gamma-1+\Delta_n}{\alpha}} (\tilde{x} + x_i)^{\gamma-1+\Delta_n} \right). \quad (21)$$

Подставим (21) в (12), проинтегрируем дифференциальное уравнение и получим единое уравнение состояния, учитывающее, в соответствии с (3)–(11), асимметрию жидкости относительно критической изохоры:

$$F(\rho, T) = \chi \sum_{n=0}^3 |\tau_p|^{2-\alpha+\Delta_n} a_n(\tilde{x}) + F_r(T, \rho), \quad (22)$$

где масштабные функции свободной энергии имеют следующий вид:

$$a_n(\tilde{x}) = \sum_{i=1}^3 \left( A_{in}^* (\tilde{x} + x_i)^{2-\alpha+\Delta_n} + B_{in}^* (\tilde{x} + x_i)^{\beta\delta+\Delta_n} + D_{in}^* (\tilde{x} + x_i)^{\gamma+\Delta_n} \right) + C_n. \quad (23)$$

Здесь  $A_{in}^*$ ,  $B_{in}^*$  и  $D_{in}^*$  – постоянные коэффициенты, так как согласно (21) они определяются через критические индексы и постоянные  $\varphi_{0n}^{(i)}$  и  $\Gamma_i$ .

В классе степенных зависимостей (23) рассчитаны следующие масштабные функции [5–7]:

$$a_0(\tilde{x}) = A_{01} \left[ (\tilde{x} + x_1)^{2-\alpha} - \frac{x_1}{x_2} (\tilde{x} + x_2)^{2-\alpha} \right] + B_{01} (\tilde{x} + x_3)^\gamma + C_0, \quad (24)$$

$$a_1(\tilde{x}) = A_{11} \left[ (\tilde{x} + x_1)^{2-\alpha+\Delta} - \frac{x_1}{x_2} (\tilde{x} + x_2)^{2-\alpha+\Delta} \right] + B_{11} (\tilde{x} + x_3)^{\gamma+\Delta} + C_1, \quad (25)$$

$$a_2(\tilde{x}) = A_{21} \left( (\tilde{x} + x_1)^{2-\alpha+\Delta_1} - (\tilde{x} + x_2)^{2-\alpha+\Delta_1} \right) + B_{21} \left( (\tilde{x} + x_1)^{\beta\delta+\Delta_1} - \right. \\ \left. - \frac{x_1}{x_2} (\tilde{x} + x_2)^{\beta\delta+\Delta_1} \right) + D_{21} \left( (\tilde{x} + x_1)^{\gamma+\Delta_1} - (\tilde{x} + x_2)^{\gamma+\Delta_1} \right) + C_2, \quad (26)$$

$$a_3(\tilde{x}) = A_{31} \left( (\tilde{x} + x_1)^{2-\alpha+\Delta_2} - \frac{x_1}{x_2} \left( (\tilde{x} + x_2)^{2-\alpha+\Delta_2} \right) \right) + \\ + D_{31} \left( (\tilde{x} + x_1)^{\gamma+\Delta_2} - \frac{x_1}{x_2} (\tilde{x} + x_2)^{\gamma+\Delta_2} \right) + C_3. \quad (27)$$

Фундаментальное уравнение состояния (22), разработанное на базе масштабных функций (24)–(27) апробировано на примере описания термодинамической поверхности аргона [8]. В [8, 9] показано, что уравнение (22) в области параметров состояния  $0 \leq \rho / \rho_c \leq 3.35$  и  $T_{tr,m} \leq T \leq 1200$  К по точности описания равновесных свойств не уступает известным уравнениям состояния (см., например [9]), а в критической области, в отличие от них, передает  $C_v$  с погрешностью, близкой к экспериментальной.

### *Список литературы*

1. Мигдал А.А. Уравнение состояния вблизи критической точки // ЖЭТФ. 1972. Т. 62. № 4. С. 1559–1573.
2. Бенедек Дж. Спектроскопия оптического смещения и ее применения к задачам физики, химии, биологии и техники // УФН. 1972. Т. 106. С. 481.
3. Рыков В.А. Определение «псевдоспинодальной» кривой на основе термодинамических равенств  $(\partial T / \partial s)_v = 0$  и  $(\partial v / \partial p)_T = 0$  // Журнал физической химии. 1985. Т. 59. № 11. С. 2905.
4. Rykov V.A. Structure of the singular terms in the free energy correctly reproducing the nonasymptotic corrections to the thermodynamic functions // Journal of Engineering Physics. 1986. Т. 49. № 6. С. 1502–1508.
5. Рыков С.В., Кудрявцева И.В. Метод расчета асимметричных составляющих свободной энергии в физических переменных // Вестник Международной академии холода. 2009. № 1. С. 43–45.
6. Рыков С.В. Выбор структуры масштабных функций асимметричного уравнения состояния // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Холодильная техника и кондиционирование. 2009. № 2. С. 1–6.
7. Рыков А.В., Кудрявцев Д.А., Рыков В.А. Метод расчета параметров масштабной функции свободной энергии // Научно-технический вестник Поволжья. 2013. № 5. С. 50–53.
8. Рыков С.В., Кудрявцева И.В., Рыков В.А. Асимметричное масштабное уравнение состояния аргона в переменных плотность-температура // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Холодильная техника и кондиционирование. 2008. № 2. С. 6–11.
9. Рыков А.В. Метод построения фундаментального уравнения состояния и термодинамические таблицы перфторпропана // Дис. на соискание уч. степени канд. тех. наук. СПб. 2013. – 186 с.

01.01.01

С.А. Соловьева

Набережночелнинский институт Казанского (Приволжского) федерального университета,  
кафедра математики, solovjeva\_sa@mail.ru

**К ВОПРОСУ О РЕШЕНИИ ИНТЕГРАЛЬНЫХ  
УРАВНЕНИЙ ФРЕДГОЛЬМА ВТОРОГО РОДА**

*В работе предложен и обоснован специальный прямой метод приближенного решения интегральных уравнений второго рода в пространстве гладких функций, основанный на интерполяционных полиномах Эрмита–Фейера.*

Ключевые слова: *интегральное уравнение Фредгольма второго рода, пространство гладких функций, приближенное решение, метод коллокации, интерполяционные полиномы Эрмита–Фейера.*

Рассматривается линейное интегральное уравнение второго рода (УВР)

$$(Ax)(t) \equiv x(t) + (Kx)(t) = y(t) \quad (t \in I \equiv [0,1]), \tag{1}$$

где  $(Kx)(t) \equiv \int_0^1 K(t,s)x(s)ds$ ,  $K$  и  $y$  – известные гладкие функции, а  $x$  – искомая функция.

Теория решения УВР достаточно хорошо разработана, однако (см., например, [1]) в метрике пространства  $C^{(m)}$  гладких функций классические проекционные методы дают «плохой» порядок сходимости. В работе [2] предложен специальный вариант метода коллокации, приспособленный к решению уравнений вида (1) в указанном пространстве и установлена его оптимальность по порядку точности среди всевозможных полиномиальных проекционных методов решения УВР (1).

В данной статье на базе результатов и методов работ [2]–[6] предложен и теоретически обоснован в смысле [7, гл. 1] специальный вариант метода коллокации решения уравнения (1), основанный на интерполяционных полиномах Эрмита–Фейера в пространстве  $C^{(m)}$ .

**1. Пространство основных функций.** Пусть  $C \equiv C(I)$  – пространство непрерывных на  $I$  функций с обычной  $\max$ -нормой и  $m \in N$ . Обозначим через  $Y \equiv C^{(m)}$  линейное пространство  $m$  раз непрерывно дифференцируемых функций. Следуя ([6], с. 40), введем в нем норму

$$\|y\|_Y \equiv \|Dy\|_C + \sum_{i=0}^{m-1} |y^{(i)}(0)| \quad (y \in Y), \tag{2}$$

где  $D: Y \rightarrow C$  – оператор  $m$ -кратного дифференцирования. Известно (например, [6], с. 40), что элементами пространства  $Y$  являются функции вида

$$y(t) = \Phi(t) + \sum_{i=0}^{m-1} c_i t^i, \tag{3}$$

где  $\Phi(t) = (JDy)(t) \in Y$  ( $y \in Y$ ),  $(J\varphi)(t) \equiv \frac{1}{(m-1)!} \int_0^t (t-s)^{m-1} \varphi(s) ds$  ( $\varphi \in C$ ),

$\tilde{n}_i = y^{(i)}(0)/i!$  ( $i = \overline{0, m-1}$ ), при этом  $Y$  по норме (2) полно и вложено в  $C$ .

Пусть линейный оператор  $F_n^D \equiv F_{2n+m}^D : Y \rightarrow H_{2n+m-1}$  определяется по правилу

$$(F_n^D y)(t) \equiv (JF_n Dy)(t) + \sum_{i=0}^{m-1} y^{(i)}(0)t^i / i!, \quad (4)$$

где  $F_n : C \rightarrow H_{2n-1}$  – оператор Эрмита–Фейера (например, [8], с. 543) по системе узлов Чебышева первого рода

$$\xi_k \equiv \xi_k^{(n)} \equiv \frac{1}{2} \cos \frac{(2k-1)\pi}{2n} + \frac{1}{2} \quad (k = \overline{1, n}). \quad (5)$$

Справедлива следующая

**Лемма.** Если  $y \in Y$  и  $Dy \in \text{Lip } \alpha$  ( $0 < \alpha \leq 1$ ), то

$$\|y - F_n^D y\|_Y = O\{n^{-\alpha/2}\}.$$

**Доказательство.** Используя (3), (4), (2) и оценку [9]

$$\|y - F_n \varphi\|_C = O\{n^{-\alpha/2}\} \quad (\varphi \in \text{Lip } \alpha, \alpha \in (0,1]), \quad (6)$$

получаем

$$\|y - F_n^D y\|_Y = \|JDy - JF_n Dy\|_Y = \|Dy - F_n Dy\|_C = O\{n^{-\alpha/2}\}.$$

**2. Обобщенный метод коллокации (ОМК), основанный на интерполяционных полиномах Эрмита–Фейера.** Пусть в УВР (1) исходные данные удовлетворяют условиям

$$(D_t K)(t, s) \in C(I^2), \quad y \in Y, \quad (7)$$

а  $x \in Y$  – искомая функция вида (3).

Решение  $x^* \equiv A^{-1}y$  уравнения (1) аппроксимируем полиномом

$$x_n(t) \equiv (Jz_n)(t) + \sum_{i=0}^{m-1} c_{2n+i} t^i, \quad z_n(t) \equiv z_{2n-1}(t) \equiv \sum_{i=0}^{2n-1} c_i t^i. \quad (8)$$

Ясно, что  $x_n(t) \in H_{2n+m-1}$ . Неизвестные параметры  $c_i$  ( $i = \overline{0, 2n+m-1}$ ) определяем согласно рассматриваемому методу из системы линейных алгебраических уравнений (СЛАУ)

$$\begin{cases} (DAx_n - Dy)(\xi_k) = 0 & (k = \overline{1, n}); \\ (d(Dx_n)/dt)(\xi_k) = 0 & (k = \overline{1, n}); \\ (Ax_n - y)^{(i)}(0) = 0 & (i = \overline{0, m-1}), \end{cases} \quad (9)$$

где  $\xi_k$  определяются по формуле (5).

Справедлива следующая

**Теорема.** Пусть уравнение (1) однозначно разрешимо в  $Y$  при любой правой части  $y \in Y$ , а функции  $g(t, s) \equiv (D_t K)(t, s)$  и  $(Dy)(t)$  удовлетворяют условию Липшица с показателем  $\alpha$  ( $0 < \alpha \leq 1$ ). Тогда при достаточно больших  $n \in \mathbb{N}$  приближенные решения  $x_n^*(t)$ , построенные на основе условий (7)–(9), существуют, единственны и сходятся по норме пространства  $Y$  к точному решению  $x^*(t)$  уравнения (1) со скоростью

$$\|x^* - x_n^*\| = O\{n^{-\alpha/2}\}. \quad (10)$$

**Доказательство.** Уравнение (1) будем рассматривать как линейное операторное уравнение

$$Ax \equiv x + Kx = y \quad (x, y \in Y). \quad (11)$$

Обозначим через  $Y_n \subset Y$  класс полиномов  $y_n$  степени не выше  $2n + m - 1$ , удовлетворяющих условию  $(d(Dy_n)/dt)(\xi_k) = 0$  ( $k = \overline{1, n}$ ). Тогда система (7)–(9) равносильна операторному уравнению вида

$$A_n x_n \equiv F_n^D A x_n = x_n + F_n^D K x_n = F_n^D y \quad (x_n, F_n^D y \in Y_n). \quad (12)$$

В самом деле, пусть  $x_n^*$  – решение уравнения (12), т.е.  $F_n^D (A x_n^* - y) \equiv 0$ . Отсюда в силу (4), (3) и (1) последовательно получаем:

$$\begin{aligned} (JF_n^D D(Ax_n^* - y))(t) + \sum_{i=0}^{m-1} (Ax_n^* - y)^{(i)}(0) t^i / i! &= 0, \\ F_n^D D(Ax_n^* - y)(t) = 0; \quad (Ax_n^* - y)^{(i)}(0) \quad (i = \overline{0, m-1}), \\ Dx_n^*(t) + (F_n^D D(Kx_n^* - y))(t) &= 0; \quad (Ax_n^* - y)^{(i)}(0) \quad (i = \overline{0, m-1}). \end{aligned}$$

Используя определение оператора Эрмита–Фейера (например, [8], с. 543), преобразуем первое уравнение системы:

$$(Dx_n^*)(\xi_k) = (D(y - Kx_n^*))(\xi_k) \quad (k = \overline{1, n}), \quad (d(Dx_n^*)/dt)(\xi_k) = 0 \quad (k = \overline{1, n}),$$

откуда

$$(DAx_n^* - Dy)(\xi_k) = 0 \quad (k = \overline{1, n}), \quad (d(Dx_n^*)/dt)(\xi_k) = 0 \quad (k = \overline{1, n}).$$

Покажем теперь близость операторов  $A$  и  $A_n$  на  $X_n$ . Учитывая (1), (12), (2), (4), (8) и (6), для любого элемента  $x_n \in Y_n$  получим

$$\begin{aligned} \|Ax_n - A_n x_n\|_Y &= \|Kx_n - F_n^D Kx_n\|_Y = \|DKx_n - F_n DKx_n\|_C = \\ &= \max_{t \in I} \left| \int_0^1 (g - F_n g)(t, s) (Jz_n)(s) ds + \sum_{i=0}^{m-1} c_{2n+i} \int_0^1 (g - F_n g)(t, s) s^i ds \right| = \\ &= O \left\{ n^{-\alpha/2} \left( \|z_n\|_C + \sum_{i=0}^{m-1} |c_{2n+i}| \right) \right\} = O \left\{ n^{-\alpha/2} \left( \|Dx_n\|_C + \sum_{i=0}^{m-1} |c_{2n+i}| \right) \right\}. \end{aligned}$$

Отсюда с учетом (2) следует, что

$$\varepsilon^{(n)} \equiv \|A - A_n\|_{Y_n \rightarrow Y} = O\{n^{-\alpha/2}\}. \quad (13)$$

На основании (13) и леммы из теоремы 7 ([7], с. 19) получаем утверждение доказываемой теоремы с оценкой (10).

**Замечания. 1.** При  $m = 0$  рассматриваемое уравнение (1) превращается в уравнение второго рода в  $C$ , а рассматриваемый прямой проекционный метод – в известный вариант метода коллокации на базе интерполяционных полиномов Эрмита–Фейера, причем  $g(t, s) \equiv K(t, s)$ ,  $(Ty)(t) \equiv y(t)$ . Поэтому оценка (10) хорошо согласуется с оценкой, соответствующей рассматриваемому уравнению в пространстве  $C$  (например, [10]).

**2.** Так как в условиях теоремы аппроксимирующий оператор удовлетворяет условию  $\|A_n^{-1}\| = O(1)$  ( $A_n^{-1} : Y_n \rightarrow Y_n, n \geq n_0$ ), то ([7], с. 23–24) предложенный метод решения уравнения (1) устойчив относительно малых возмущений исходных данных. Кроме того, если УВР (1) хорошо обусловлено, то СЛАУ (9) тоже хорошо обусловлена.

**Список литературы**

1. *Габдулхаев Б.Г.* Заметка об общей теории приближенных методов анализа // *Функциональный анализ и теория функций.* 1966. Вып. 3. С.18–31.
2. *Габбасов Н.С., Касакина И.П.* К численному решению интегральных уравнений второго рода в классе гладких функций // *Матем. моделирование и краев. задачи: труды Всерос. науч. конф. Часть 3: Дифференц. уравнения и краевые задачи (Самара, 26–28 мая 2004 г.).* Самара: изд-во СамГТУ. 2004. С. 48–51.
3. *Габбасов Н.С.* Новый прямой метод решения интегральных уравнений первого рода // *Дифференц. уравнения.* 1990. Т. 26. № 12. С. 2122–2127.
4. *Габбасов Н.С.* Коллокационный метод решения интегральных уравнений первого рода в классе обобщенных функций // *Изв. вузов. Математика.* 1993. № 2. С. 12–20.
5. *Габбасов Н.С.* Некоторые варианты метода подобластей для интегральных уравнений первого рода // *Изв. вузов. Математика.* 1996. № 2. С. 21–28.
6. *Габбасов Н.С.* Методы решения интегральных уравнений Фредгольма в пространствах обобщенных функций. Казань: Изд-во Казан. ун-та, 2006. 176 с.
7. *Габдулхаев Б.Г.* Оптимальные аппроксимации решений линейных задач. Казань: Изд-во Казан. ун-та, 1980. 232 с.
8. *Натансон И.П.* Конструктивная теория функций. М.-Л.: Гостехиздат, 1949. 688 с.
9. *Петерсен И.* О сходимости приближенных методов интерполяционного типа для обыкновенных дифференциальных уравнений // *Изв. АН ЭстССР. Сер. физ-матем. и тех. наук.* 1961. № 1. С. 3–12.
10. *Габбасов Н.С., Соловьева С.А.* О специальных вариантах метода коллокации для одного класса интегральных уравнений третьего рода // *Изв. вузов. Математика.* 2012. № 8. С. 27–33.

01.02.04

С.Н. Тимергалиев, А.Н. Углов, Г.А. Якупова

Набережночелнинский институт (филиал) К(П)ФУ, кафедра математики,  
 Набережные Челны, Samat\_tim@mail.ru, an.uglov@mail.ru, vip.gulnara.1983@mail.ru

### ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗРЕШИМОСТИ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ КРАЕВЫХ ЗАДАЧ ДЛЯ ШАРА ЛИНЕЙНОЙ ТЕОРИИ УПРУГОСТИ

В работе для изучения разрешимости линейных краевых задач для изотропного однородного упругого шара применяется метод, основанный на использовании интегральных представлений для компонент перемещений. Задача сводится к системе сингулярных интегральных уравнений по шару, разрешимость которой устанавливается с привлечением символа сингулярного оператора.

Ключевые слова: уравнения равновесия, упругий шар, интегральное представление, система сингулярных интегральных уравнений, символ оператора.

Рассматривается система линейных дифференциальных уравнений в частных производных второго порядка вида

$$\Delta u_j + \frac{1}{1-2\nu} \frac{\partial \theta}{\partial x_j} + \frac{2(1+\nu)}{E} X_j = 0, \quad j = \overline{1,3} \quad (1)$$

относительно неизвестных функций  $u_j$  ( $j = \overline{1,3}$ ) в шаре  $V$  с центром в начале координат радиуса  $R$  с граничными условиями

$$u_j = 0, \quad j = \overline{1,3} \quad (2)$$

на его границе  $S: x_1^2 + x_2^2 + x_3^2 = R^2$ .

В (1) приняты обозначения:  $\theta = \frac{\partial u_1}{\partial x_1} + \frac{\partial u_2}{\partial x_2} + \frac{\partial u_3}{\partial x_3}$ ,  $\Delta \equiv \frac{\partial^2}{\partial x_1^2} + \frac{\partial^2}{\partial x_2^2} + \frac{\partial^2}{\partial x_3^2}$  - оператор

Лапласа.

Система (1) описывает состояние равновесия изотропного однородного упругого тела, при этом  $u_1, u_2, u_3$  - компоненты перемещений точек тела вдоль осей  $Ox_1, Ox_2, Ox_3$ ,  $E = const$  - модуль упругости,  $\nu = const$  - коэффициент Пуассона,  $X_j$  ( $j = \overline{1,3}$ ) - компоненты объемных внешних сил. Граничные условия (2) означают закрепление тела на границе  $S$ .

**Задача (1),(2).** Требуется найти решение  $u = (u_1, u_2, u_3)$  системы (1), удовлетворяющее граничным условиям (2).

Необходимо отметить, что при исследовании краевых задач теории упругости обычно используются либо методы теории потенциала и интегральных уравнений (см.[1] и цитированную литературу), либо методы теории рядов [2]. В основе всех этих методов лежат частные решения однородных уравнений равновесия. В настоящее время такие частные решения построены для уравнений равновесия с постоянными и кусочно - постоянными коэффициентами, описывающих равновесное состояние упругих однородных тел. В данной работе для изучения разрешимости краевых задач предлагается метод, опирающийся на частные решения уравнения Лапласа, не связанные с уравнениями равновесия.

Пусть выполнено условие

$$X_j \in L_p(V), \quad p > 3, \quad j = \overline{1,3}. \quad (3)$$

**Определение.** Будем говорить, что вектор перемещений  $u = (u_1, u_2, u_3)$  есть обобщенное решение задачи (1),(2), если  $u \in W_p^{(2)}(V)$ ,  $p > 3$ , почти всюду удовлетворяет системе (1) и граничному условию (2).

Здесь  $W_p^{(2)}(V)$ - пространство Соболева. Заметим, что в силу теорем вложения для соболевских пространств  $W_p^{(2)}(V)$  с  $p > 3$  обобщенное решение  $u \in C_\alpha^1(\bar{V})$ ,  $\alpha = (p-3)/p$ .

Через  $G(y, x)$  обозначим гармоническую функцию Грина задачи Дирихле, которая в случае шара  $V : x_1^2 + x_2^2 + x_3^2 \leq R^2$  имеет вид ([3],с.431-432):

$$G(y, x) = \frac{1}{4\pi|y-x|} - \frac{R}{4\pi|y||y^*-x|}, \quad y^* = (y_1^*, y_2^*, y_3^*) = \frac{R^2}{|y|^2} y - \quad (4)$$

точка, симметричная точке  $y$  относительно сферы  $S$ . Здесь  $x = (x_1, x_2, x_3)$ ,  $y = (y_1, y_2, y_3) \in V$ ,  $|y-x| = \sqrt{(y_1-x_1)^2 + (y_2-x_2)^2 + (y_3-x_3)^2}$ .

Решение задачи (1),(2) будем искать в виде

$$u(x) = \iiint_V G(y, x) \rho(y) dy, \quad (5)$$

где  $\rho = (\rho_1, \rho_2, \rho_3)$  – произвольная вектор-функция, принадлежащая пространству  $L_p(V)$ ,  $p > 3$ .

Известно ([4],с.240-241), что перемещения (5) удовлетворяют граничному условию (2) и почти всюду в  $V$  уравнению Пуассона  $\Delta u = -\rho$ . Для частных производных второго порядка, входящих в (1), с помощью формулы (15) из ([4],с.240) получаем почти всюду в  $V$  представления:

$$\frac{\partial^2 u_k(x)}{\partial x_k \partial x_j} = -\frac{1}{3} \delta_{kj} \rho_k(x) + \iiint_V \frac{\partial^2 G(y, x)}{\partial x_k \partial x_j} \rho_k(y) dy, \quad k, j = \overline{1,3}, \quad (6)$$

где  $\delta_{kj} = 1$  при  $k = j$  и  $\delta_{kj} = 0$  при  $k \neq j$ .

Для производных функции Грина (4) будем иметь:

$$\frac{\partial^2 G(y, x)}{\partial x_k \partial x_j} = \frac{1}{4\pi} \frac{3(y_k - x_k)(y_j - x_j) - \delta_{kj} |y-x|^2}{|y-x|^5} - \frac{1}{4\pi} \frac{R}{|y|} \frac{3(y_k^* - x_k)(y_j^* - x_j) - \delta_{kj} |y^* - x|^2}{|y^* - x|^5}, \quad k, j = \overline{1,3}. \quad (7)$$

Внося выражения (7) в (6), совершая после этого во втором интеграле замену переменных и вводя функцию  $\rho_k^*(y) = \rho_k(y)$  при  $y \in V$  и  $\rho_k^*(y) = -(R^5/|y|^5)\rho_k(R^2 y/|y|^2)$  при  $y \notin \bar{V}$ , соотношения (6) приводим к виду

$$\frac{\partial^2 u_k(x)}{\partial x_k \partial x_j} = -\frac{1}{3} \delta_{kj} \rho_k(x) + \frac{1}{4\pi} \iiint_{E^3} \frac{f_{kj}((y-x)/|y-x|)}{|y-x|^3} \rho_k^*(y) dy, \quad x \in V, \quad k, j = \overline{1,3}, \quad (8)$$

$$f_{kj} \left( \frac{y-x}{|y-x|} \right) = \frac{3(y_k - x_k)(y_j - x_j) - \delta_{kj} |y-x|^2}{|y-x|^2}, \quad k, j = \overline{1,3},$$

$E^3$  - 3-мерное евклидово пространство.

Теперь в системе (1) производные второго порядка перемещений  $u_j$  заменим их выражениями из (8). В результате получим систему сингулярных интегральных уравнений вида

$$\rho_k(x) - \frac{\nu_0}{4\pi} \sum_{j=1}^3 \iiint_{E^3} \frac{f_{kj}((y-x)/|y-x|)}{|y-x|^3} \rho_j^*(y) dy = F_k(x), \quad x \in V, \quad k = \overline{1,3}, \quad (9)$$

$$F_k(x) = \frac{3(1-2\nu)(1+\nu)}{(2-3\nu)E} X_k(x), \quad \nu_0 = \frac{3}{4-6\nu}.$$

Таким образом, нахождение обобщенного решения задачи (1),(2) свелось к решению системы (9).

При исследовании разрешимости системы (9) будем следовать [5]. Заметим, что функция  $f_{kj}((y-x)/|y-x|)$ , определенная формулой в (8), является характеристикой сингулярного оператора

$$A_{kj}\rho_j = \delta_{kj}\rho_j(x) - \frac{\nu_0}{4\pi} \iiint_{E^3} \frac{f_{kj}((y-x)/|y-x|)}{|y-x|^3} \rho_j^*(y) dy, \quad x \in V, \quad k, j = \overline{1,3}.$$

Обозначив  $\theta = (y-x)/|y-x| = (\theta_1, \theta_2, \theta_3)$ , характеристику  $f_{kj}$  можно представить в виде  $f_{kj}(\theta) = 3\theta_k\theta_j - \delta_{kj}$ ,  $\theta_k = (y_k - x_k)/|y-x|$ ,  $k, j = \overline{1,3}$ . Очевидно,  $f_{kj}(\theta)$  удовлетворяет условиям

$$\iint_{S_0} f_{kj}(\theta) ds_0 = 0, \quad \iint_{S_0} |f_{kj}(\theta)|^q ds_0 \leq c = const, \quad 1/p + 1/q = 1, \quad p > 3, \quad k, j = \overline{1,3};$$

$S_0$  – единичная сфера с центром в начале координат. Тогда в силу теоремы 2.1 из ([5], с.18) сингулярный оператор  $A_{kj}\rho_j$  представляет собой ограниченный оператор в  $L_p(V)$ ,  $p > 3$ .

Займемся вычислением символов  $\Phi_{kj}(\theta)$  операторов  $A_{kj}\rho_j$ . Для этого используем

формулу ([5], с.109):  $\Phi_{kj}(\theta) = \delta_{kj} - \frac{\nu_0}{4\pi} \iiint_{E^3} \frac{f_{kj}(y/|y|)}{|y|^3} e^{-i(y,z)} dy, \quad \theta = z/|z|, \quad z = (z_1, z_2, z_3),$

$y = (y_1, y_2, y_3)$ ,  $(y, z) = y_1z_1 + y_2z_2 + y_3z_3 = |y||z|\cos\gamma$ ,  $\gamma$  – угол между векторами  $y, z$ . Сначала вычислим  $\Phi_{11}(\theta)$ . С учетом (8) имеем:

$$\Phi_{11}(\theta) = 1 - \frac{\nu_0}{4\pi} \iiint_{E^3} \frac{2y_1^2 - y_2^2 - y_3^2}{|y|^5} e^{-i(y,z)} dy = 1 - \frac{\nu_0}{4\pi} \lim_{r \rightarrow \infty, \varepsilon \rightarrow 0} \iiint_{\varepsilon < |y| < r} \frac{\partial^2}{\partial y_1^2} \left( \frac{1}{|y|} \right) e^{-i(y,z)} dy. \quad (10)$$

К тройному интегралу в (10) применим формулу Остроградского. В результате получим

$$\begin{aligned} \lim_{r \rightarrow \infty, \varepsilon \rightarrow 0} \iiint_{\varepsilon < |y| < r} \frac{\partial^2}{\partial y_1^2} \left( \frac{1}{|y|} \right) e^{-i(y,z)} dy = \lim_{r \rightarrow \infty, \varepsilon \rightarrow 0} \{ \iint_{S_\varepsilon \cup S_r} \frac{\partial}{\partial y_1} \left( \frac{1}{|y|} \right) \cos(n, y_1) e^{-i(y,z)} ds + \\ + iz_1 \iiint_{\varepsilon < |y| < r} \frac{\partial}{\partial y_1} \left( \frac{1}{|y|} \right) e^{-i(y,z)} dy \}, \end{aligned} \quad (11)$$

где  $n$  – внешняя нормаль к  $S_\varepsilon \cup S_r$ ,  $S_\varepsilon, S_r$  – сферы радиуса  $\varepsilon, r$  с центром в начале координат. На  $S_r$ :  $\cos(n, y_1) = y_1/r$ , а на  $S_\varepsilon$ :  $\cos(n, y_1) = -y_1/\varepsilon$ . Через  $A = (a_{jk})_{3 \times 3}$  обозначим матрицу перехода от системы координат  $Oy_1y_2y_3$  к новой прямоугольной системе координат  $O\xi_1\xi_2\xi_3$ . Известно, что  $A$  – ортогональная матрица. Ось  $O\xi_1$  направим вдоль вектора  $z$ . Тогда внося в (11) выражения  $y_j = a_{1j}\xi_1 + a_{2j}\xi_2 + a_{3j}\xi_3$ ,  $j = \overline{1,3}$ , переходя после этого к сферическим координатам  $\xi_1 = \lambda \cos\psi, \xi_2 = \lambda \sin\psi \cos\varphi, \xi_3 = \lambda \sin\psi \sin\varphi$  ( $\lambda = \varepsilon$  на  $S_\varepsilon$  и  $\lambda = r$  на  $S_r$ ) и учитывая при этом  $(y, z) = r|z|\cos\psi$  на  $S_r$  и  $(y, z) = \varepsilon|z|\cos\psi$  на  $S_\varepsilon$ , для

поверхностных интегралов в (11) получаем  $\lim_{r \rightarrow \infty, \varepsilon \rightarrow 0} \iint_{S_\varepsilon \cup S_r} \frac{\partial}{\partial y_1} \left( \frac{1}{|y|} \right) \cos(n, y_1) e^{-i(y,z)} ds = \frac{4\pi}{3}$ .

Для тройного интеграла в (11) аналогичными рассуждениями будем иметь:

$$\lim_{r \rightarrow \infty, \varepsilon \rightarrow 0} i z_1 \iiint_{\varepsilon < |y| < r} \frac{\partial}{\partial y_1} \left( \frac{1}{|y|} \right) e^{-i(y,z)} dy = -4\pi \theta_1 a_{11}, \theta_1 = \frac{z_1}{|z|}. \text{ Но } a_{11} = \cos(Oy_1, O\xi_1) = \theta_1. \text{ С учетом всего}$$

этого из (10) окончательно получим  $\Phi_{11}(\theta) = \nu_0(1 - 2\nu + \theta_1^2)$ . Аналогично вычисляем значения остальных символов. В результате имеем

$$\Phi_{jk}(\theta) = \Phi_{kj}(\theta) = \nu_0 \theta_j \theta_k, j \neq k, \Phi_{kk}(\theta) = \nu_0(1 - 2\nu + \theta_k^2), \theta_k = z_k / |z|, j, k = \overline{1, 3}. \quad (12)$$

В соответствии с теоремой 3.40 из ([5], с.192), принимая во внимание (12), находим  $\Delta_1 = \Phi_{11}(\theta) = \nu_0(1 - 2\nu + \theta_1^2)$ ,  $\Delta_2 = \det(\Phi_{jk})_{2 \times 2} = \nu_0^2 \{ (1 - 2\nu)^2 +$

$$+(1 - 2\nu)(\theta_1^2 + \theta_2^2) \}, \Delta_3 = \det(\Phi_{jk})_{3 \times 3} = 2\nu_0^3(1 - 2\nu)^2(1 - \nu),$$

откуда при  $\nu < 1/2$  сразу получаем, что точные нижние границы модулей определителей  $\Delta_j$  на  $S_0$  положительны.

Следовательно, индекс системы уравнений (9) равен нулю и поэтому к ней применима

альтернатива Фредгольма. Покажем, что система (9) при  $F_k(x) = 0, k = \overline{1, 3}$  имеет только

нулевое решение в  $L_p(V), p > 3$ . Допустим противное: пусть  $\rho = (\rho_1, \rho_2, \rho_3) \in L_p(V), p > 3$ -

ненулевое решение этой системы. Этому решению по формуле (5) соответствует вектор

перемещения  $u(x) \in W_p^{(2)}(V), p > 3$ , который п.в. удовлетворяет системе (1) при

$X_j = 0, j = \overline{1, 3}$  и граничным условиям (2). Каждое равенство в (1) с  $X_j = 0, j = \overline{1, 3}$

умножаем соответственно на  $u_j$ , интегрируем по шару  $V$  и сложим. Интегрируя после этого

по частям, учитывая при этом (2), будем иметь:  $\iiint_V \left\{ \sum_{j=1}^3 \left| \text{grad} u_j \right|^2 + \theta^2 / (1 - 2\nu) \right\} dv = 0$ , откуда

$u_j = 0$  в  $\overline{V}, j = \overline{1, 3}$ , следовательно,  $\rho = 0$  в  $V$ . Итак, система (9) при любой правой части

имеет единственное решение  $\rho \in L_p(V), p > 3$ , которое по формуле (5) определяет

перемещения  $u_j \in W_p^{(2)}(V), p > 3, j = \overline{1, 3}$ .

Таким образом, доказана следующая теорема.

**Теорема.** Пусть выполнены условия (3) и  $\nu < 1/2$ . Тогда задача (1),(2) имеет единственное обобщенное решение  $u = (u_1, u_2, u_3) \in W_p^{(2)}(V), p > 3$ .

### Список литературы

1. Купрадзе В.Д., Гегелиа Т.Г., Башелейшвили М.О., Бургуладзе Т.В. Трехмерные задачи математической теории упругости и термоупругости. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Наука, 1976. - 664 с.
2. Гурьянов Н.Г., Тюленева О.Н. Краевые задачи теории упругости для шара и цилиндра. - Казань: Изд-во КГУ, 2008. - 208 с.
3. Владимиров В.С. Уравнения математической физики. - 5-е изд., доп. - М.: Наука, 1988. - 512 с.
4. Михлин С.Г. Курс математической физики. - М.: Наука, 1968. - 576 с.
5. Михлин С.Г. Многомерные сингулярные интегралы и интегральные уравнения. - Л.: Физматгиз, 1962. - 256 с.

01.02.04

Т.Ю. Тришина

Тульский государственный университет, горно-строительный факультет,  
кафедра строительства, строительных материалов и конструкций,  
Тула, Loranatula@gmail.com

### МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ЛОКАЛЬНОГО ПЛАСТИЧЕСКОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ ЦИЛИНДРИЧЕСКОГО СЛОЯ С ПРОГНОЗИРУЕМЫМИ МЕХАНИЧЕСКИМИ И СТРУКТУРНЫМИ СВОЙСТВАМИ МАТЕРИАЛА

*В работе представлены результаты моделирования процесса локального пластического деформирования цилиндрического слоя с прогнозируемыми механическими и структурными свойствами. Исследование проведено с использованием конечно-элементного комплекса ANSYS. На основе результатов моделирования, предложены рекомендации по выбору параметров подачи инструмента и температуры нагрева исходной заготовки.*

Ключевые слова: *напряжение, деформация, температура нагрева, подача инструмента.*

Процессы пластического формообразования с локализованным очагом деформации являются очень эффективным технологическим методом производства заготовок и деталей для систем точного машиностроения. К ним относится сферодвижная штамповка. Эффект знакопеременного деформирования, (связанный с непрерывным поворотом главных осей деформации относительно материальных волокон деформируемого материала) позволяет достигать больших пластических деформаций. Существенным фактором является получение качественной мезоструктуры деформируемого материала (с умеренной деформационной поврежденностью), что формирует высокие прочностные свойства готовых изделий.

Процессы сферодвижной штамповки являются мало изученными с точки зрения выбора оптимальных технологических параметров (подачи инструмента, степени формоизменения, силы деформирования, температурного режима). В немалой степени это связано с трудностью анализа и моделирования процессов локального формоизменения, что, несомненно, сдерживало их практическое использование. Для исследования процесса сферодвижной штамповки использовался энергетический метод, позволяющий оценивать влияние внешних сил. При этом баланс работ осуществляется не только применительно к моментальной величине очага деформации, но и за период деформации, соответствующий одному полному обороту деформирующего инструмента относительно заготовки. Однако использование традиционных моделей деформируемого материала (модели жестко-пластического материала) приводит к возможным заметным погрешностям при определении технологических параметров. Использование конечно-элементных компьютерных программ (КЭ программ) позволяет решить проблему качественного моделирования процессов локального формоизменения с определением технологических параметров с высокой точностью.

Для моделирования процесса локального пластического деформирования осесимметричного цилиндрического слоя в системе цилиндрических координат  $r$ ,  $z$ ,  $q$  используются следующие основные уравнения:

$$\frac{\partial \sigma_r}{\partial r} + \frac{\partial \tau_{rz}}{\partial z} + \frac{\sigma_r - \sigma_\theta}{r} = 0, \quad (1)$$

$$\frac{\partial \tau_{rz}}{\partial r} + \frac{\partial \sigma_z}{\partial z} + \frac{\partial \tau_{rz}}{r} = 0, \quad (2)$$

$$(\sigma_r - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_\theta)^2 + (\sigma_\theta - \sigma_r)^2 + 6\tau_{rz}^2 = 6\tau_s^2(e_{ij}, \chi_s), \quad (3)$$

$$\dot{\lambda} = \frac{\frac{\partial V_r}{\partial z} + \frac{\partial V_z}{\partial r}}{2\tau_{rz}} = \frac{\frac{\partial V_r}{\partial r} + \frac{\partial V_z}{\partial z}}{\sigma_r - \sigma_z}, \quad (4)$$

$$\dot{\lambda} = \frac{I_2(D_{\dot{\epsilon}})}{I_2(D_{\sigma})} = 3 \frac{I_3(D_{\dot{\epsilon}})}{I_3(D_{\sigma})}, \quad (5)$$

$$\frac{\partial V_r}{\partial r} + \frac{\partial V_z}{\partial z} + \frac{\partial V_r}{r} = 0, \quad (6)$$

где  $\sigma_r, \sigma_z, \sigma_{\theta}, \tau_{rz}$  - отличные от нуля компоненты тензора напряжений  $T_{\sigma}(\sigma_{ij})$ ;  $V_r, V_z$  - компоненты вектора скорости пластического течения;  $\dot{\lambda}$  - положительная скалярная величина [2], пропорциональная мощности пластической деформации;  $\tau_s$  - предел текучести при сдвиге;  $\chi_s$  - параметры, связанные с деформациями  $e_{ij}$ ;  $I_2(D_{\dot{\epsilon}}), I_3(D_{\dot{\epsilon}})$  и  $I_2(D_{\sigma}), I_3(D_{\sigma})$  - квадратичный и кубический инварианты девиаторов скорости деформации  $D_{\dot{\epsilon}}$  и напряжения  $D_{\sigma}$ , соответственно.

В результате моделирования определены силовые параметры процесса сферодвижной штамповки слоя (рис. 1) из малоуглеродистой низколегированной стали. Моделирование процесса проведено для следующих исходных данных: исходная заготовка (слой) – круг диаметром 100 мм, число оборотов ротационного узла 200 1/мин, подача 1 – 10 мм/с, максимальное усилие раскатки 2000 кН, угол наклона - 5°, температура нагрева исходной заготовки 600°C, 750°C, и 900°C.

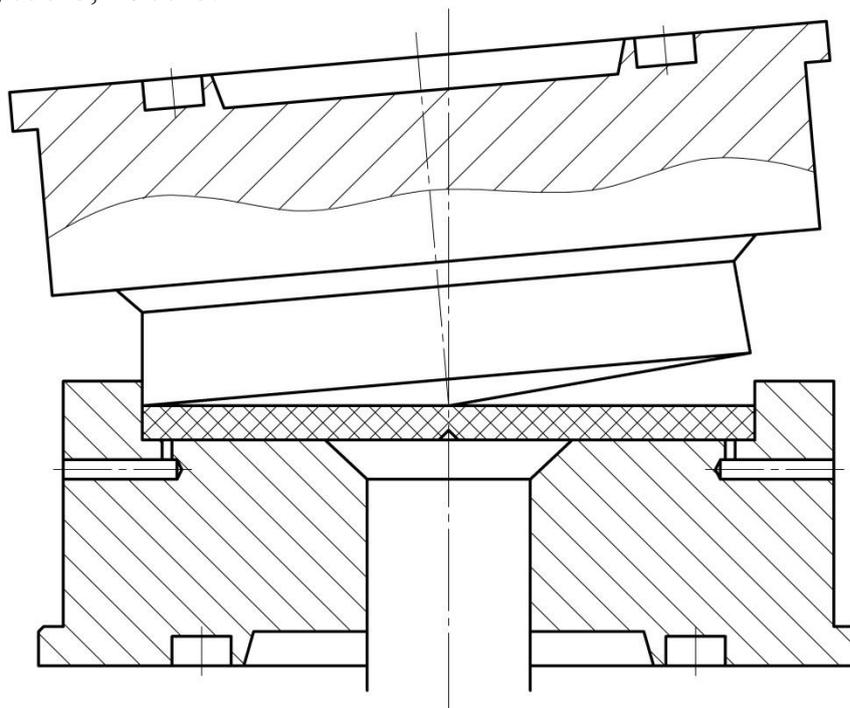


Рис. 1 – Штамповая оснастка для процесса локального пластического деформирования

Определено напряженно-деформированное состояние (НДС) материала заготовки при ее изготовлении из проката диаметром 100 мм. Поскольку усилие на ротационный узел увеличивается с ростом диаметра заготовки, то расчет проведен для последнего круга обкатки ротационного узла. НДС материала слоя рассчитано методом конечных элементов. Конечно-элементная модель заготовки (рис. 2) построена посредством поворота на угол 90° её фигуры вокруг продольной оси (Y). Построение профиля ролика выполнено при повороте пользовательской системы координат на угол 5° [1]. Задача решена в системе СИ. Процесс

деформирования заготовок проанализирован для температур заготовки 600°, 750° и 900°C. При этом решение для каждой температуры проведено при своем модуле упругости первого рода [3]. Решение осуществлено при пошаговом изменении подачи на оборот с 1 мм/с до 10 мм/с. После каждого шага нагрузки подсчитано суммарное усилие на ротационном узле. При превышении предельного значения усилия 2000 кН, расчет на данном шаге останавливается.

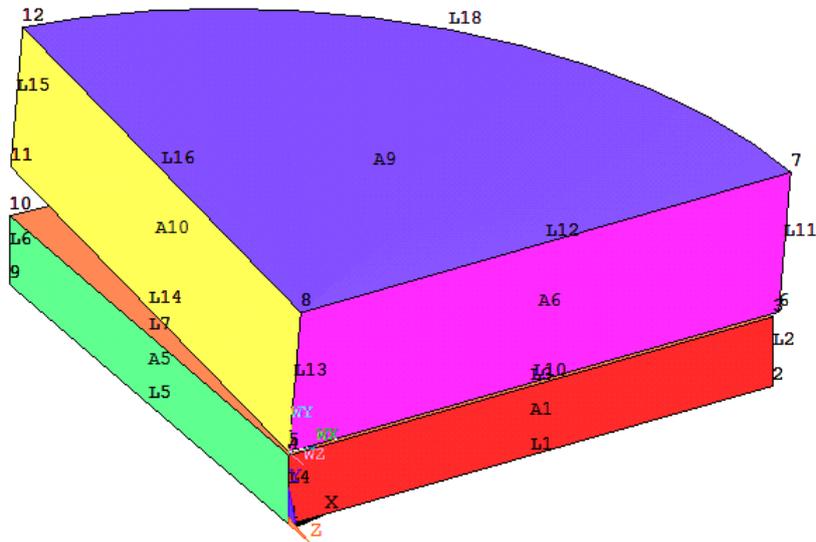


Рис. 2 – Геометрическая модель задачи по локальному деформированию кружка

На основе проведенного конечно-элементного моделирования процесса локального пластического деформирования, при соблюдении заданных условий для технологических параметров предложены следующие рекомендации (рис. 3) по выбору параметров подачи инструмента и температуры нагрева исходной заготовки.

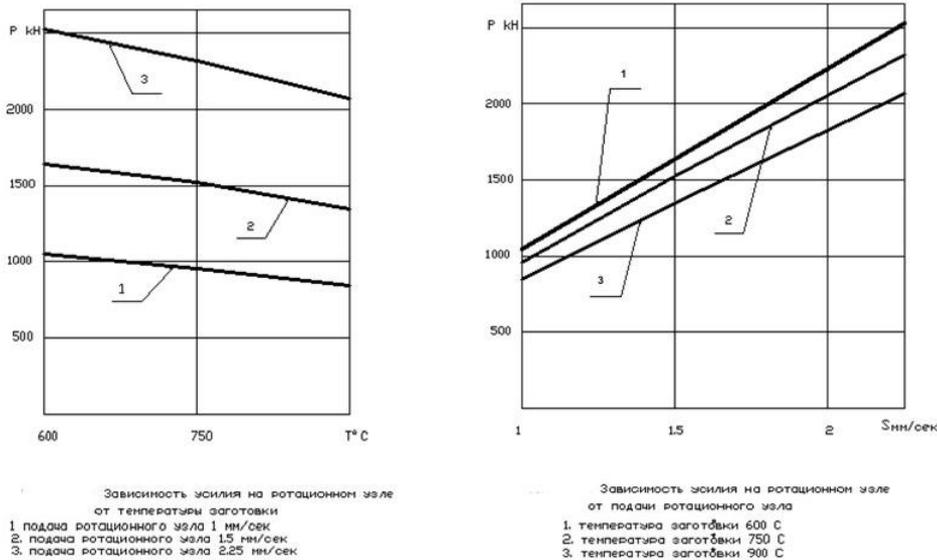


Рис. 3 - Зависимости усилия на роторном узле для заготовки

Если исходить из фиксированных температур нагрева заготовок (600°C, 750°C и 900°C), то подача инструмента не должна превышать величин 1.2 мм/с, 1.5 мм/с и 1.8 мм/с, соответственно. Если выбирать фиксированную подачу инструмента, например, значения 1,0 мм/с, 1,5 мм/с, то температура нагрева заготовки должна быть не менее 600°C и 750°C, соответственно.

**Список литературы**

1. *Басов К.А.* Графический интерфейс комплекса ANSYS / К.А. Басов. – М.: Изд-во «ДМК - Пресс», 2006. – 248 с.
2. *Голованов А.И., Бережной Д.В.* Метод конечных элементов в механике деформируемых твердых тел / А.И. Голованов, Д.В. Бережной. – Казань: Изд-во «ДАС», 2001. – 301 с.
3. *Третьяков А.В., Зюзин В.И.* Механические свойства металлов и сплавов при обработке давлением / А.В. Третьяков, В.И. Зюзин. – М.: Металлургия, 1973. – 224 с.

## ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

05.23.05

<sup>1</sup>М.В. Акулова д.т.н., <sup>2</sup>Б.Р. Исакулов к.т.н., <sup>2</sup>М.Д. Джумабаев, <sup>2</sup>А.М. Сартова<sup>1</sup>Ивановский государственный политехнический университет, г. Иваново<sup>2</sup>Актюбинский университет им. С. Баишева, Казахстан, г. Актобе**КОМПЛЕКСНАЯ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКАЯ АКТИВАЦИЯ ЗОЛОШЛАМОВЫХ ВЯЖУЩИХ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ЛЕГКИХ АРБОЛИТОБЕТОНОВ**

*В экспериментальных исследованиях описаны полученные результаты комплексной электромеханической активации и исследование свойств золошламовых вяжущих с различными отходами промышленности республик Центральной Азии.*

Ключевые слова: активация, зола-унос, вяжущее, электрическое поле, прочность при сжатии.

В настоящее время в республиках Центральной Азии производстве легких бетонов намечены направления к снижению расхода цемента за счет применения отходов различных отраслей промышленности в виде наполнителей и добавок [1, 2, 3]. Согласно обзору теоретических и литературных данных, факторами, которые определяют прочность легких бетонов являются применение активированного вяжущего [4], что способствует улучшению условий адгезии в системе «органический наполнитель минеральное вяжущее», т.е. упрочнение зоны их контакта. Исходя из выше изложенных работ нами проведены экспериментальные исследования комплексной электромеханической активации цементно-золошламовых вяжущих для легких арболитобетонов. В качестве сырьевых материалов для проведения экспериментов были использованы зола-унос Нукусской ТЭЦ и Краснооктябрьский бокситовый шлам алюминиевых отходов Кустанайской области, хлориды бария и кальция, вода, а также применялся портландцемент марки 400 Новинского цементного завода. Испытание цемента проводили в соответствии с ГОСТ 310.1-76, 310.2-76, 310,3-76, 310,4-76 (табл. 1, 2).

**Таблица 1 - Физико-механические свойства Новинского цементного завода**

Нормальная густота теста	Начало схватывания	Конец схватывания	Прочность при сжатии, R <sub>сж</sub> , Мпа	Предел прочности при гibe, R <sub>изг</sub> , Мпа	Расплав конуса, мм
25,2, %	2ч – 39 мин	4ч – 29 мин	42,7	5,7	110

**Таблица 2 - Химический состав цемента, % масс.**

CaO	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	SO <sub>3</sub>	R <sub>2</sub> O	п.п.п	Σ
61,48	23,38	6,09	6,38	1,09	0,60	0,38	0,52	99,92

Химический состав золы-уноса и бокситового шлама приведен в табл. 3 и 4.

**Таблица 3 - Химический состав золы-уноса**

Потери при понал. масс. %	Содержание оксидов, масс. %						
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +TiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	NaO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>
7,33	48,53	23,92	5,94	9	1,9	0,18	0,52

**Таблица 4 - Химический состав бокситового шлама**

Потери при прокаливании, масс. %	Содержание оксидов, масс. %						
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +TiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	NaO <sub>2</sub> +KO	п.п.п
7,33	18-22	40,8+2,2	23-27	2,9-5	0,2	0,5	0,7

Для полного изучения механизма комплексного электромеханического способа активации вяжущего принята методика последовательного изучения растворная смеси двухкомпонентного вяжущего. Анализ процессов, происходящих по этой последовательности, позволил выяснить причины повышения активности исходного вяжущего. Источником постоянного (выпрямленного) тока для создания электрического поля было выпрямительное устройство ВСА-5 К, а переменного тока – лабораторный трансформатор ЛАТР-1М. Необходимые электрические выходные параметры для создания условий комплексной электромеханической активации - напряжение силу тока – измеряли соответственно вольтметром, амперметром.

Предел прочности на сжатие (при изгибе) определяли на образцах-кубах с ребрами 10 см в соответствии с ГОСТ 10180-78.

Образцы изготовлены в технологической последовательности:

- подготовка наполнителей по гранулометрическому составу;
- подготовка и дозирование цементно-зольного вяжущего;
- приготовление и перемешивание определенного количества воды (масса которой соответствует массе золошлама) с хлоридом бария, взятой в количестве 5% от общей массы вяжущего;

- загрузка в барабанную электромеханическую мельницу отдозированных количеств воды с химической добавкой (электролитом) золошлама при В/З=1,0;

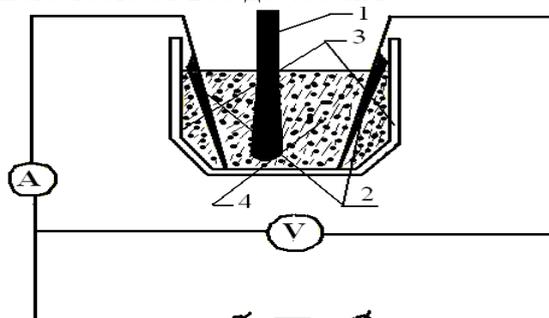
- пропускание электрического тока через вяжущее в процессе мокрого помола через каждые 5 мин. Общая продолжительность процесса активации 20 мин. Параметры создаваемого электрического поля в лабораторной электромеханической мельнице составляет напряжение в пределах от 30 до 60 В. По истечении указанного времени активации к смеси золошлама добавлено 60% цемента и не достающее количество воды до достижения В/Ц = 0,6. Совместный помол в течение 10 мин с одновременным пропусканием электрического тока через ЦЗШ смесь с интервалом в 2 мин. Наиболее важным фактором является предварительная подготовка заполнителя до перемешивания с цементным тестом. Экстрагирование водорастворимых веществ из заполнителя осуществляли путем вымачивания в воде при определенном соотношении заполнитель: вода (З:В) и продолжительности облагораживания.

В основу методики исследований была заложена идея дополнительной активации вяжущего с использованием поляризуемости частиц вяжущего под действием электрического поля. Принятая идея оказалась реальной благодаря осуществлению следующего принципа: эффект дополнительной активации частицы можно достигнуть одновременным воздействием на нее двух факторов: электрического поля, проходящего через жидкую фазу, и процесса измельчения. В результате разработанный принцип получил название: принцип «Комплексная электромеханическая активация» (КЭМА) активации [5].

Нами проведены опытные работы принципа КЭМА активации упрощенным способом (рис.). В качестве вяжущего принят цементно-зольный состав Ц:З= 60:40 при В/Ц= 0,6. Для пропускания электрического тока через цементное тесто использовали фарфоровую ступку, вместимостью 3 л, а для измельчителя фарфоровый пестик. Измельчение происходило вручную за счет истирающих и ударных воздействий. Для наибольшего создания электрического поля в цементном тесте, конструкция электродов выполнена в виде пластин из тонкого нержавеющей металла толщиной 0,5 мм, с целью увеличения площади соприкосновения с цементным тестом. В первоначальном варианте конструкции электродов были испробованы в виде: сетчатого типа, проволок круглого сечения из стали. Данные виды

электродов не давали КЭМА эффекта и повышения прочности цементно-золенношламового камня. К тому же со временем эксплуатации они подвергались коррозии. Электрическое поле создавалось с помощью выпрямителя постоянного тока и лабораторного трансформатора переменного тока. Численное значение параметров создаваемого электрического тока принято в пределах от 10 до 30 В.

Для оценки влияния химических добавок на прочность цементно-золенношламового камня при электромеханической обработке ручным способом использованы: хлориды натрия, кальция и бария. В процессе КЭМА активации наблюдалась тенденция в сторону увеличения электропроводности цементного теста от 200 до 400 мА.



**Рис. Электрическая схема цепи для КЭМА активации вяжущего 1-фарфоровый пестик; 2- электроды; 3- фарфоровая ступка; 4- цементное тесто**

Как видно из табл. 5, наиболее эффективно протекает процесс КЭМА активации при добавлении хлористого бария. Прочность цементно-золенного камня повышается на 50 % по сравнению с контрольными образцами без поляризации. При этом, хлорид бария выполняет при этом роль инициатора физико-химического процесса коагуляции вяжущей смеси. В процессе электрокоагуляции происходит поляризация дисперсных частиц вяжущего и взаимное притяжение между собой, что усиливает процесс структурообразования.

**Таблица 5 - Влияние химических добавок при КЭМА активации на механические свойства ЦЗШ вяжущего состава 60:40, %**

Химические добавки В 5 от массы вяжущего	В/Ц	Время помола	Вид электрического поля	Напряжение, В	Прочность при сжатии, МПа, сут		
					7	14	28
Без химич. добавок	0,6	10	-	-	68	98	275
	0,6	10	Постоянный	25	87	109	298
	0,6	10	Переменный	25	82	101	289
Хлорид натрия 5%	0,6	10	-	-	88	180	296
	0,6	10	Постоянный	25	101	215	366
Хлорид кальция 5%	0,6	10	Переменный	25	95	202	356
	0,6	10	-	-	90	196	308
Хлорид бария 5%	0,6	10	Постоянный	25	110	229	396
	0,6	10	Переменный	25	105	223	387
	0,6	10	-	-	98	204	324
	0,6	10	Постоянный	25	153	306	502
	0,6	10	Переменный	25	125	252	486

Механизм активации цементнозоленношламовой смеси КЭМА воздействием осуществляется за счет эффективного вскрытия потенциальных свойств частиц вяжущего с эффектом роста удельной поверхности и одновременным пропусканием электрического тока на внутренние участки измельчаемых частиц. В результате этого усиливается процесс помола, увеличивающий реакционную способность и активность вяжущего.

Установлено, что приведенные обстоятельства являются одним из решающих в образовании коагуляционной структуры цементно-зольного геля и упрочнения системы, связанной с постепенным увеличением сил взаимодействия (сцепления) структурных элементов, входящих в состав новообразований активизированного цементнозольношламового вяжущего для легких арболитобетонов.

#### *Список литературы*

1. *Бауман В.А.* Механическое оборудование предприятий строительных материалов, изделий и конструкций / В.А. Бауман, Б.В. Клушанцев, Б.Д. Мартынов.- М.: Машиностроение, 1975.- С. 109.
2. *Краснюк А.Г.* Влияние модифицированных лигносульфонатов на свойства бетона / А.Г. Краснюк, Л.А. Новацкая // Строительные материалы и конструкций, 1982 - С. 129-134.
3. *Сулейменов С.Т.* Физико-химические процессы структурообразования в строительных материалах из минеральных отходов промышленности. М.: Манускрипт, 1996. - С. 133-138.
4. *Акчабаев, А.А.* Активация вяжущего поляризацией как способ повышения прочности арболита / А.А. Акчабаев, К.А. Бисенов, С.С. Удербает // докл. Министерства науки и высшего образования. – Алматы: НАН РК, 1999. - №4. С. 57-60.

05.12.04

**<sup>1</sup>В.М. Артюшенко д.т.н., <sup>2</sup>В.И. Воловач к.т.н., <sup>3</sup>К.Л. Самаров д.ф.-м.н.**

<sup>1</sup>Финансово-технологическая академия, информационно-технологический факультет, кафедра «Информационные технологии и управляющие системы»,  
Королев, artuschenko@mail.ru

<sup>2</sup>Поволжский государственный университет сервиса, факультет информационно-технического сервиса, кафедра «Информационный и электронный сервис»,  
Тольятти, ssunrise@mail.ru

<sup>3</sup>Финансово-технологическая академия, информационно-технологический факультет, кафедра «Математика и естественнонаучные дисциплины»,  
Королев, samarov@mail.ru

### КОНСТРУИРОВАНИЕ ДВУХМЕРНЫХ КОРРЕЛИРОВАННЫХ МОДЕЛЕЙ НЕГАУССОВСКИХ ПОМЕХ

*Показано, что для описания случайных процессов может использоваться метод многомерных ПРВ, в частности метод смешивания случайных процессов. Для получения многомерных ПРВ, в свою очередь, могут быть использованы непрерывнозначные марковские процессы, рассмотренные в статье. Показано, что в ряде случаев используется упрощенное вероятностное описание случайных процессов, например, с использованием одномерной ПРВ и корреляционной функции. Отмечено, что для описания узкополосных коррелированных негауссовских помех могут быть использованы эллиптически симметричные двухмерные ПРВ.*

Ключевые слова: многомерные ПРВ, метод смешивания случайных процессов, марковские процессы, одномерная ПРВ, корреляционная функция, эллиптически симметричные двумерные ПРВ, негауссовские помехи.

Для синтеза и анализа, а, следовательно, для эффективного проектирования радиотехнических систем и устройств, работающих в условиях интенсивных возмущений, необходимо выбрать не только адекватные математические модели полезных сигналов и информационных процессов  $\lambda(t)$ , но и случайных воздействий, имеющих, в общем случае, мультипликативный  $\eta(t)$  и аддитивный  $n(t)$  характер [1-5].

Как правило, возмущения (помехи), действующие на радиотехнические системы и устройства, являются случайными процессами (СП) с негауссовской плотностью распределения вероятности (ПРВ) (стационарными и нестационарными) [6-8]. Наиболее полным описанием случайных процессов (последовательностей) является метод многомерных ПРВ. Известно несколько методов описания и моделирования СП с многомерной ПРВ. Одним из таких методов является метод смешивания случайных процессов [7], основанный на представлении ПРВ случайной последовательности  $\{\lambda_h, h = \overline{1, N}\}$  суммой взвешенных ПРВ:  $W(\lambda_1, \dots, \lambda_N) = \sum_{i=1}^N p_i W_i(\lambda_1, \dots, \lambda_N)$ , где  $p_i$  – случайные весовые коэффициенты, причем  $\sum_{i=1}^N p_i = 1$ ;  $W_i(\lambda_1, \dots, \lambda_N)$  – заданные  $N$ -мерные распределения.

Элементы последовательности  $\{\lambda_h, h = \overline{1, N}\}$  интерпретируются как отсчеты, полученные дискретизацией соответствующего процесса  $\lambda(t)$  в момент времени  $t_h$ , причем, как правило,  $t_h - t_{h-1} = T_0 = \text{const}$ . Наибольшее распространение получил случай, когда в качестве  $W_i(\lambda_1, \dots, \lambda_N)$  используются  $N$ -мерные нормальные распределения. Большие возможности для получения многомерных ПРВ открывают марковские процессы, позволяющие с требуемой точностью аппроксимировать случайный процесс. В настоящей статье далее рассмотрим непрерывнозначные марковские процессы.

Как известно, распространенной формой описания марковских случайных процессов служат системы статистических дифференциальных уравнений, а также формирующие фильтры. Отметим, что в случае негауссовских процессов дифференциальные уравнения являются нелинейными вида:  $X(t) = f[(d/dx)\ln W(x)] + \beta n_6(t)$ , где  $f[(d/dx)\ln W(x)]$  – определяет ПРВ процесса  $W(x)$ ;  $\beta$  – константа;  $n_6(t)$  – белый негауссовский шум.

Сложность формирования и необходимость задания большого количества априорной информации [9,10], которую часто трудно получить на практике (особенно для негауссовских ПРВ), порой вынуждают отказываться от полного вероятностного описания случайных процессов в пользу упрощенного. Наиболее доступной информацией о любом случайном процессе является одномерная ПРВ и корреляционная функция. В этих условиях для описания реальных информационных процессов и помех широко используются марковские модели. Их высокая эффективность широко известна из работ марковской теории нелинейной фильтрации.

Для описания произвольных негауссовских помех, являющихся квазигармоническими процессами, спектр которых близок (или более узкополосен) по сравнению с полосой полезного сигнала, могут быть использованы эллиптические симметричные (ЭС) двухмерные ПРВ, включающие два предельных случая: гауссовские процессы и синусоидальный сигнал со случайной начальной фазой, распределенной равномерно в  $[0, 2\pi]$  [11].

Эллиптически-симметричные двухмерные ПРВ  $W_2(n_1, n_2)$  стационарного процесса  $n(t)$  зависят от  $n_1$  и  $n_2$  ( $n_1 = n(t)$ ,  $n_2 = n(t + \tau)$ ) только в комбинации  $l = [n_1^2 + n_2^2 - 2r(\tau)n_1n_2]^{0.5}$ , где  $r(\tau) = B_n(\tau)/B_n(0)$  – коэффициент корреляции величин  $n_1$  и  $n_2$ , представляет собой форму эллипсов. Следовательно, можно записать, что

$$W_2(n_1, n_2) = Cf(R), \quad (1)$$

где  $C$  – нормировочная постоянная;  $R = l(1 - r^2)^{-0.5}$ ;

$$f(R) = [2\pi(1 - r^2)]^{-1} \int_0^\infty \Theta(v) J_0(Rv) v dv, \quad (2)$$

– функция, являющаяся преобразованием Бесселя нулевого порядка одномерной характеристической функции  $\Theta(v)$  рассматриваемого СП.

Как видно из соотношений (1), (2),  $W_2(n_1, n_2)$  полностью определяется одномерной ПРВ  $W_1(n)$ , связанной преобразованием Фурье с характеристической функцией  $\Theta(v)$  и коэффициентом корреляции  $r(\tau)$  рассматриваемого процесса. При этом одномерная ПРВ и соответствующая ей характеристическая функция являются четными функциями. Заметим, что для конструирования ЭС-распределения (1) могут быть использованы лишь такие четные функции  $W_1(n)$ , которые приводят к неотрицательной и интегрируемой функции  $W_2(n_1, n_2)$ .

В этом случае выполнение неравенства  $\int_0^R Rf(R) dR < \infty$ , является необходимым и достаточным условием существования ЭС двухмерного распределения, определяемого с помощью  $W_1(n)$  и  $r(\tau)$  [11].

Функция

$$W(R) = 2\pi C(1 - r^2)^{0.5} Rf(R), \quad (3)$$

при описании узкополосного СП совпадает с ПРВ огибающей (амплитудой  $U$ ) этого процесса. Следовательно, выражение (3) можно записать в виде:  $W(U) = 2\pi C(1 - r^2)^{0.5} Rf(U)$ .

Это является особенностью ЭС-распределений, вытекающей из их определения [11]. Так как для помех с полосовым спектром плотность вероятности распределения амплитуды (ПРВА) является достаточно вероятной характеристикой [12], то можно утверждать, что ЭС-модель скорректированного негауссовского процесса однозначно определяет такие помехи. В [11] представлены основные характеристики СП, двухмерные распределения которых обладают эллиптической симметрией. Заметим, что при сложении произвольных ЭС-процессов с одинаковыми коэффициентами корреляции получаемый процесс является также ЭС-процессом. Так, при сложении синусоиды со случайной начальной фазой, равномерно распределенной в интервале  $[0, 2\pi]$ , и узкополосной гауссовской помехи (при одинаковых

коэффициентах корреляции) с учетом соотношений (1), (2) получаем ЭС-процесс, ПРВА которого подчиняется закону Райса:

$$W_2(n_1, n_2) = [2\pi(1 - r^2)^{0.5} \sigma^2]^{-1} \exp\{(U^2 + R^2)(2\sigma^{-1})\} I_0(UR\sigma^{-2}), \quad (4)$$

где  $U$  – амплитуда синусоидальной компоненты;  $\sigma^2$  – дисперсия помехи;  $r(\tau) = \cos\omega_0\tau$ .

К ПРВ, описывающейся (4), можно прийти, используя соотношение (2) и выражение характеристической функции для суммарного процесса:

$$\Theta_1(v) = J_0(Uv) \exp\{-0,5\sigma^2 v^2\}. \quad (5)$$

Проинтегрировав (2) получим (4).

Заметим, что в случае произвольной корреляции  $r(\tau) = r_0(\tau)\cos\omega_0\tau$ , где  $r_0(\tau)$  – медленно спадающая функция, описываемая выражением (5) может и не быть ЭС. В этом случае двумерная ПРВ (4) может рассматриваться в качестве ЭС модели при условии  $\tau \ll \tau_{кор}$ , где  $\tau_{кор}$  – интервал корреляции описываемого процесса, определяемый по огибающей  $r(\tau)$  [11].

Рассмотрим в качестве примера случай, когда мгновенные значения аддитивной помехи описываются обобщенным гауссовым распределением:

$$W(n) = [v\gamma(\sigma_n, v)/2\Gamma(v^{-1})] \exp\{-[\gamma(\sigma_n, v)|n|]^v\},$$

где  $\gamma(\sigma_n, v) = \sigma_n^{-1} [\Gamma(3/v)/\Gamma(1/v)]^{0.5}$ . Считая, что в совпадающие моменты времени выборки квадратурных составляющих некоррелированы, получим:

$$W_2(n_1, n_2) = [v\gamma_0^2(\sigma_n, v)/2\pi\Gamma(2/v)] \exp\{-[\gamma_0(\sigma_n, v)(n_1^2 + n_2^2)^{0.5}]^v\},$$

где  $\gamma_0(\sigma_n, v) = \sigma_n^{-1} [\Gamma(4/v)/2\Gamma(2/v)]^{0.5}$ ;  $-\infty < n_1; n_2 < \infty$ .

При этом ПРВА помехи:

$$W(U) = [v\gamma_0(\sigma_n, v)U/2\Gamma(2/v)] \exp\{-[\gamma_0(\sigma_n, v)U]^v\}; 0 \leq U < \infty.$$

Если узкополосный СП является стационарным, то ПРВА  $W(U)$  и ПРВ его мгновенных значений связаны между собой соотношением [2]:

$$W(U) = U \int_0^\infty v \Theta_n(v) J_0(U) dv, \quad (6)$$

где  $\Theta_n(v) = \int_{-\infty}^\infty W(n) \exp\{jvn\} dn$  – характеристическая функция процесса  $n(t) = U(t)\cos\Phi(t)$ ;

$U(t)$  и  $\Phi(t)$  – соответственно, огибающая и полная фаза случайного процесса.

Сделав необходимые преобразования с (6), получаем:

$$W(n) = \pi^{-1} \int_{|n|}^\infty W(U) (U^2 - n^2)^{-0.5} dU.$$

Таким образом, описание узкополосных коррелированных негауссовских помех эллиптически симметричной двумерной ПРВ позволяет произвести синтез систем и устройств, основываясь на априорном знании одномерной ПРВ и функции корреляции. Зная одномерную ПРВ мгновенных значений  $W(n)$ , можно определить ПРВ огибающей  $W(U_n)$ , что делает возможным использование эллиптически симметричных ПРВ для описания мультипликативных помех.

**Список литературы**

1. *Артюшенко В.М., Аббасова Т.С.* Проектирование мультисервисных систем в условиях воздействия внешних электромагнитных помех: монография / под науч. ред. док. технич. наук, проф. В.М. Артюшенко. – М.: ФГОУ ВПО РГУТиС, 2011. – 164 с.
2. *Артюшенко В.М.* Исследование и разработка радиолокационного измерителя параметров движения протяженных объектов: монография. – М.: ФГБОУ ВПО ФТА, 2013. – 214 с.
3. *Артюшенко В.М., Корчагин В.А.* Анализ беспроводных технологий обмена данными в системах автоматизации жизнеобеспечения производственных и офисных помещений // *Электротехнические и информационные комплексы и системы.* – 2010. № 2, т. 6. С. 18–24.
4. *Воловач В.И.* Методы и алгоритмы анализа радиотехнических устройств ближнего действия: монография. – М.: Радио и связь, 2013. – 228 с.
5. *Воловач В.И.* Обоснование моделей возмущающих воздействий на радиотехнические устройства охранной сигнализации // *Известия Самарского научного центра Российской академии наук.* – 2006. С. 134–97.
6. *Артюшенко В.М., Корчагин В.А.* Оценка влияния электромагнитных помех радиоэлектронных средств на беспроводные устройства малого радиуса действия // *Электротехнические и информационные комплексы и системы.* – 2010. № 2, т. 6. С. 10–17.
7. *Трофимов А.Т.* Оценивание мешающих параметров для адаптивной обработки сигналов на основе использования полигауссовской модели помех // *Радиотехника и электроника.* – 1986. № 11, т. 31. С. 2151–2159.
8. *Artyushenko V.M., Volovach V. I.* Statistical Characteristics of Envelope Outliers Duration of non-Gaussian Information Processes // *Proceedings of IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS'2013).* Rostov-on-Don, Russia, September 27–30, 2013. – Kharkov: KNURE, 2013. P. 137–140.
9. *Воловач В.И., Гурина Е.В.* Некоторые особенности оптимальной обработки сигналов радиотехнических устройств обнаружения пространственных охранных систем // *Научно-технический вестник Поволжья.* – 2011. № 6. С. 129–132.
10. *Воловач В.И.* Оценка достоверности обнаружения объектов двухканальными радиотехническими устройствами обнаружения турникетного типа // *Радиопромышленность.* – 2013. Вып. 3. С. 145–155.
11. *Артюшенко В.М., Соленов В.И.* Эллиптически симметричные модели негауссовских помех. – Киев: КИИГА, 1993. С.24–27.
12. *Артюшенко В.М., Воловач В.И.* Анализ параметров спектра сигнала, отраженного от протяженного объекта // *Известия вузов. Приборостроение.* – 2012. № 9. С. 62–67.

05.22.07

**Э.И. Бегагин к.т.н., А.Г. Русаков**

Уральский государственный университет путей сообщения (УрГУПС),  
 электромеханический факультет, кафедра электрической тяги,  
 Екатеринбург, An96Ru@bk.ru

## ОЦЕНКА ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕКУПЕРАТИВНОГО ТОРМОЖЕНИЯ

*В данной статье рассмотрена методика расчета энергетической эффективности рекуперативного торможения на железнодорожном участке с последующим составлением энергетического паспорта.*

*Ключевые слова: Энергоэффективность, электрификация, рекуперативное торможение, коэффициент рекуперации, электровозы.*

На современном этапе развития локомотивного комплекса железных дорог России одним из важнейших вопросов является - вопрос о снижении удельного расхода электроэнергии потребляемой на тягу поездов.

Одним из основных направлений целевой программы «Стратегия развития железнодорожного транспорта в Российской Федерации до 2030 года», утвержденной постановлением Правительства Российской Федерации № 877-р от 17 июня 2008 г., является снижение стоимости эксплуатации подвижного состава и повышения надежности функционирования железнодорожного транспорта путем сокращения удельного расхода электроэнергии на 5 процентов. [1]

При проведении энергетического обследования объектов ОАО «РЖД» необходимо учитывать проходящее в настоящее время структурное реформирование, в рамках которого выделяются узкоспециализированные вертикально-интегрированные структуры (дирекции), которые в дальнейшем должны войти в холдинговую компанию «Российские железные дороги» в качестве акционерных обществ - самостоятельных юридических лиц. Соответственно, энергетическое обследование должно выполняться для структурных подразделений указанных вертикально-интегрированных структур, с последующим созданием сводных энергетических паспортов по каждой структуре.[2]

Энергетическая эффективность использования рекуперации может быть оценена с помощью коэффициента рекуперации  $K_p$ , определяемого как отношение количества электроэнергии  $A_p$ , возвращенной в питающую сеть при рекуперативном торможении ЭПС, к количеству электроэнергии  $A_t$ , полученной из питающей сети при работе ЭПС в режиме тяги

$$K_p = A_p / A_t \quad (1)$$

Конкретное значение коэффициента рекуперации будет зависеть от профиля пути железнодорожного участка. Определим порядок значений  $K_p$ .

Рассмотрим участок пути  $S_{уч}$ , содержащий эквивалентный подъем величиной  $i_{э.э}$  и длиной  $S_{в.э}$  показанный на рисунке 1.

Здесь значение эквивалентного вредного спуска на участке определяется по выражению

$$i_{э.э} = \frac{\sum i_{э.и} \cdot S_{э.и}}{\sum S_{э.и}} \quad (2)$$

Тогда значение эквивалентного подъема на участке составит

$$i_{э.э} = \frac{\sum i_{н.и} \cdot S_{н.и} - \sum i_{б.и} \cdot S_{б.и}}{S_{уч} - \sum S_{э.и}} \quad (3)$$

Полный расход электроэнергии при движении поезда по подъему согласно (3) составит

$$A_{T,i} = 27.25 \cdot (i_{\sigma,i} + w_{o,cp}) \cdot m \cdot S_{v,i} / \eta_{ЭПСТ}, \quad (4)$$

где  $\eta_{ЭПСТ}$  - среднее значение КПД ЭПС в режиме рекуперации.

Расчет возврата электроэнергии в питающую сеть для режима рекуперации на вредном спуске аналогичен (4)

$$A_{P,i} = 27.25 \cdot (i_{\sigma,i} + w_{o,cp}) \cdot m \cdot S_{v,i} \cdot \eta_{ЭПСТ}, \quad (5)$$

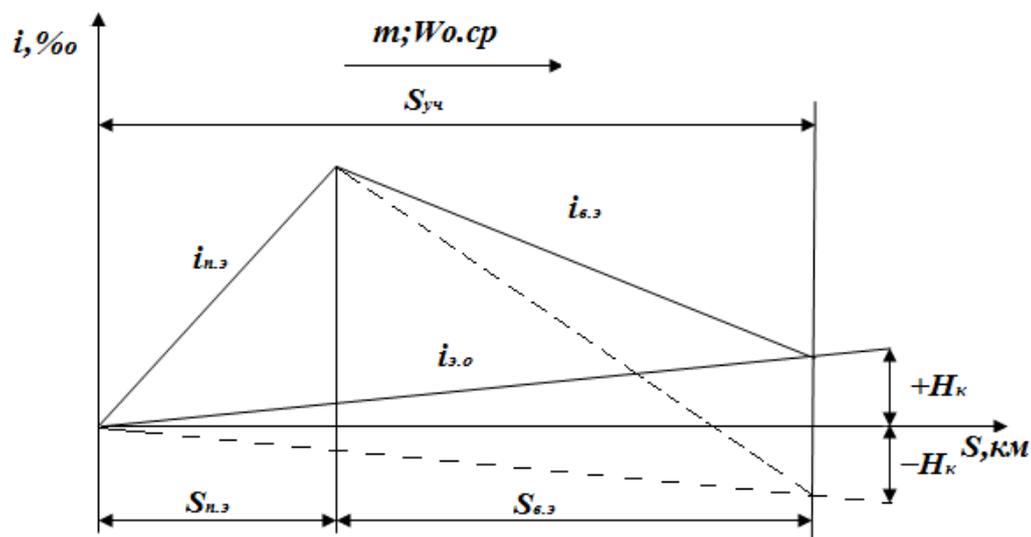


Рис. 1 – Эквивалентный профиль участка

Расчет возврата электроэнергии в питающую сеть для режима рекуперации на вредном спуске аналогичен (4)

$$A_{P,i} = 27.25 \cdot (i_{\sigma,i} + w_{o,cp}) \cdot m \cdot S_{v,i} \cdot \eta_{ЭПСТ}, \quad (5)$$

Тогда на рассматриваемом участке пути коэффициент рекуперации будет равен

$$K_{p,уч} = \frac{(i_{\sigma,э} - w_{o,cp}) \cdot \sum S_{\sigma,i}}{(i_{н,э} - w_{o,cp}) \cdot (S_{уч} - \sum S_{\sigma,i})} \eta_{ЭПСТ} \cdot \eta_{ЭПС.P}. \quad (6)$$

Определим порядок значений коэффициента рекуперации для грузовых электровозов постоянного тока с допустимыми скоростями движения по перегонам 80...90 км/ч и расчетными скоростями 43...47 км/ч. В этом случае можно принять:  $w_{o,cp} = 2$  Н/кН,  $\eta_{ЭПСТ} = 0,89$ ,  $\eta_{ЭПС.P} = 0,86$ .

Тогда из (1) получим

$$K_{p,i} = \frac{(i_{\sigma,i} - 2) \cdot S_{\sigma,i}}{(i_{н,i} + 2) \cdot (S_{уч} - \sum S_{\sigma,i})} \cdot 0,77 \quad (7)$$

На рисунке 2 показана зависимость коэффициента рекуперации от величины вредного спуска для следующих случаев:

- $i_{н,i} = i_{\sigma,i}$  - кривая 1;
- $i_{н,i} = 5‰ = \text{const}$  - кривая 2;
- $i_{н,i} = 3‰ = \text{const}$  - кривая 3.

$K_p$  представляет собой третью энергетическую характеристику, которая определяет максимально возможное количество электроэнергии, возвращаемой в сеть в зависимости только от геометрических показателей профиля пути.

Как видно из выражения (6), значение коэффициента рекуперации во многом зависит от крутизны и протяженности спусков. Отсюда следует что, чем больше на участке спусков и чем выше их протяженность и крутизна,

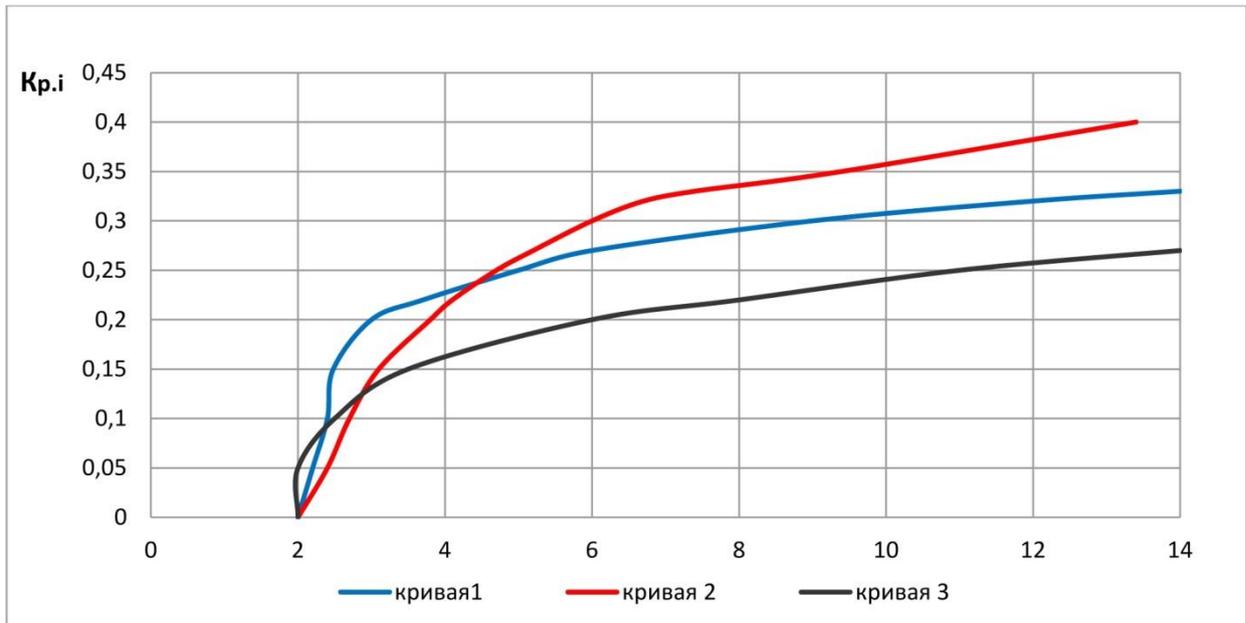


Рис. 2 – Зависимость коэффициента рекуперации от значений полезного ( $i_{n.i}$ ) и вредного ( $i_{г}$ ) спусков

тем больше значение коэффициента рекуперации. Для более точной оценки эффективности необходимо использовать только те показатели, которые не зависят от случайных факторов, таких как квалификация поездного диспетчера и локомотивной бригады, погодных условий и т.д. В итоге на выходе останутся показатели, которые в совокупности назовем – энергетическим паспортом железнодорожного участка.

Одним из главных показателей, которые войдут в энергетический паспорт, являются геометрический эквивалентный уклон участка, удельный расход электроэнергии, значение коэффициента рекуперации.

В качестве примера рассмотрим участок Свердловской железной дороги Ишим-Войновка и на основе характеристик профиля пути произведем расчет параметров энергетического паспорта.

Вредный эквивалентный спуск участка

$$i_{г.э} = \frac{\sum i_{г.i} \cdot S_{г.i}}{\sum S_{г.i}} \tag{8}$$

Эквивалентный подъем участка

$$i_{n.э} = \frac{\sum i_{n.i} \cdot S_{n.i} - \sum i_{г.i} \cdot S_{г.i}}{S_{уч} - \sum S_{г.i}} \tag{9}$$

Эквивалентный уклон, определяемый геометрическими параметрами профиля пути

$$i_{э.о} = (\sum i_{n.i} \cdot S_{n.i} - \sum i_{г.i} \cdot S_{г.i} - w_{о.ср} \sum i_{г.i} S_{г.i}) / S_{уч} \tag{10}$$

Коэффициент рекуперации

$$K_{p.o} = \frac{(i_{г.э} - w_{о.ср}) \cdot \sum S_{г.i}}{(i_{n.э} + w_{о.ср}) \cdot (S_{уч} - \sum S_{г.i})} \eta_{ЭПС.Т} \cdot \eta_{ЭПС.Р} \tag{11}$$

$$K_{p.o} = \frac{(3,77 - 2) \cdot 52000}{(1 + 2) \cdot (278000 - 52000)} \cdot 0,89 \cdot 0,86 = 0,11$$

Удельный расход электроэнергии, определяемый основным сопротивлением движению поезда и геометрическими параметрами профиля пути

$$a = 27,25 \cdot (w_{о.ср} + i_{э}), \tag{12}$$

$$a_0 = 27,25 (2 + 0,1) = 57,23 \text{ кВт} \cdot \text{ч} / 10^4 \text{ т} \cdot \text{км}.$$

Высота конца участка относительно начала участка

$$H_k = (i_{n.э} \cdot S_{n.э}) - (i_{в.э} \cdot S_{в.э}), \quad (13)$$

$$H_k = (1 \cdot 59,74) - (3,77 \cdot 29,7) = -52,3 \text{ м.}$$

В таблице 1 приведены полученные параметры энергетического паспорта участка Ишим-Войновка.

Таблица 1 - Параметры энергетического паспорта участка Ишим-Войновка

Участок	$i_{n.э}$	$i_{в.э}$	$i_{э.о}$	$H, \text{м}$	$a_0$	$K_{p.o}$
Ишим-Войновка	1	3,77	0,11	-52,3	57,23	0,11

Благодаря предложенной методики оценки энергоэффективности железнодорожного участка, при проведении технико-экономического анализа появляется возможность определить потенциальный показатель удельного расхода электроэнергии, на основании которого необходимо разработать мероприятия по минимизации существующих показателей расхода электроэнергии.

### *Список литературы*

1. Стратегия развития железнодорожного транспорта в Российской Федерации до 2030 года. Утверждена постановлением Правительства Российской Федерации № 877-р от 17 июня 2008 г.
2. *Каштанов, А.Л., Комяков, А.А., Никифоров, М.М.* Особенности проведения энергетических обследований дистанций электроснабжения - структурных подразделений железных дорог-филиалов ОАО «Российские железные дороги» [Текст] /А.Л.Каштанов, А.А.Комяков, М.М.Никифоров// Омский научный вестник.- 2010. - №3.- С.148 – 152.

05.17.08

**В.Ф. Беккер**

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,  
Березниковский филиал, Березники, bekker@bf.pstu.ac.ru

## **ВВЕДЕНИЕ ДВУХУРОВНЕВОГО МАСШТАБА ГЕОМЕТРИЧЕСКОГО ПОДОБИЯ В ОПИСАНИЕ ГИДРОДИНАМИКИ ТРЕХФАЗНОГО ПСЕВДООЖИЖЕНИЯ**

*Предложено на основе теории локально-изотропной турбулентности и результатов экспериментальных исследований физической модели ввести двухуровневый масштаб геометрического подобия в полуэмпирическое автомодельное описание гидродинамики организуемого в аппаратах с подвижной насадкой трехфазного псевдоожигенного слоя.*

Ключевые слова: *трехфазное псевдоожигение, газожидкостная структура, геометрическое подобие, двухуровневый масштаб, подвижная насадка.*

Обычно трехфазный слой трактуется нами как турбулентное течение с большим числом Рейнольдса – развитая изотропная турбулентность, статистические параметры которой (функция распределения вероятности, дисперсия, моменты) в направлении разных осей координат и не зависят от времени. В работе [3] показано как технически организовать гидродинамику, наиболее близкую к изотропной турбулентности, в виде двухуровневой неоднородности в турбулентной гидродинамике трехфазного псевдоожигения. Эта организация сводится к введению в пустоты плотнейшей шаровой упаковки дополнительных шаров. В тетраэдрическую пустоту можно вписать шарик радиусом  $0,22R$ , где  $R$  – радиус шаров плотнейшей упаковки, а в октаэдрическую пустоту можно – шарик радиусом  $0,41R$ . На  $N$  шаров любой плотнейшей шаровой упаковки приходится  $N$  октаэдрических пустот и  $2N$  тетраэдрических пустот. Однако практически можно использовать только шары радиусом  $0,22R$ , так как шары радиусом  $0,41R$  будут случайным образом произвольно распределяться как по подходящим для них октаэдрическим пустотам, так и по тесным для них тетраэдрическим пустотам, нарушая плотнейшую шаровую упаковку. Аппарат, реализующий в соответствии с рекомендациями [4] такое двухуровневое псевдоожигение, представлен на рис. 1.

При разных граничных условиях такое (автомодельное) течение всегда приводит к созданию не зависящего от числа Рейнольдса профиля скоростей, и представляет собой иерархию вихрей (возмущений или неоднородностей) разных порядков, отличающихся характерными масштабами и скоростями [5]. Получаем модель развитой под действием центробежных сил турбулентности, в которой газовые и жидкостные потоки перемещаются по неопределенным траекториям, сохраняя при этом общее направление движения.

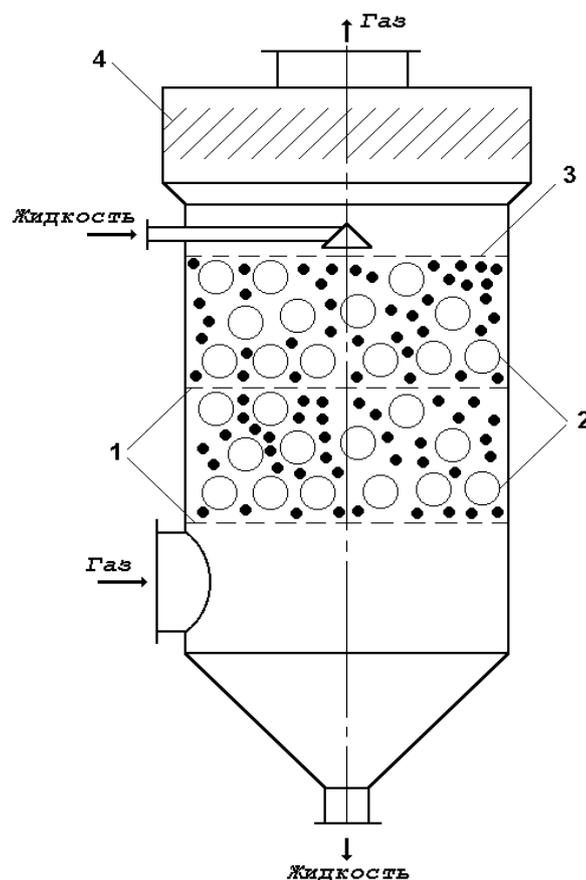


Рис. 1. Двухуровневое псевдоожижение в абсорбере

1 – две опорно-распределительные решетки, 2 – подвижная насадка двух типоразмеров и массы, 3 – распределительная решетка, 4 – брызгоуловитель.

Для определения площади поверхности массопереноса было сделано допущение о том, что газожидкостная система имеет изотропную структуру, состоит из  $n$  пузырей шарообразной формы одного размера ( $d_n$ ) и равномерно занимает объём аппарата ( $V_{ан}$ ). Теоретическая оценка площади контакта фаз сделана на основании описанной выше локально-изотропной теории турбулентности. Учитывая, что касательные напряжения на поверхности пузырьков пропорциональны кинетической энергии пульсаций:  $\tau \approx \rho_{ж} \cdot \bar{u}^2$ , где  $\bar{u}$  – средняя пульсационная скорость в жидкой фазе,  $\rho_{ж}$  – плотность жидкости. Затем из соображений размерности представляя зависимости в виде  $\bar{u}^2 \approx (\varepsilon \cdot d_n)^{\frac{2}{3}}$ , где  $\varepsilon$  – зависящая от геометрических особенностей конструкции аппарата скорость диссипации энергии, Вт/кг. Поэтому в полученное уравнение для средней пульсационной скорости  $\bar{u}^2$  введен критерий геометрического подобия первого уровня вида  $\Gamma_1 = d_{ш}/D_k$ , где  $d_{ш}$  – диаметр отдельного элемента подвижной насадки, м;  $D_k$  – диаметр абсорбера, м. Учитывая, что распад пузырей происходит при некотором постоянном отношении касательных напряжений на поверхности пузыря и силы поверхностного натяжения:  $\tau \cdot d_n/\sigma = \text{const}$ , диаметр пузыря с учетом величины критерия  $\Gamma_1$  определяется по формуле:  $d_n = C \cdot (\rho_{ж}/\sigma)^{\frac{3}{5}} \cdot \Gamma_1^{-\frac{2}{5}} \cdot \varepsilon^{-\frac{2}{5}}$ . После введения критерия геометрического подобия второго уровня вида  $\Gamma_2 = d_{д.ш}/d_{ш}$ , где  $d_{д.ш}$  – диаметр дополнительного элемента подвижной насадки, получаем формулу вида  $d_n = C \cdot (\rho_{ж}/\sigma)^{\frac{3}{5}} \cdot \Gamma_1^{-\frac{2}{5}} \cdot \Gamma_2^{-\frac{2}{5}} \cdot \varepsilon^{-\frac{2}{5}}$ . Если затем воспользоваться известным выражением:  $a = 6 \cdot \phi/d_n$ , то зная диаметр пузыря, можно определить удельную площадь поверхности

контакта фаз:  $a = B \cdot \varphi \cdot (\rho_{ж}/\sigma)^{\frac{3}{5}} \cdot \Gamma_1^{\frac{2}{5}} \cdot \varepsilon^{\frac{2}{5}}$ . С учетом влияния критерия геометрического подобия второго уровня по аналогии с формулой для диаметра пузыря получаем для удельной площади поверхности  $a = B \cdot \varphi \cdot (\rho_{ж}/\sigma)^{\frac{3}{5}} \cdot \Gamma_1^{\frac{2}{5}} \cdot \Gamma_2^{\frac{2}{5}} \cdot \varepsilon^{\frac{2}{5}}$ . Таким образом, газожидкостная система в режиме псевдооживления подвижной насадки представлена нами гомогенной средой, свойства которой рассчитываются на основе содержания газа  $\varphi$ . Зависимости среднего диаметра газового пузыря и удельной поверхности контакта фаз от рассеиваемой в трехфазном слое энергии с учетом критериев геометрического подобия  $\Gamma_1$  и  $\Gamma_2$ , а также без учета  $\Gamma_2$  представлены соответственно на рис. 1 и 2.

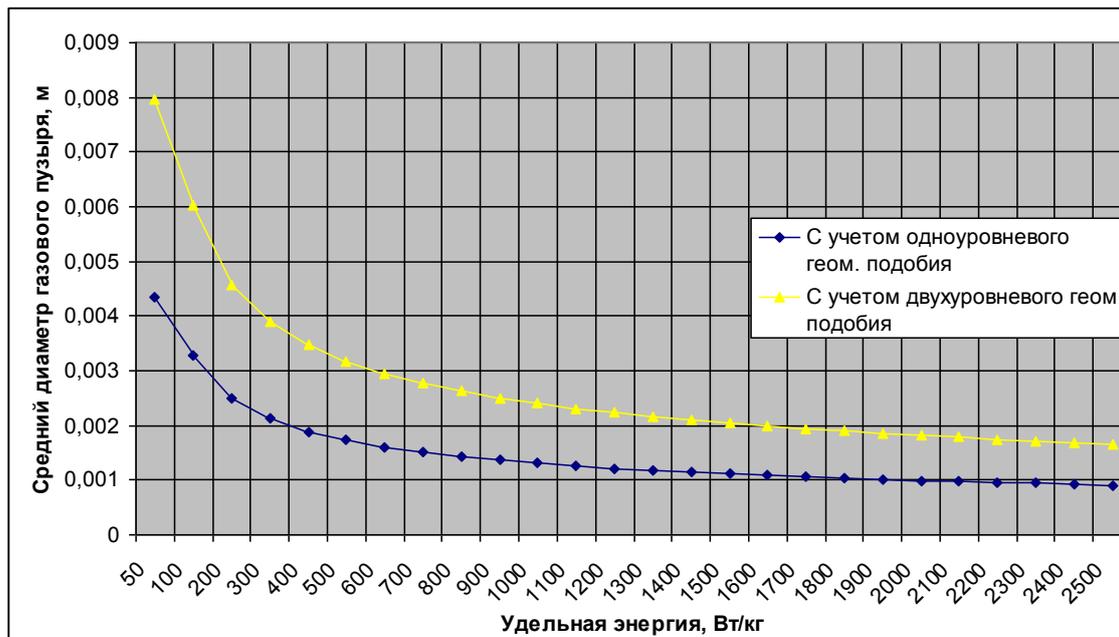


Рис. 1. Зависимости среднего диаметра газового пузыря от рассеиваемой в трехфазном слое энергии

Введение элементов в плотнейшую шаровую упаковку накладывает дополнительные высокоскоростные движения на хаотическое движение основных элементов подвижной насадки, интенсифицирует гидродинамику псевдооживленного слоя, увеличивая поверхность контакта взаимодействующих фаз: газа и жидкости. Выполнено сравнение рассчитанных величин с данными других исследований [1, 2]. В описании интенсифицированного присутствием дополнительных элементов трехфазного псевдооживленного слоя сохраняется за счет присутствия критерия  $\Gamma_1$  достоверность изменения диаметра пузыря в зависимости от величины рассеиваемой энергии (см. рис. 1). Как показано в [1], получаемые без учета критерия геометрического подобия  $\Gamma_1$  нереальные удельные поверхности (от 1500 до 7000 м<sup>2</sup>/м<sup>3</sup>) с введением этого критерия переходят (см. рис. 2) в приемлемый по величине диапазон от 100 до 1000 м<sup>2</sup>/м<sup>3</sup>. Это достоинство описания с помощью критерия  $\Gamma_1$  сохраняется в описании двухуровневого геометрического подобия с участием критериев  $\Gamma_1$  и  $\Gamma_2$ . Одновременное введение критерия  $\Gamma_2$  отражает дополнительную интенсификацию гидродинамики дополнительными элементами подвижной насадки с увеличением удельной поверхности контакта фаз в 1,6 ... 1,8 раза.

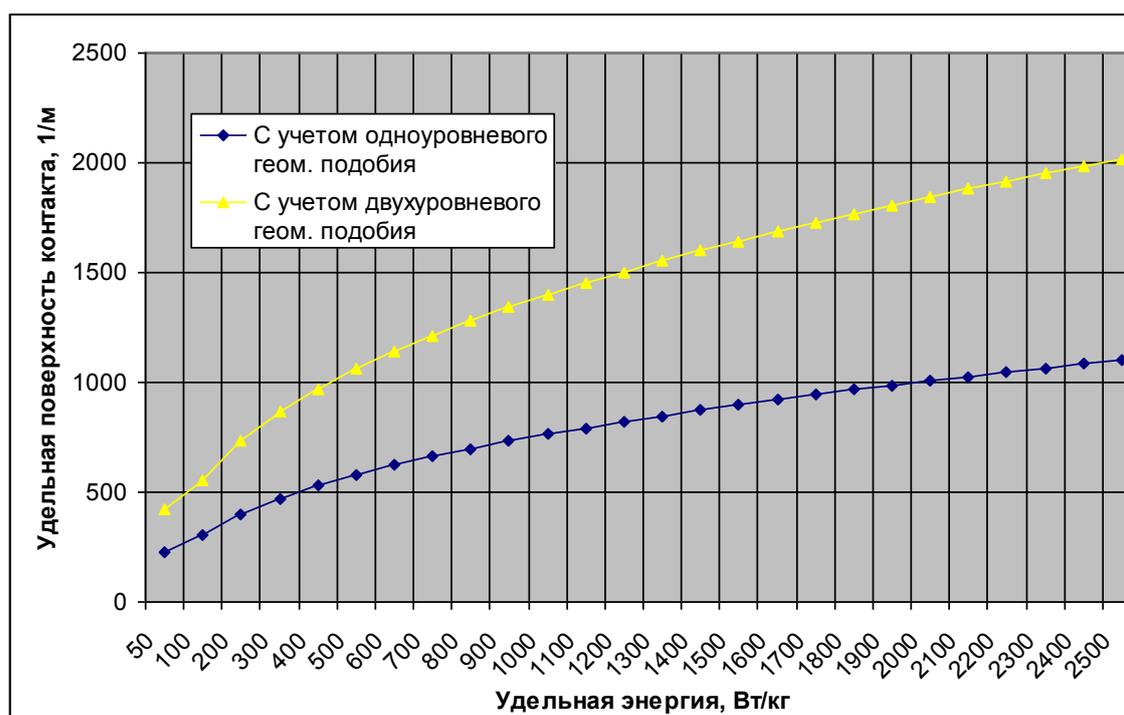


Рис. 2. Зависимости удельной поверхности контакта фаз от рассеиваемой в трехфазном слое энергии

Иначе обстоит дело со средними размерами отдельных пузырей, которые согласно теории А.Н. Колмогорова увеличиваются в те же 1,6 ... 1,8 раза. Однако это увеличение нельзя объяснить простым разбиением крупных пузырей на ряд мелких того же общего объема. Например, если пузырь единичного радиуса  $R=1$  объемом  $V$  разбивается на два одинаковых пузыря радиусом по  $0,79 \cdot R$  и объемом каждого  $V/2$ , то вместо увеличения средний диаметр уменьшается на 21 %. Это говорит о том, что после введения дополнительных элементов насадки увеличивается объем и, следовательно, газосодержание трехфазного слоя. Таким образом, создается дополнительное количество пузырей, которые и обеспечивают в соответствии с теорией А.Н. Колмогорова увеличение среднего диаметра газовых пузырей.

Следовательно, введение дополнительного критерия геометрического подобия на втором уровне в формулы расчета диаметра пузыря и удельной поверхности фаз в режиме развитой турбулентности трехфазного псевдооживленного слоя, организованного в аппарате с подвижной насадкой, является необходимым и практически обоснованным.

#### *Список литературы*

1. Беккер В.Ф. Введение масштаба геометрического подобия в описание гидродинамики трехфазного псевдооживленного слоя. Научно-технический вестник Поволжья – №3, 2012. – С. 77-79.
2. Беккер В.Ф. Организация движения подвижной насадки в трехфазном псевдооживленном слое. Научно-технический вестник Поволжья – №5, 2013. – С. 115-118.
3. Беккер В.Ф. Организация двухуровневой неоднородности в турбулентной гидродинамике трехфазного псевдооживления. Научно-технический вестник Поволжья – №6, 2013. – С. – 137-140.
4. Беккер В.Ф. Стратегия многоуровневого физического моделирования промышленной абсорбционной колонны с подвижной насадкой. Научно-технический вестник Поволжья – №1, 2012. – С. 85-90.
5. Беккер В.Ф. Управление структурой потоков в аппаратах химической технологии. Пермь: ПГТУ, – 2010. – 208 с.

05.09.12

**Н.Н. Беспалов к.т.н., М.В. Ильин к.т.н., С.С. Капитонов к.т.н., А.В. Капитонова**

Национальный исследовательский Мордовский государственный университет  
им. Н.П. Огарёва, кафедра Электроники и наноэлектроники,  
Саранск, ka-mgu@mail.ru

### **МЕТОДИКА ПОДБОРА СИЛОВЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРОВ ДЛЯ ГРУППОВЫХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫХ ЦЕПЕЙ УСТРОЙСТВ СИЛОВОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ**

*В статье рассматривается методика подбора силовых полупроводниковых приборов для формирования групповых последовательных цепей устройств силовой электроники. Предложено осуществлять подбор по комплексу параметров с помощью разработанного аппаратно-программного комплекса. Представлены также результаты расчёта значений ёмкостей конденсаторов снабберных цепей приборов при групповом соединении.*

*Ключевые слова: силовой полупроводниковый прибор, устройства силовой электроники, параметры, характеристики, снабберная цепь.*

Значения параметров серийных силовых полупроводниковых приборов (СПП) имеют существенный разброс, обусловленный естественной нестабильностью технологического процесса производства. Вследствие отсутствия эффективных методик и технических средств для отбраковки потенциально ненадёжных приборов, их подбора для последовательного группового соединения и методик для определения значений параметров снабберных цепей значения ёмкости снабберных конденсаторов (СК) устройств силовой электроники (УСЭ) устанавливаются с существенным запасом в сторону увеличения этих значений. Однако для снижения электрической энергии потерь и, соответственно, максимальной температуры полупроводниковой структуры (ПС) силовых тиристоров в области первоначального включения при их переключении в состояние высокой проводимости (СВП), величину ёмкости СК необходимо выбирать минимально возможной. Кроме того, минимизация ёмкости СК позволяет также уменьшить массу и габариты вентиляльных блоков [1, 2].

Для предотвращения различного рода перенапряжений, возникающих на СПП при их последовательном групповом соединении, и минимизации значений ёмкости СК, что ведёт к повышению надёжности СПП при эксплуатации, требуется обеспечивать одинаковые тепловые режимы приборов группы [3]. Этого можно добиться путём подбора СПП по значениям их электрических, тепловых и электротепловых параметров.

С целью определения значений параметров, проведения отбраковки потенциально ненадёжных приборов, их подбора для группового последовательного соединения и расчёта минимальных значений ёмкости СК на базе компьютерных технологий компании National Instruments разработан аппаратно-программный информационно-измерительный комплекс (АПИИК) для диагностики СПП в СВП [4]. Значения электрических, тепловых и электротепловых параметров каждого прибора определяются в течение одного испытательного цикла, длительность которого не превышает 3–5 минут. При этом в основу работы АПИИК положен способ определения теплового сопротивления  $R_{thjc}$  [5].

С целью выявления зависимостей температуры  $T_j$  ПС СПП вентиляльного плеча от значений их параметров с помощью АПИИК проведено исследование партии силовых диодов штыревого типа Д161-200 в количестве 10 штук. Далее на основе полученных данных в программной среде LabVIEW осуществлялось моделирование тепловых процессов в ПС трёх диодов при их последовательном групповом соединении в схеме с активной нагрузкой  $R_H$  при протекании постоянного прямого тока  $I_F$  в цепи от питающего постоянного источника напряжения  $U$  (рис. 1). При этом исследовались все возможные комбинации соединений

этих приборов.

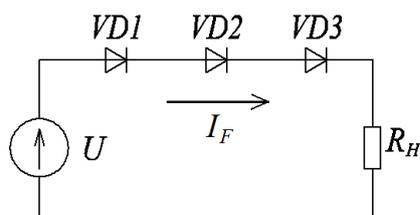


Рис. 1 – Схема для моделирования процессов в диодах

Выбор постоянного по форме прямого тока  $I_F$  объясняется тем, что температура ПС  $T_j$  определяется величиной энергии потерь к концу определённого периода времени и не зависит от формы тока. Сила прямого тока  $I_F$ , была выбрана равной 70 А. Моделирование осуществлялось при условии обеспечения эквивалентности режима естественного охлаждения приборов с помощью стандартного радиатора ОА-002. Начальным тепловым условием являлось равенство температуры ПС  $T_j$ , элементов конструкции СПП и окружающей атмосферы, заданной равной 40 °С.

На рис. 2 и 3 представлены результаты определения вольтамперных характеристик (ВАХ) в СВП после завершения переходного процесса нагрева трёх диодов и временные зависимости процесса их нагрева, соответственно, групп № 33 (приборы 2, 3 и 9) и № 77 (приборы 6, 7 и 9). Диоды группы № 33 имеют существенный разброс значений параметров их ВАХ, а для диодов группы № 77 такой разброс минимален.

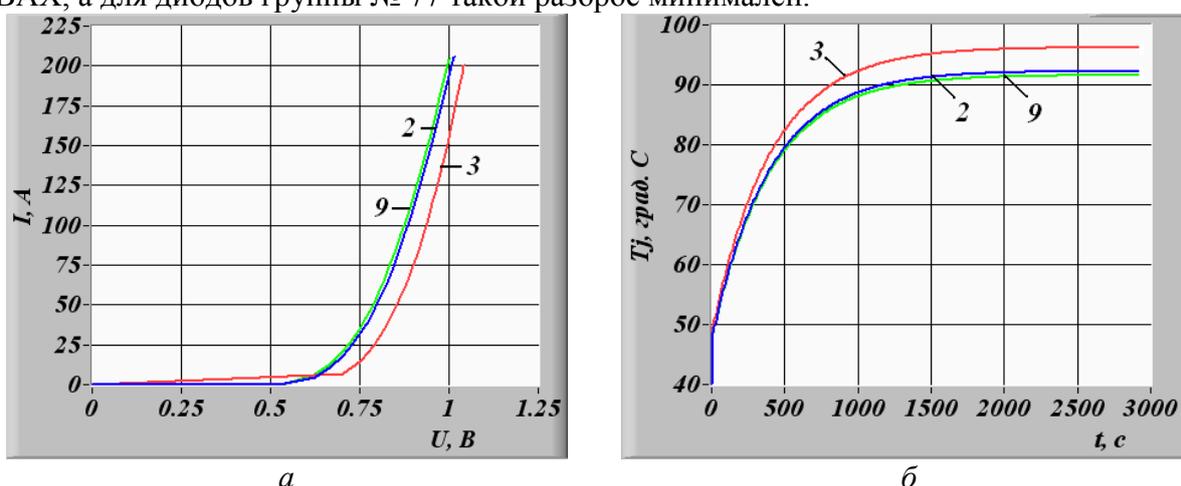


Рис. 2 – Результаты исследования последовательного соединения диодов группы № 33:  
а – ВАХ в СВП после завершения переходного процесса нагрева;  
б – временные зависимости температуры ПС

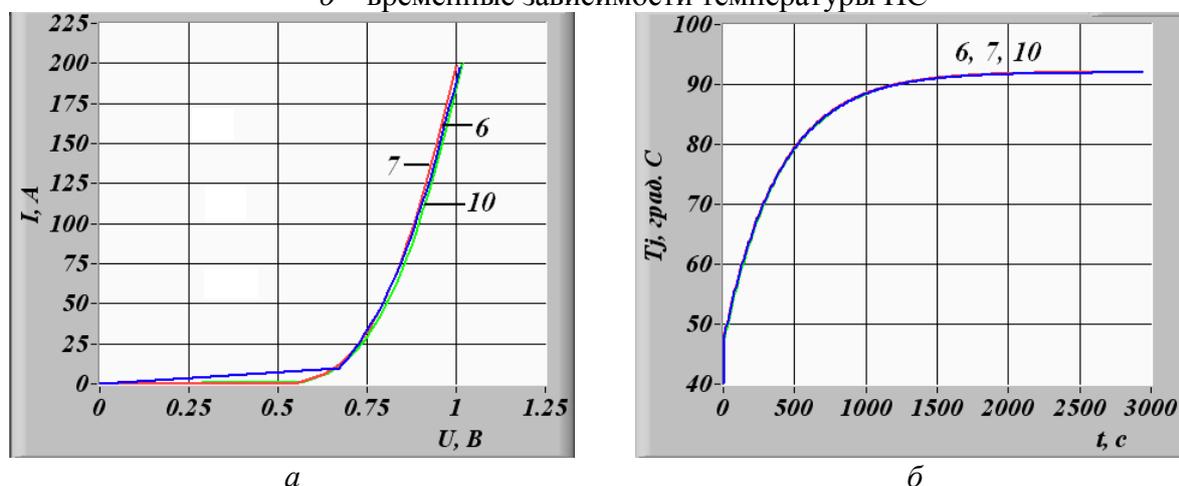


Рис. 3 – Результаты исследования последовательного соединения диодов группы № 77:  
а – ВАХ в СВП после завершения переходного процесса нагрева;  
б – временные зависимости температуры ПС

Из рис. 2а видно, что ВАХ в СВП диодов группы № 33 в установившемся тепловом режиме их ПС имеют существенное различие величинах  $U_{(TO)}$ . Это обуславливает разность значений мощности потерь, выделяющейся в диодах, и, соответственно, температуры  $T_j$  их ПС (рис. 2б). При этом разность значений температуры ПС наиболее и наименее нагретых приборов этой группы в установившемся режиме составила величину  $\Delta T_j = 4,65$  °С.

Из рис. 3а видно, что приборы группы № 77 имеют близкие значения параметров ВАХ в СВП, что обуславливает минимальную разность значений температуры ПС наиболее и наименее нагретых приборов этой группы в установившемся режиме, которая составила незначительную величину  $\Delta T_j = 0,11$  °С. Данная группа приборов является наиболее подходящим сочетанием для трёх приборов исследуемой выборки, которое можно рекомендовать к применению.

На основании выполненных исследований и разработки АПИИК предлагается следующая методика подбора СПП для последовательного группового соединения по значениям электрических, тепловых и электротепловых параметров и расчёта минимальных значений ёмкости СК, которая предусматривает выполнение следующих этапов.

**Первый этап.** На этом этапе осуществляется испытание партии однотипных СПП путём включения СПП в испытательном режиме [4] и производится измерение и определение параметров и характеристик.

**Второй этап.** Здесь программно производится отбраковка потенциально ненадёжных приборов по значениям параметров критериев отказа.

**Третий этап.** В рамках выполнения этого этапа производится комплексный подбор СПП для группового последовательного соединения по значениям их электрических, тепловых и электротепловых параметров.

**Четвёртый этап.** На данном этапе с помощью программы для расчёта минимальных значений ёмкости СК, разработанной в среде LabVIEW, определяются минимальные значения ёмкости.

С помощью разработанной методики и реализующей её программы для вышеописанного режима работы вентильного плеча построена зависимость ёмкости СК  $C$  от значений разности температур  $\Delta T_j$ . ПС наиболее и наименее нагретых СПП группы в установившемся режиме. Данная зависимость в логарифмическом масштабе представлена на рис. 4.

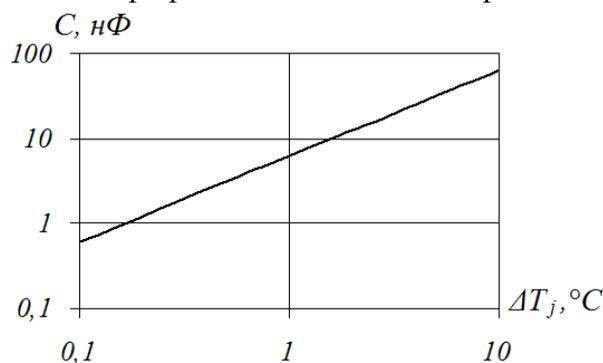


Рис. 4 – Зависимость ёмкости снабберных конденсаторов  $C$  от значений разности температуры  $\Delta T_j$  ПС СПП в установившемся режиме

Из рис. 4 видно, что при увеличении величины  $\Delta T_j$  на один порядок значение  $C$  также увеличивается на порядок. Таким образом, при расчёте значений ёмкости СК при выполнении условия подбора приборов по предлагаемой методике возможно на порядок уменьшить величины данных ёмкостей.

Таким образом, применение разработанной методики подбора СПП для формирования групповых последовательных соединений позволит снизить разность температуры их ПС при эксплуатации, что обуславливает повышение их надёжности, а также минимизировать массу и габариты вентильных блоков устройств силовой электроники.

**Список литературы**

1. *Беспалов Н.Н.* Выравнивание напряжений на последовательно распределенных силовых полупроводниковых приборах в состоянии низкой проводимости / Н.Н. Беспалов, С.С. Капитонов // *Нелинейный мир*. 2011. – Вып. 8. – С. 500–506.
2. *Беспалов Н.Н.* Определение минимальных величин ёмкостей снабберных цепей для ограничения коммутационных перенапряжений на силовых полупроводниковых приборах при их выключении / Н.Н. Беспалов, М.В. Ильин, С.С. Капитонов, С.В. Лебедев // *Естественные и технические науки*. 2011. – Вып. № 6(56). – С. 396–404.
3. *Беспалов Н.Н.* Моделирование процессов в силовых полупроводниковых приборах при их групповом последовательном включении в среде Multisim / Н.Н. Беспалов, М.В. Ильин, С.С. Капитонов, С.В. Лебедев // *Электроника и электрооборудование транспорта*. 2012. — Вып. № 4. — С. 30–35.
4. *Беспалов Н.Н.* Испытательная аппаратура для определения электрических и тепловых параметров и характеристик силовых полупроводниковых приборов / Н.Н. Беспалов, М.В. Ильин, С.С. Капитонов // *Электроника и информационные технологии*. 2012. – Вып. 1 (12). – <http://fetmag.mrsu.ru/2012-1/pdf/Bespalov%20Ilin%20Kapitonov.pdf> – 04201200067/0004.
5. ПАТЕНТ 2300115 РФ, МПК7 G 01 R 31/26. Способ определения теплового сопротивления переход-корпус силовых полупроводниковых приборов в корпусном исполнении / Н.Н. Беспалов (RU), М.В. Ильин (RU). – № 200610336; заявлено 02.02.2006; опубл. 27.05.2007, Бюл. № 15. – 642 с.

05.09.12

**Н.Н. Беспалов к.т.н., А.Е. Лысенков**

Национальный исследовательский Мордовский государственный университет  
им. Н.П. Огарёва, кафедра электроники и наноэлектроники,  
г. Саранск, ka-mgu@mail.ru

### ПОДХОД К СОЗДАНИЮ ЭЛЕКТРОТЕПЛОВОЙ МОДЕЛИ СИЛОВЫХ МДП-ТРАНЗИСТОРОВ

*В статье рассматривается новый подход к созданию электротепловой модели мощного МДП-транзистора с индуцированным каналом, эксплуатируемого в ключевом режиме.*

Ключевые слова: *МДП-транзистор, электротепловая модель, термочувствительные параметры, моделирование.*

Наиболее эффективным способом определения оптимального температурного режима полупроводникового прибора при проектировании силовой схемы является программная симуляция. Однако в подавляющем большинстве современных систем схемотехнического моделирования расчёты рабочих режимов схем осуществляются с помощью стационарной тепловой модели без учёта саморазогрева прибора. Между тем именно саморазогрев инициирует электротепловые процессы в приборе. В этой связи использование стандартных моделей полупроводниковых приборов, как правило, приемлемо для маломощных схем, но не подходит для силовых. Решением данной проблемы является создание электротепловой модели (ЭТМ) прибора, учитывающей температурные зависимости его электрических параметров.

Из существующих подходов к созданию ЭТМ силового МДП-транзистора с индуцированным каналом (МДПТ) наибольшее распространение получил подход, описанный в [6]. Для расчёта электрического режима работы МДПТ данный подход предполагает использование его математической модели в сочетании со схемотехническим анализом. Для расчёта теплового режима работы в моделируемую схему добавляется так называемая «тепловая обвязка» — многозвенная цепь, состоящая из резисторов и конденсаторов с переходной характеристикой, повторяющей диаграмму теплового отклика компонента. В качестве параметра, «связывающего» электрическую и тепловую части ЭТМ используется сопротивление канала сток—исток:

$$r_{DS(on)} = r_{DS(on)}(25^\circ C)(a^2 T_j + b T_j + c), \quad (1)$$

где  $a$ ,  $b$ ,  $c$  — соответственно, квадратичные коэффициенты и константа, определяемые по температурной зависимости  $r_{DS(on)}(T_j)$ , обычно приводимой в документации на прибор,  $T_j$  — температура кристалла.

Достоинством такого подхода к созданию ЭТМ является то, что от исследователя не требуется глубоких знаний в области программирования. При этом схемотехнические симуляторы обладают всеми необходимыми средствами анализа схемы, которые существенно упрощают исследование различных режимов её работы. К таким средствам относятся, например, встроенные осциллографы, графопостроители, измерители нелинейных искажений. Также созданная модель может быть сохранена в библиотеке симулятора и использована в будущем.

Основным недостатком подхода является допущение, что сопротивление  $r_{DS(on)}(T_j)$  зависит только от температуры  $T_j$  и не зависит от тока стока  $I_D$ , протекающего через прибор. При симуляции ключевого режима работы МДПТ, когда через прибор пропускается ток, близкий к предельной величине, такое допущение приводит к снижению точности

моделирования электротепловых процессов. В этой связи авторами данной статьи предлагается новый подход к созданию ЭТМ силового МДПТ при работе в ключевом режиме.

На рис. 1 представлена структурная схема разработанной ЭТМ.

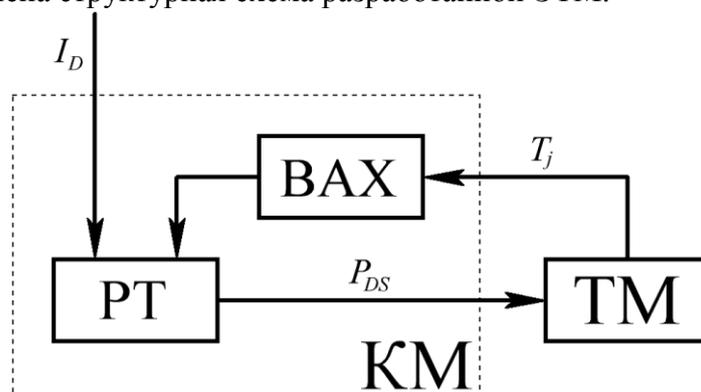


Рис. 1 — Электротепловая модель МДП-транзистора

Рассмотрим данную структурную схему. Поскольку в любой момент времени выделяемая МДПТ мощность определяется выходной вольт-амперной характеристикой (ВАХ), соответствующей текущей температуре его кристалла, а в количественном выражении изменение температуры кристалла при саморазогреве определяется элементами конструкции корпуса прибора и качеством его изготовления, принцип разделения электрической и тепловой частей ЭТМ остается неизменным. В процессе моделирования информация о протекающем через транзистор токе  $I_D$  поступает в компонентную модель (КМ), где с помощью блока расчёта рабочей точки (РТ) определяется мощность потерь  $P_{DS}$ . Значение этой мощности используется в тепловой модели (ТМ) для вычисления  $T_j$ , информация о которой по обратной связи поступает в КМ. С помощью блока ВАХ определяется выходная вольт-амперная характеристика транзистора, соответствующая текущему значению  $T_j$ . Данная характеристика используется блоком РТ для перерасчёта электрического режима работы прибора.

Исходными данными для определения текущей ВАХ МДПТ являются две ВАХ, снятые при различных температурах кристалла прибора  $T_{j1}$  и  $T_{j2}$  либо взятые из паспортной документации. Известно, что температурная зависимость  $U_{DS}(T_j)$ , снятая при заданном напряжении управления  $U_{GS}$  и токе  $I_D$ , протекающем через прибор, имеет экспоненциальный характер [4, 5]. Следовательно, зависимости  $\ln(U_{DS})(T_j)$  линейны. В процессе моделирования при поступлении информации о температуре кристалла  $T_j$  прибора из ТМ в блок ВАХ текущая вольт-амперная характеристика МДПТ рассчитывается следующим образом (рис. 2) [2, 8].

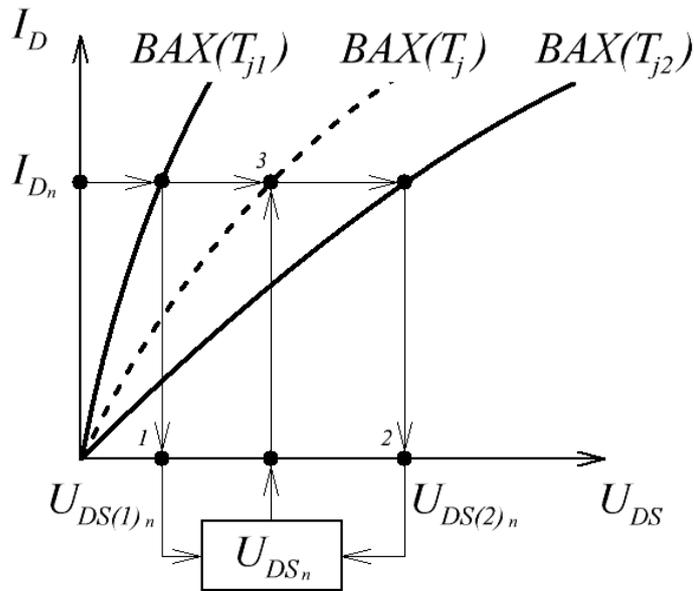


Рис. 2 — Процесс определения текущей ВАХ

Для каждого значения тока  $I_{Dn}$  по ВАХ( $T_{j1}$ ) и ВАХ( $T_{j2}$ ) определяются  $U_{DS(1)n}$  и  $U_{DS(2)n}$  соответственно. Поскольку зависимость  $\ln(U_{DS})(T_j)$  линейна, для каждого  $I_{Dn}$  ВАХ( $T_j$ ) значения напряжения  $U_{DSn}$  рассчитывается как:

$$U_{DSn} = \exp(k_n \cdot T_j + b_n), \tag{2}$$

где коэффициент  $k_n$  и константа  $b_n$  определяются по формулам:

$$k_n = \frac{\ln(U_{DS(2)n}) - \ln(U_{DS(1)n})}{T_{j2} - T_{j1}}, \tag{3}$$

$$b_n = \ln(U_{DS(1)n}) - k_n \cdot T_{j1}. \tag{4}$$

Исходными данными для ТМ служат значения теплоемкостей и тепловых сопротивлений элементов конструкции МДПТ [6]. Эти параметры могут быть определены либо в результате испытания прибора [3, 7], либо с помощью диаграммы теплового отклика — переходного теплового сопротивления переход-корпус — которая приводится в паспортной документации на прибор.

Для сравнения предлагаемой модели (ЭТМ1) с известной (ЭТМ2) проведен следующий эксперимент. С помощью разработанного авторами аппаратно-программного комплекса для определения параметров и характеристик мощных МДПТ [1] через испытуемый транзистор IRF840 пропускалась серия греющих импульсов с амплитудой 10 А и скважностью 2. Таким образом имитировалась работа транзистора в мостовой схеме. По окончании нагрева измерялась температура корпуса прибора  $T_c$ . Тот же процесс был симулирован в среде Multisim с помощью сравниваемых ЭТМ. Результаты представлены в таблице.

Таблица — Сравнение погрешностей моделирования электротепловых процессов с экспериментальными данными

Длительность пропускания греющих импульсов тока, мин.	Температура корпуса $T_c$ (°С) МДПТ, полученная с помощью:			Погрешность моделирования, %	
	эксперимента	ЭТМ1	ЭТМ2	ЭТМ1	ЭТМ2
1	74	72	60	3	19
5	102	97	86	5	16
10	130	119	110	8	15

Из таблицы видно, что результаты моделирования с использованием предлагаемой ЭТМ гораздо ближе к экспериментально полученным данным.

### *Список литературы*

1. Беспалов Н.Н., Лысенков А.Е., Аппаратно-программный комплекс для определения электрических и тепловых характеристик и параметров мощных МДП-транзисторов // Труды 1-й российско-белорусской научно-технической конференции «Элементная база отечественной радиоэлектроники», посвящённой 110-ю со дня рождения О.В. Лосева / Под ред. А.Э. Рассадина. – Н. Новгород.: НИЖЕГОРОДСКАЯ РАДИОЛАБОРАТОРИЯ, 2013. – Т. 2. – С. 87–91.
2. Беспалов Н.Н., Лысенков А.Е., Лебедев С.В. Метод определения и расчета вольтамперных характеристик мощных МДП-транзисторов при различных температурных режимах // Электроника и электрооборудование транспорта. – 2012. – №2-3. – С. 48–50.
3. Беспалов Н.Н., Лысенков А.Е. Программа обработки электрических и тепловых характеристик силовых полупроводниковых приборов // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2012615726. 2012. Бюлл. RU ОБПТБ № 3 (80).
4. Беспалов Н.Н., Лысенков А.Е. О выборе термочувствительного параметра мощных MOSFET транзисторов и режима его измерения // Технічна електродинаміка. Науково-прикладний журнал: у 2 ч. – Харків: НТУ «ХПИ», 2011. – Ч. 1. – С. 192–195.
5. Беспалов Н.Н., Лысенков А.Е. Сравнительный анализ термочувствительных параметров мощных МДП-транзисторов // Электроника и информационные технологии – 2011 выпуск 2 (11). – 2012. URL: [http://fetmag.mrsu.ru/2011-2/pdf/thermosensitive\\_parameters.pdf](http://fetmag.mrsu.ru/2011-2/pdf/thermosensitive_parameters.pdf) (дата обращения 10.02.2012) — 04201100067/0028.
6. Дивинс Д. Моделирование в тепловых расчётах // Электронные компоненты. 2008. – №2. – С. 23–24.
7. Лысенков А.Е., Беспалов Н.Н. Методика определения теплового сопротивления силовых МДП-транзисторов с индуцированным каналом // Научно-технический вестник Поволжья. – 2013. – №3. – С. 195–197.
8. Лысенков А.Е., Беспалов Н.Н. Программа расчёта вольт-амперной характеристики полевого транзистора для произвольной температуры по электротепловым параметрам // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2013613247. 2013. Бюлл. № 2.

05.19.04

**Л.М. Болдырева, И.В. Лашина**Омский государственный институт сервиса,  
lesya\_2703@mail.ru**АНАЛИЗ БЕСКОНТАКТНЫХ СПОСОБОВ ПОЛУЧЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ  
О ПОВЕРХНОСТИ ТЕЛА ЧЕЛОВЕКА**

*Проведен анализ бесконтактных способов получения информации о поверхности тела человека с целью выявления наиболее приемлемых способов снятия размерных признаков, которые дают наименьшие погрешности, что, в свою очередь, отражается на последующих этапах проектирования поясных изделий.*

*Ключевые слова: поясные изделия, методы проектирования поясной одежды, системы автоматизированного проектирования.*

Для совершенствования современных методов проектирования поясной одежды наряду с наличием размерной характеристики фигуры человека необходима четкая информация о форме одеваемой поверхности.

Существующие методы проектирования поясной одежды условно разделены на две группы: приближенные и инженерные. К приближенным относятся методики конструирования, разработанные ЦНИИШП, ЕМКО СЭВ и ЦОТШЛ. Все они подразумевают проведение антропометрических обследований тела человека с использованием сантиметровой ленты и других простейших приспособлений. Эти методы дают большие погрешности, что, в свою очередь, отражается на последующих этапах проектирования поясных изделий. Кроме того, существенным недостатком этих методов является контакт измерительных приборов с телом человека, что вызывает ощущение дискомфорта со стороны обмеряемого.

Инженерные методы проектирования поясной одежды подразумевают наряду с наличием размерной характеристики фигуры человека наличие четкой информации о форме одеваемой поверхности. Эта информация может быть получена на основе линейных и проекционных измерений, принципов графического задания сложной поверхности тела человека.

Основной задачей расчета разверток макета и фигуры является определение рациональной формы, обеспечивающей одевание данной поверхности плоским материалом наиболее простым способом при минимальной площади развертки при наименьшем количестве швов.

С развитием систем автоматизированного проектирования создались благоприятные условия для изучения и графического изображения объемной нижней поверхности типовых фигур. Известны две группы способов изучения формы поверхности объемных тел: контактные и бесконтактные.

Контактные используются при исследовании форм и размеров поверхности твердых тел. Однако при исследовании легко деформируемых поверхностей, к числу которых относится поверхность тела человека, контактный метод дает большую погрешность.

Бесконтактным способом изучают формы поверхности объемных тел при помощи специальной аппаратуры, излучающей световые или электромагнитные волны. В 60-70г. было разработано достаточно большое количество методов бесконтактного измерения фигуры человека: теодолитный (угломерная съемка), фотограмметрический, стереофотограмметрический, симультантной стереофотограмметрии, световых сечений, рентгенографический и томографический. Последние два метода невозможно использовать для изучения поверхности тела человека в виду опасности используемых излучений для здоровья [1].

***Способ теодолитной съемки (угломерной съемки).***

В основу теодолитной съемки положено не изображение всей поверхности тела, а получение световых полос (сечений) в горизонтальной плоскости на рельефной поверхности изучаемого объекта с последующим замером расстояний между искомой точкой и источником света. Таким образом, можно получить графическое задание объемной формы тела человека в виде набора горизонтальных сечений. Для получения на теле горизонтальных сечений применяется оптическая установка.

***Способ световых сечений, или фотопрофилографии.***

В основу этого способа положен принцип получения на рельефной поверхности изучаемого объекта световых полос (вертикальных сечений) с последующим отображением их на фотоснимках. В зависимости от характера структуры изображения различают способы прямого и косого ортоскопического проектирования объектов.

Способ прямого ортоскопического проектирования обеспечивает отображение всего вертикального сечения на одном снимке и простую ориентацию сечений относительно друг друга.

Недостаток этого способа заключается в том, что не все участки рельефной поверхности могут быть четко видны, т. к. во время съемки образуются «мертвые зоны» (углубления) и контур в некоторых местах прерывается.

Очень широкое распространение получил ***фотограмметрический способ.***

***Фотограмметрия*** - это определение размеров и форм объемных предметов путем измерения не самих изучаемых объектов, а их фотографических изображений. Фотограмметрия как один из методов антропометрических исследований давно привлекла к себе внимание. В 30-х годах под руководством В. В. Бунака проводились обследования населения с помощью фотографических снимков. Фотографические снимки использовались главным образом для выявления особенностей морфологической структуры тела человека. Истинные размеры отдельных частей тела человека определяют путем проецирования на экран и увеличения изображения до натуральной величины или измерения фотоснимков с последующим увеличением на масштаб съемки.

При фотографировании объемных предметов одной камерой на негативе получается перспективное отображение предмета, в котором пространственное изображение точек объемного предмета оказывается совмещенным в одной плоскости, то есть, плоскостное изображение. Величины, полученные при измерении на плоскостных фотоснимках, будут несколько большими, чем при непосредственном измерении объекта. Этот метод может быть использован только для получения сравнительного материала, но не абсолютного.

За рубежом некоторые фирмы плоскостную фотограмметрию используют для снятия мерок с фигуры при индивидуальном изготовлении одежды. С помощью системы зеркал и фотоаппаратов фигуру человека снимают в различных ракурсах. На получаемых пяти изображениях можно измерить почти любую часть фигуры человека.

Второй способ снятия размеров по фотографиям заключается в следующем. Фигуру человека, подлежащую измерению, фотографируют в трех проекциях на фоне масштабной сетки, дополнительно по горизонтали и вертикали на сторонах сетки нанесена шкала делений. Проекционные размеры определяют по фотоснимкам, а обхватные - непосредственно на человеке.

Все вышеперечисленные методы были разработаны в 60-е – 70-е гг.

В последнее время в области бесконтактных измерений поверхности тела человека наблюдаются значительные изменения: появляется большое количество новых современных методов, которые заслуживают особого внимания.

***Оптический метод в инфракрасном диапазоне*** предполагает снятие фронтальных проекций горизонтальных сечений контура манекена на воображаемом экране. В этом случае трехмерность достигается перемещением (в период снятия проекций) источника излучения по горизонтальной окружности, охватывающей манекен. Данный метод может быть реализован путем использования круговой базы источников излучения и приемов,

фиксирующих контур в горизонтальном сечении, и транспортировочного устройства смещения этой базы по вертикали. Существенным недостатком данного метода является необходимость в специальной приборной базе, а также трудоемкость процесса снятия размерных признаков.

Рассмотрим следующий метод - *метод исследования поверхности тела с помощью видеокамер*. Основу устройства составляют телекамеры с матричным приемником изображения, связанным с микропроцессором. Измеряемый объект освещается плоскими лучами, создающими световые сечения, которые и фиксируют видеокамеры. Такие разработки встречаются во многих странах мира и требуют дорогостоящей приборной базы.

Заслуживает внимания *метод подключения объекта измерения к источнику напряжения* (разработка Витебского технологического института легкой промышленности). Обмеряемый объект подключается к источнику напряжения. При этом возникает электрическое поле, которое фиксируют на измерительных приборах заряды, величинами, обратно пропорциональными расстоянию до измеряемого объекта. Объект описывается набором горизонтальных сечений. Основные недостатки метода: у измеряемого возникает психологический барьер, громоздкость установки.

Способ измерения поверхности тела человека с помощью *одноразового покрытия*. Способ разработан в США. При индивидуальном пошиве в мастерской используется одноразовое покрытие, надеваемое на заказчика. На покрытии есть линии, расположенные с промежутками по горизонтали и вертикали. Каждая из измерительных линий имеет отметки. Прилагается средство получения электронных сигналов, соответствующих данным измерений на покрытии. Эти сигналы обрабатываются на ЭВМ. В удаленной зоне установлен манекен, также подключенный к ЭВМ и регулируемый в зависимости от фигуры и размера заказчика. Манекен позволяет изготавливать одежду без последующих примерок. Основной момент тормозящий внедрение - дороговизна вспомогательных средств (специфическое одноразовое покрытие).

*Способ бесконтактного измерения внешней формы тела человека, разработанный Кривобородовой Е.Ю., Покровской О.В.* в Московском государственном университете дизайна и технологии, включает получение фотографических образов фигуры человека и использование коэффициента масштабирования. Задачей изобретения является обеспечение удобства и повышение точности определения размерных признаков и антропоморфных особенностей внешней формы тела человека по фотографическим образам его фигуры. Указанная задача решена за счет того, что в способе бесконтактного измерения внешней формы тела человека, включающего получение фотографических образов фигуры человека и использование коэффициента масштабирования, с полученных фотографических образов по антропометрическим точкам снимают поперечные и продольные проекционные измерения, характеризующие антропоморфные особенности внешней формы тела человека. При этом дуговые и обхватные размерные признаки внешней формы тела человека измеряют по примеру геометрической фигуры, образованной совокупностью прямолинейных и дуговых участков, длину которых рассчитывают с помощью проекционных измерений, снимаемых с фотографических образов фигуры человека на уровне измерения размерного признака.

Способ бесконтактного измерения внешней формы тела человека реализуется в следующей последовательности: измеряемого, одетого в нижнее белье, устанавливают в спокойном вертикальном стоянии на опорной поверхности на расстоянии от объектива цифровой камеры, соизмеримом с ростом заказчика. Камеру располагают перпендикулярно базису фотографирования на высоте, примерно соответствующей уровню линии талии заказчика, и осуществляют фотографирование фигуры последовательно в четырех положениях; спереди, сзади, сбоку справа (при свободно опущенных руках), сбоку слева (при согнутой в локте левой руке для свободного просматривания спинного контура фигуры).

Далее осуществляют компьютерную визуализацию фотографической информации в графическом редакторе Corel Draw, где получают плоскостные изображения различных

проекций фигуры человека в виде фотографических образов, по которым (учитывая коэффициент масштабирования) с использованием антропометрических точек с большой точностью снимают продольные и поперечные измерения и дополнительные проекционные измерения, характеризующие антропоморфные особенности внешней формы, взаимное расположение антропометрических точек и выступающих частей тела. Для получения поперечных дуговых и обхватных размерных признаков рассматривают их условное представление в виде геометрических фигур, образованных совокупностью прямолинейных и дуговых участков. Длина прямолинейных участков и кривизна дуг обусловлена величинами значений проекционных измерений, снимаемых с фотографических образов фигуры.

**Система «Image Twin» (разработчик Textile/Closing Technology Corporation, (TC2))** использует 6 стационарных камер. Совместная работа всех камер позволяет покрыть критическую площадь человеческого тела, в результате чего определяется более 400000 трехмерных координат точек. Затем производится выделение сегментов поверхности для последующего определения размерных признаков фигуры.

**Система «Кибервер»** использует сканер, состоящий из двух опор, на каждой из опор есть мотор, который приводит в движение две сканирующие головки. Каждая сканирующая головка содержит источник света, который освещает сканируемую поверхность. Устройство видит линию, создаваемую лазером при пересечении с поверхностью тела. Система определяет более 100000 точечных данных.

**Система «Symcad»** разработана французской компанией TELMAT Industries. Сканер представляет собой кабину с освещенной стеной, камерой и компьютером. После съемки на экране компьютера появляется трехмерное изображение, с которого «снимается» более 70 размерных признаков. Процесс сканирования занимает до 30 секунд. Автоматическая система SYMCAD предназначена для высокоскоростного бесконтактного измерения трехмерных объектов и трехмерного цветного оцифровывания человеческого тела и систем «фигура—костюм».

***Существует и ряд устройств для бесконтактного обмера фигуры человека:***

– Устройство для обмера фигуры человека, применяемое в швейном производстве для снятия мерок с человека при индивидуальном пошиве изделий. Содержит размещенные в пульте управления и соединенные между собой угломерный блок и блок обработки и выдачи информации; установленные на вертикальной стойке датчик и механизм вертикального перемещения узла углового сканирования, включающего круговое основание, подвижную каретку с приводом вращения, компенсатором натяжения измерительной ленты и сигнальной планкой, отсекатели измерительной ленты и датчики положения каретки, размещенные на основании с возможностью взаимодействия с сигнальной планкой. Угломерный блок включает генератор, измеритель времени и измеритель скорости, выходы которых подключены к соответствующим входам вычислителя угла измерительной ленты, при этом входы измерителя времени и измеритель скорости подключены к выходу генератора. Устройство обеспечивает высокую скорость измерения линейных параметров, но громоздко и имеет подвижные элементы.

– Устройство для объективного пространственного обмера фигуры. Устройство содержит кабину с щелевыми диафрагмами, кинематически связанную с приводом и закрепленные на кабине напротив щелевых диафрагм осветитель и приемник с объективом. С целью повышения быстродействия и точности обмера, устройство имеет датчик положения кабины, а один из выходов соединен с отклоняющейся системой, и преобразователя напряжение-код, первый вход которого связан с диссектором, а второй с выходом генератора развертки, при этом выход преобразователя напряжение-код соединен с блоком вывода информации. Данное устройство также обеспечивает достаточно высокую скорость измерения, но только линейных параметров тела человека. Оно может быть использовано при проведении антропометрических обмеров населения.

Существующие системы и методы исследования пространственных тел достаточно разнообразны. Безусловно, в силу объективности получаемой информации, бесконтактные методы имеют явное преимущество.

Результат проведенного анализа показал, что все способы исследования поверхностей можно сгруппировать по признакам:

- методы исследования поверхности, в которых используются различные оптические излучения;

- методы исследования поверхности, использующие в качестве вспомогательного средства различные устройства, проецирующие свет на поверхность исследуемого объекта в виде полос, штрихов, узоров, затем посредством 3D-сканеров, TV-камер или фотоаппаратов изображение исследуемого объекта передается в компьютер и анализируется;

- измерение поверхностей сложной формы на координатно-измерительных машинах;

- методы и средства, разработанные на основе свойств электричества, ультразвука, механические способы.

Таким образом, можно сделать вывод, что существует большое количество методов и средств, применяемых в различных областях науки, отраслях промышленности для изучения сложных поверхностей. Их использование для исследования поверхности тела человека возможно с определенными доработками, адаптацией к специфике швейной отрасли.

Наиболее оптимальным из представленных методов получения исходной информации о фигуре человека для проектирования одежды является метод фотограмметрии. Его достоинствами являются:

- возможность получения информации о морфологическом строении тела человека в виде линий высот, длин и уровней, величин выступаний и глубин;

- технические характеристики современных фотоаппаратов достаточно высоки, значит, снятые с фотоснимков размерные признаки будут обладать точностью, необходимой для проектирования изделий.

- удобство и простота пользования технических средств, необходимых для проведения фотосъемки, которую может проводить любой, даже неподготовленный человек;

- оперативность получения цифровых изображений, возможность моментального просмотра и распечатки посредством подключения к компьютеру;

- автономный режим - нет необходимости производить съемку в непосредственной близости от компьютера;

- портативность системы;

- невысокая стоимость потребительских камер [2].

### *Список литературы*

1. Перспективы получения исходной информации для конструирования одежды с использованием цифровых технологий. Н.В. Мичикова, И.В. Лашина. Современные тенденции развития образования в высшей школе. III Международная научно-практическая конференция : сборник статей / под общей редакцией ректора ОГИС, профессора Н.У. Казачуна. - Омск: ОГИС, 2005-216с.

2. Фотограмметрия / Л.Н. Келль, Ю.Н. Корнилов, Е.В. Понамарев, И.А. Черкасов. – М.: Недра, 1989. -319 с.: ил.

05.13.19

**О.В. Васильева, Г.П. Жигулин к.т.н.**

Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, Институт комплексного военного образования, кафедра мониторинга и прогнозирования информационных угроз, Санкт-Петербург, ovasileva000@gmail.com

### **СПОСОБ ФОРМИРОВАНИЯ МОДЕЛИ УГРОЗ И НАРУШИТЕЛЕЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ЧАСТНОЙ ОБЛАЧНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ**

*В статье описывается способ построения модели угроз и нарушителей информационной безопасности информационного хранилища данных развернутого в частном облаке. Установлены компоненты центра обработки данных частного облака. Определены угрозы, уязвимости и их последствия на уровнях информационной инфраструктуры информационного хранилища данных реализованного посредством частного облака.*

Ключевые слова: *модель угроз и нарушителей, частное облако, информационное хранилище данных, центр обработки данных.*

На сегодняшний день облачные вычисления приобрели огромную популярность в индустрии информационных технологий. Возможность виртуализации различного вида ресурсов (сервера, системы хранения данных и т.д.) и возможность предоставления этих ресурсов пользователям в форме сервисов по требованию, послужило началом стремительного развития облаков.

В настоящее время крупные финансовые корпорации и кредитные организации не выражают доверия к публичным облакам, так как они могут подвергнуть их информацию опасности, но при этом они не сопротивляются частному облаку, постепенно начиная переводить свою информационную инфраструктуру в частные облака.

Облачные вычисления представляют собой сервисную вычислительную модель, информационная технологическая структура которой, находится в центре обработки данных (ЦОД).

Важнейшей задачей для кредитной организации является обеспечение целостности, доступности и конфиденциальности информационных активов. Вследствие этого, прежде чем переводить какой-либо банковский технологический процесс или приложение в частное облако, необходимо просчитать и проанализировать все возможные риски, связанные с нарушением информационной безопасности.

Одним из самых уязвимых мест кредитной организации является информационное хранилище данных (ИХД), от которого напрямую зависит ее полноценное функционирование. Естественно, подвергать опасности свои данные и данные клиентов не одна из кредитных организаций допустить не может. Поэтому, после детального анализа существующего физического ИХД, необходимо спроектировать ЦОД, который позволит построить частное облако, отвечающее требованиям для разворачивания на нем ИХД.

Для проведения данного анализа построен ЦОД для частного облака (Рис. 1).

Основные компоненты ЦОД:

1. Дисковые массивы;
2. Коммутаторы Storage Area Network (SAN);
3. Консолидированные сервера (КС);
4. Ленточная библиотека;
5. Сервер управления;
6. Сервер резервного копирования;
7. Сервер безопасности.

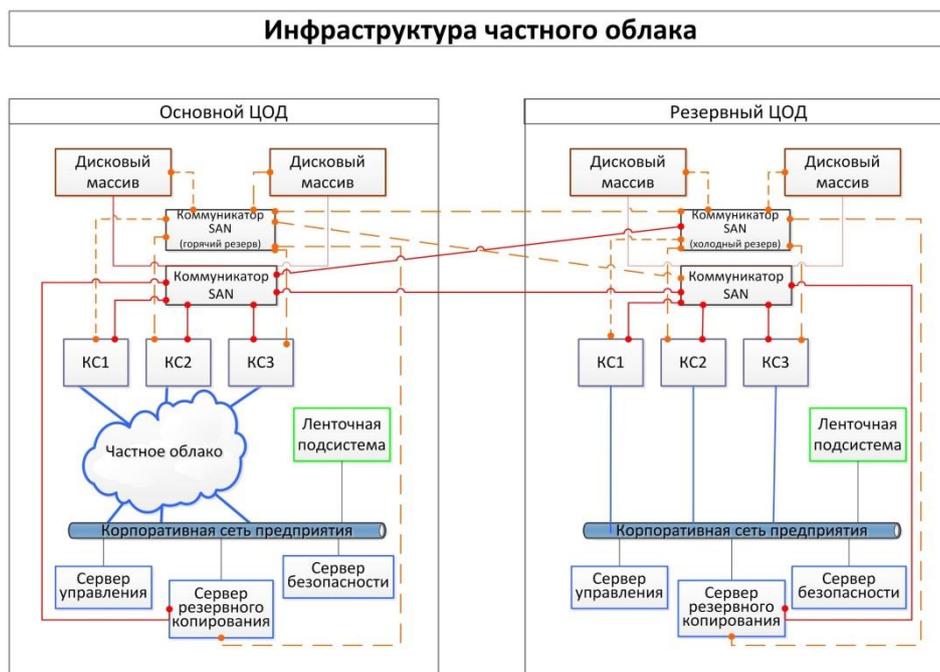


Рис. 1 - «Центр обработки данных облачной инфраструктуры»

Построение системы обеспечения информационной безопасности (СОИБ) информационной инфраструктуры кредитной организации должно осуществляться на семи уровнях:

- физическом (линии связи, аппаратные средства);
- сетевого оборудования (маршрутизаторы, коммутаторы и т.д.);
- сетевых приложений и сервисов;
- операционных систем;
- систем управления базами данных;
- банковских технологических процессов и приложений;
- бизнес процессов организации. [1]

Следовательно, обеспечение информационной безопасности банковских технологических процессов и приложений, реализованных посредством виртуального частного облака, также должно осуществляться на каждом вышеуказанном уровне.

«Модели угроз и нарушителей должны быть основным инструментом организации банковской системы Российской Федерации при развертывании, поддержании и совершенствовании СОИБ» [1].

Формирование данной модели угроз и нарушителей информационной безопасности осуществляется посредством анализа, который помогает определить на каждом из уровней информационной структуры угрозы информационной безопасности и их источники, а также методы и всевозможные средства защиты.

Для каждого уровня установим соответствующую ему информационную составляющую ИХД.

**1. Физический уровень** (дисковые массивы; ленточная подсистема; консолидированные сервера; сервер управления; сервер резервного копирования; сервер безопасности; стандартные кабели; волоконно-оптические кабели (Fibre Channel); HBA адаптеры).

**2. Уровень сетевого оборудования** (коммутаторы SAN).

**3. Уровень сетевых приложений и сервисов** (соответствующие протоколы; сетевые сервисы; сетевой трафик).

**4. Уровень операционных систем** (функционирование стандартных системных процессов операционных систем: ПО VMware ESXi; Windows XP; IBM z/OS; Cisco IOS).

**5. Уровень систем управления базами данных** (хранение и обработка данных при помощи баз данных: SQL Server; IBM DB2 for z/OS; Oracle Database).

**6. Уровень банковских технологических процессов и приложений** (прием, обработка первичных данных; предоставление данных; подготовка и передача информации по запросу).

**7. Уровень бизнес-процессов организации** (технические средства, служащие для предоставления обрабатываемой информации конечным пользователям).

После установления каждому уровню соответствующей информационной составляющей ИХД, необходимо выявить уязвимости и определить основные источники угроз информационной безопасности для каждого уровня.

Следующим действием должен быть проведен анализ, результатом которого является аналитическая справка о последствиях, которые возможны вследствие реализации атак на каждом уровне.

Необходимо построить модель внутреннего и внешнего нарушителя, основываясь на том, что источники внутренних угроз располагаются внутри кредитной организации, а источники внешних угроз за пределами кредитной организации. Главной задачей внутреннего и внешнего нарушителя является получение контроля над активами на уровне бизнес-процессов, что влечет за собой такие последствия, как хищение денежных активов и нанесении вреда деловой репутации кредитной организации. В этой связи построение вышеуказанных моделей является очень важным в обеспечении информационной безопасности ИХД реализованного посредством частного облака.

Особое внимание, в процессе построения моделей внутреннего и внешнего нарушителя, необходимо уделить анализу физического и сетевого уровня, а также уровня сетевых приложений, так как на других уровнях реализация угроз внешними нарушителями информационной безопасности, действующими самостоятельно, без соучастия внутренних, практически невозможна.

Из вышесказанного можно понять, что построение модели угроз внутреннего и внешнего нарушителя в облачной инфраструктуре осуществляется посредством распределения по уровням и анализа информационной составляющей ИХД.

### *Список литературы*

1. Стандарт Банка России. Обеспечение информационной безопасности организаций банковской системы Российской Федерации. Общие положения: СТО БР ИББС- 1.2-2010: утв. Распоряжением Банка России от 21.06.2010 № Р-705: взамен СТО БР ИББС-1.0.-2008 : дата введ. 21.06.2010. - М. – ЦБР РФ, 2010. -46 с. [15]
2. *Е. Гребнев*, «Облачные сервисы. Взгляд из России». – М.: СNews, 2011. – 282 с.
3. *С.В. Запечников, Н.Г. Милославская, А.И. Толстой*, «Основы построения виртуальных частных сетей». Учебное пособие для вузов. – 2-ое изд., стереотип. – М.: Горячая линия-Телеком, 2011. -248 с.
4. *М. Захватов*, «Построение виртуальных частных сетей (VPN) на базе технологии MPLS». –М.: Cisco Systems, 2001. -52 с.
5. *Петренко С.А., Симонов С.В.* Управление информационными рисками. Экономически оправданная безопасность. – М.: Компания Айги; ДМК Пресс, 2004. – 384 с.

05.12.04

**В.И. Воловач к.т.н., А.В. Савенко**

Поволжский государственный университет сервиса,  
факультет информационно-технического сервиса,  
кафедра «Информационный и электронный сервис»,  
Тольятти, ssunrise@mail.ru

## **ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ И РАБОТЫ ТУРНИКЕТНЫХ ДАТЧИКОВ РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ ОБНАРУЖЕНИЯ**

*Рассмотрены особенности построения и работы турникетных датчиков радиотехнических систем обнаружения ближней дальности. Рассмотрены особенности нахождения доплеровского смещения частоты в турникетных датчиках названных систем обнаружения. Показаны особенности формирования зоны обнаружения турникетных датчиков.*

*Ключевые слова: турникетный датчик, режим активной радиолокации, режим полуактивной радиолокации, зондирующий сигнал, доплеровское смещение частоты, зона обнаружения.*

При проектировании интегрированных систем охраны (ИСО) [1] объектов безусловный интерес представляет исследование особенностей работы датчиков охранной сигнализации (ДОС), использующих различные принципы обнаружения и обладающих различными параметрами зон обнаружения. В свою очередь, полное знание размеров зон обнаружения ДОС позволяет оптимизировать количество последних и повысить эффективность совместного применения с другими элементами ИСО.

В радиотехнических системах обнаружения объектов ИСО, которые являются разновидностью [2] радиотехнических устройств обнаружения ближней дальности, находят широкое применение радиолокационные ДОС, использующие эффект Доплера и позволяющие обнаружить движущийся объект. Обычно определение доплеровского смещения частоты (ДСЧ) рассматривается для двух классических радиолокационных приложений: при перемещении источника радиосигнала относительно приемника и при перемещении объекта, отражающего зондирующий сигнал приемо-передающей антенны. Решение задачи определения ДСЧ следует рассматривать для ДОС, как радиолокационных устройств, работающих на ближних дальностях и имеющих вследствие этого ряд особенностей по сравнению с классической радиолокацией, например, многолучевой характер сигналов, отраженных от протяженных обнаруживаемых объектов, наличие в них стабильных отражателей и отражающих центров – «блестящих» точек и т. п.

Радиолокационные ДОС охранных систем принято классифицировать [2] на турникетные, применяемые для охраны периметров, и площадные (или объемные) датчики, используемые для охраны площадей (объемов) контролируемого пространства. В качестве датчиков охраны периметра могут использоваться как радиоволновые, так и радиолучевые радиотехнические датчики (РД); в качестве площадных датчиков охраны применяют радиоволновые. В радиоволновых РД излучение и прием СВЧ волн осуществляется одной приемо-передающей антенной, поскольку объемная зона обнаружения таких датчиков достаточно велика, то радиоволновые РД преимущественно используются для контроля охраняемых площадей. В радиолучевых датчиках объемная зона обнаружения расположена между приемной и передающей антеннами. Поскольку размер зоны обнаружения радиолучевых РД явно недостаточен для контроля площадей [3], то их используют обычно для охраны периметров, реализуя на их основе классические турникетные датчики, т. е. датчики, в которых приемная и передающая антенны размещены напротив друг друга.

В построении РД охраны периметров (турникетных датчиков) имеется ряд специфических особенностей, характерных только для охранных систем, работающих в условиях радиолокации на ближних расстояниях [4, 5], например, рассматривается случай, при котором размеры объекта гораздо больше объема разрешения, т. е. случай, при котором следует учитывать протяженный характер объекта [6-8]. Следует отметить, что решение в турникетных датчиках может приниматься как по наличию, так и по отсутствию сигнала в приемнике при нарушении периметра. В первом случае, при радиолокационном режиме приемник и передатчик РД должны быть совмещены в пространстве и в нормальных условиях (при отсутствии обнаруживаемого объекта) сигнала в приемнике РД нет. При появлении обнаруживаемого объекта зондирующий сигнал генератора отражается от поверхности объекта, и приемное устройство фиксирует цель. В радиолокационном режиме (режиме активной радиолокации) могут использоваться как радиоволновые, так и радиолучевые РД.

Другим режимом работы турникетных РД, наиболее часто используемом в системах охраны периметра, является размещение передатчика и приемника на одной линии – рубеже охраны – напротив друг друга. Очевидным достоинством такого режима (режим полуактивной радиолокации) работы РД по сравнению с режимом активной радиолокации является то, что при отсутствии обнаруживаемого объекта в приемнике всегда имеется сигнал, что свидетельствует о нормальной работе датчика.

Уровень сигнала в приемнике турникетного датчика определяется перекрытием диаграмм направленности (ДН) передающей и приемной антенн, т. н. площадью разрешения  $S_p$  и определяется как сечение, расположенное в плоскости пересечения этих диаграмм [9]. Для радиолучевых датчиков в реальных условиях площадь разрешения  $S_p$  значительно меньше площади поверхности обнаруживаемого объекта  $S_0$ . Известно [2], что отношение мощностей сигналов на входе приемника РД при свободности контролируемого участка периметра  $P_{ПРМ\text{ СВ}}$  и при пересечении периметра  $P_{ПРМ}$  зависит от площади сечения  $S$ , расположенного в месте пересечения обнаруживаемым объектом периметра, и величины экранируемой площади  $S_3$ . Для полученных условий можно записать

$$P_{ПРМ\text{ СВ}} / P_{ПРМ} = S / (S - S_3) = S_p / (S_p - S_3).$$

В общем случае мощности  $P_{ПРМ}$  и  $P_{ПРМ\text{ СВ}}$  определяются мощностью передатчика РД, коэффициентами направленного действия приемной и передающей антенн, квадратом длины излучаемой передатчиком волны, расстоянием между приемной и передающей антеннами, а также коэффициентом, учитывающим потери при распространении СВЧ излучения в пространстве между передающей и приемной антеннами и потери в высокочастотном тракте приемника.

Особенностью приемника радиолучевого РД является то, что приемник реагирует не только на полное исчезновение сигнала, но также на изменение его параметров, например, глубины модуляции сигнала. Наиболее часто в радиолучевых РД реализуется режим полуактивной радиолокации [10]. В таком режиме зондирующий сигнал постоянно излучается передающей антенной, а сигнал, отраженный от обнаруживаемого объекта и имеющий в силу этого измененные параметры, поступает на приемную антенну РД.

Следует подчеркнуть, что особенности работы РД, построенных на доплеровском принципе, в диапазоне ближнего действия до настоящего времени исследовались в недостаточной степени. Это касается как радиолучевых, так и радиоволновых датчиков. Вполне справедливым будет предположить наличие флуктуаций ДСЧ, вызванных особенностями радиолокации на ближних дальностях.

Рассматривая возможные начальные условия задачи определения ДСЧ РД, необходимо определиться со скоростью, характером и траекторией движения обнаруживаемого объекта [11], его расположением относительно передающей либо приемной антенн, а также характеристиками этих антенн, характеристиками самого объекта и условиями обнаружения [12, 13]. Каждый из названных факторов в той или иной степени влияет на вероятность обнаружения объекта.

Следует отметить, что при определении ДСЧ зондирующего сигнала [5, 14, 15] необходимо учитывать тип применяемых РД, от которого, в свою очередь, зависит, какие составляющие образуют результирующее ДСЧ. Так, например, в простейшем случае, когда передатчик движется в пространстве, а его сигнал принимается стационарной антенной, то в результирующем ДСЧ будет присутствовать только одна компонента, полученная в результате появления ДСЧ при прохождении сигнала от передатчика к приемнику. Если предположить, что двигаться будет и приемная антенна, то по-прежнему это будет однокомпонентный сигнал, но в тоже время, определяемый параметрами движения двух – передатчика и приемника – объектов. В [16] были рассмотрены три различных случая определения ДСЧ, два из которых характерны для практических задач обнаружения объектов.

Отметим, что в задаче обнаружения объекта по ДСЧ [17] часто рассматривается случай применения турникетных РД. Использование турникетных радиолучевых РД [15], работающих в режиме полуактивной радиолокации, предполагает обнаружение объекта, находящегося на рубеже охраны (предположим, что его расположение совпадает с линией «передающая антенна – приемная антенна») и прерывающего сигнал от передающей антенны к приемной. Обнаружение происходит по отсутствию сигнала в приемной антенне. Однако, вследствие появления в таком режиме работы РД сигнала «просачивания» [12] возможен пропуск объекта или ложное обнаружение. В ряде случаев получить оптимальную вероятность обнаружения можно, выбирая определенным образом [2] пороговое напряжение. Однако такое решение не всегда дает ожидаемый эффект, поэтому достоверность обнаружения повышают, используя обнаружение объекта посредством определения ДСЧ, а также применяя комбинированные режимы работы РД, используя совместно режим активной и полуактивной радиолокации для охраны периметров. Следует учитывать, что определение ДСЧ несколько теряет эффективность при слишком узких ДН передающей и приемной антенн вследствие малой зоны обнаружения. При полном прерывании сигнала определить ДСЧ становится невозможным.

В [2] выведено, что ДСЧ, возникающее при поступлении сигнала, отраженного от обнаруживаемого объекта, на приемную антенну турникетного РД, определяется частотой и длиной волны зондирующего сигнала, а также характеристиками движения объекта в точке обнаружения. Кроме того, там же доказано, что результирующее изменение доплеровского смещения частоты при обнаружении объекта в радиотехнических турникетных РД, работающих в режиме полуактивной радиолокации, определяется суммированием двух ДСЧ – доплеровского смещения в точке обнаружения объекта и доплеровского смещения в приемной антенне РД.

Влияние таких характеристик объекта как эффективная отражающая поверхность, наличие сигнала «просачивания», а также условий обнаружения объекта на достоверность обнаружения достаточно подробно рассмотрены ранее, например в [2], [18].

Для случаев практического использования РД интерес представляет определение некоторых геометрических размеров зоны обнаружения турникетных датчиков. Как уже отмечалось ранее, в качестве турникетных датчиков используют радиолучевые РД, поскольку размер их зоны обнаружения достаточно мал вследствие малых значений угла раскрытия ДН используемых передающих и приемных антенн. Зона обнаружения одиночного РД (радиолокационный режим) имеет вид конуса, в вершине которого расположен датчик. Очевидно, что существует вполне определенное расстояние – длина зоны обнаружения, на котором происходит обнаружение объекта с заданной вероятностью [15].

При использовании режима полуактивной радиолокации зона обнаружения представляет собой пересечение, а в ряде случаев и объединение, двух конусов; передающая и приемная антенны при этом расположены в вершинах соответствующих конусов. Остановимся далее более подробно на зоне обнаружения, получаемой в первом, наиболее характерном случае, который в дальнейшем будем называть «зона пересечения».

Рассматривать зону обнаружения, получаемую как результат объединения двух конусов («зона объединения»), в данном докладе в деталях не представляется целесообразным, поскольку в турникетных датчиках в большинстве практических применений интерес представляет не обнаружение объекта как таковое, а факт пересечения этим объектом рубежа охраны. Отметим также, что вероятность обнаружения объекта внутри «зоны объединения», но вне «зоны пересечения» будет существенно ниже, например, вследствие протяженного характера объекта [2], [6].

В значительном количестве случаев турникетные РД призваны контролировать проникновение обнаруживаемого объекта поверх ограждения и поэтому располагаются на некоторой высоте от уровня земли. Интерес для практической реализации рубежей охраны с применением турникетных РД представляет нахождение зависимости, связывающей высоту расположения  $h$  датчиков над уровнем земли, длину рубежа охраны  $l$  – расстояние между передающей и приемной антеннами – и соответственно углами раскрытия ДН этих антенн. Ранее была найдена [3] зависимость, определяющая размеры зоны обнаружения в ее вертикальном сечении. Полученная зависимость позволяет, например, по известным величинам  $h$  и  $l$  выбирать подходящие антенны. Очевидно, возможно решение обратной задачи: используя антенны с известными углами раскрытия ДН, определять размеры зоны обнаружения.

Практический интерес имеет также анализ размеров зоны необнаружения и выработка рекомендаций по ее уменьшению [3].

Таким образом, в результате проведенного анализа работы турникетных РД получены следующие выводы:

1. ДСЧ радиолокационных РД независимо от режима – активной или полуактивной – радиолокации в случае прямолинейного неравномерного движения объекта под разными углами к рубежу охраны определяется скоростью движения объекта и длиной волны зондирующего сигнала.

2. Результирующее ДСЧ датчика определяется суммированием доплеровских смещений частоты, определенных в характерных точках: точке обнаружения объекта и в приемной антенне приемника РД.

3. Использование комбинированных РД повышает вероятность обнаружения объекта.

4. Зона обнаружения турникетных РД может быть образована как объединением, так и пересечением ДН передающей и приемной антенн, причем второй случай является более приемлемым.

5. Размер наибольшего вертикального сечения зоны обнаружения зависит от угла раскрытия ДН передающей и приемной антенн РД и от расстояния между ними.

6. Оптимизировать расположение зоны обнаружения РД, а также формировать заданную конфигурацию зоны обнаружения возможно, изменяя угол подвеса в вертикальной плоскости соответствующей антенны РД.

### **Список литературы**

1. *Магауенов Р.Г.* Системы охранной сигнализации: основы теории и принципы построения. – М.: Горячая линия-Телеком, 2004. – 367 с.
2. *Воловач В.И.* Методы и алгоритмы анализа радиотехнических устройств ближнего действия: монография. – М.: Радио и связь, 2013. – 228 с.
3. *Воловач В.И.* Определение размеров зон обнаружения радиотехнических датчиков охраны периметров объектов // Научно-технический вестник Поволжья. – 2011. № 1. С. 100–104.
4. *Воловач В.И.* Обоснование моделей возмущающих воздействий на радиотехнические устройства охранной сигнализации // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2006. С. 134–97.

5. Воловач В.И. К вопросу проведения статистического анализа сигналов и иных воздействий, применяемых для описания РКО, и выбора их математических моделей // Научно-технический вестник Поволжья. – 2011. № 2. С. 64–68.
6. Артюшенко В.М., Воловач В.И. Экспериментальное исследование параметров спектра доплеровского сигнала, отраженного от протяженного объекта // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. — 2012. № 3 (19). С. 17–24.
7. Artyushenko V.M., Volovach V. I. Statistical Characteristics of Envelope Outliers Duration of non-Gaussian Information Processes // Proceedings of IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS'2013). Rostov-on-Don, Russia, September 27–30, 2013. – Kharkov: KNURE, 2013. P. 137–140.
8. Артюшенко В.М., Воловач В.И. Особенности отражения зондирующих сигналов радиотехнических устройств обнаружения от протяженных объектов сложной формы // Школа университетской науки: Парадигма развития. – 2012. № 2 (6). С. 42–46.
9. Воловач В.И. Характеристики обнаружения радиотехнических устройств охраны и повышение эффективности их работы посредством адаптации к изменяющейся помеховой обстановке // Электротехнические и информационные комплексы и системы. – 2011. № 3, т. 7. С. 25–31.
10. Воловач В.И. Оценка достоверности обнаружения объектов двухканальными радиотехническими устройствами обнаружения турникетного типа // Радиопромышленность. – 2013. Вып. 3. С. 145–155.
11. Артюшенко В.М. Исследование и разработка радиолокационного измерителя параметров движения протяженных объектов: монография. – М.: ФГБОУ ВПО ФТА, 2013. – 214 с.
12. Воловач В.И. Определение вероятностных параметров радиотехнических устройств обнаружения на фоне внутриприемного гауссовского шума // Научно-технический вестник Поволжья. – 2012. № 6. С. 184–188.
13. Воловач В.И. Помехоустойчивость радиотехнических устройств охраны при использовании когерентного и некогерентного методов обнаружения // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2012. № 1(17). С. 13–20.
14. Артюшенко В.М., Воловач В.И. Анализ параметров спектра сигнала, отраженного от протяженного объекта // Известия вузов. Приборостроение. – 2012. № 9. С. 62–67.
15. Воловач В.И. Определение ширины спектра доплеровского сигнала в условиях многолучевого распространения отраженных сигналов // Вестник Волжского университета имени В. Н. Татищева. Серия «Информатика». – 2012. Вып. 4(20). С. 5–12.
16. Воловач В.И. Особенности определения дальности действия радиотехнических устройств обнаружения охранных систем // Школа университетской науки: Парадигма развития. – 2012. № 3 (7). С. 77–81.
17. Воловач В.И., Гурина Е.В. Некоторые особенности оптимальной обработки сигналов радиотехнических устройств обнаружения пространственных охранных систем // Научно-технический вестник Поволжья. – 2011. № 6. С. 129–132.
18. Артюшенко В.М., Воловач В.И. Анализ условий работы системы контроля заполнения путей и ее информационного обеспечения // Научно-технический вестник Поволжья. – 2012. № 6. С. 115–119.

05.23.19

**Н.Ф. Гибадуллин**

г. Казань, nursil.gibadullin@mail.ru

**ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ПРОДУКТИВНОСТИ ЛЕСОВ  
НА ПРИМЕРЕ ЛЕСОВ ЗАКАМЬЯ**

*Дана экологическая оценка лесов Альметьевского лесничества РТ (Белебеевско-Бугульминской возвышенности).*

Экологическая продуктивность леса определяется эффективностью выполнения лесом средообразующей, ландшафтно- и биосферно- стабилизирующей, кислородно- продуцирующей, водоохранно-водорегулирующей функций и возможностью нейтрализовать техногенные, рекреационные и другие нагрузки [2, 3].

Глобальные экологические проблемы (усиление парникового эффекта, загрязнение воздуха, вод и почв и т.д.) не могут быть решены без участия лесов. Ведение лесного хозяйства должно быть ориентировано на охрану, преобразование и восстановление лесов в наиболее высокой ступени - на создание лесов повышенной экологической продуктивности, а становление системы рыночных отношений предполагает разработку и реализацию в хозяйственной практике новых подходов к экономической и экологической оценке вовлекаемых в общественное производство природных ресурсов. В этой связи значимость экологической оценки лесов приобретают особую актуальность при включении их как экономического объекта в производственные отношения между лесовладельцем и лесопользователем. Ввиду того, что лес в реальной действительности выполняет многогранные полезные функции [5], эколого-экономическая оценка представляет собой комплексную оценку, выражающую долговременный хозяйственный эффект его использования [8].

Особенную значимость оценка экологической продуктивности лесов приобретает для регионов, подверженных легкой ранимости, где леса являются основным факторам стабилизации окружающей среды [7]. К таким регионам относится Бугульминско-Белебеевская возвышенность.

Леса здесь своеобразны, в условиях жестких лесорастительных условий у них выработана особая устойчивость к неблагоприятным факторам окружающей среды. При этом они демонстрируют и достаточно высокие средообразующие функции. Так леса зеленой зоны г. Альметьевска на всей площади своего распространения не имеют резко выраженных отличий при средней экологической продуктивности 79,5 балла.

Однако неоднородность рекреационной емкости насаждений как в разрезе выделов, кварталов так и лесничеств, соотношение фактического и возможного рекреационного освоения лесов имеет существенные колебания по таксационным выделам [1], но общая картина вырисовывается достаточно рельефно. По принятой классификации лесов по экологической продуктивности к оптимальной категории продуктивности относится 2341 га, а к нормальной 8485,4 га, соответственно 22 и 78 % (табл. 1).

Таблица 1. Фрагмент оценки экологической продуктивности лесов

Кв	Площадь покрытая лесом, га	Средняя экол. продуктивность, балл	Экол емкость, тыс. чел.	Рекре емкость, тыс. чел.	Категория лесов по классификации
Поташно-Полянское участковое лесничество					
73	74,3	83,0	5530,0	3630,0	оптим
74	67,0	78,0	1623,0	1164,0	норм
84	73,6	81,0	1365,0	933,0	оптим
92	90,2	80,0	3057,0	2168,0	норм
93	70,6	79,0	2605,0	1792,0	норм
Миннибаевское участковое лесничество					
7	104,7	83,0	3511,8	2300,8	оптим.
9	71,5	84,0	2590,6	1655,5	оптим.
10	108,5	83,0	3277,5	2162,6	оптим.
11	61,9	81,0	1164,3	779,7	оптим.
13	134,7	82,0	2389,2	1622,2	оптим.

Математическая обработка данных средней экологической продуктивности показывает вполне удовлетворительные показатели точности (табл. 2).

Таблица 2 Основные статистические показатели по экологической продуктивности лесов

Участковые лесничества	N	M	$\sigma$	m	V	P
Поташно-Полянское	70	78,1	25,54	4,45	27,56	6,35
Миннибаевское	56	78,9	26,66	3,23	17,18	5,76

Перспективы дальнейшего использования участков лесного фонда зависят от многих факторов, в первую очередь от экологической продуктивности насаждений и их рекреационной емкости. Исключение не составляют и рекреационная освоенность территории, и сложившиеся традиции. При этом трансформации в природе леса в результате рекреационной деятельности сводится к изменению лесорастительной среды и состава структуры леса [4, 6]. В системе мероприятий противостоящих им, основные значения имеют те, которым присуще длительное последствие (регулирование режима пользования, благоустройство и ландшафтные рубки).

Наиболее простой способ исключить из рекреационного пользования - насаждения с минимальными показателями экологической продуктивности. Однако участки с высокими показателями экологической продуктивности могут занимать незначительные площади и в силу этого они проигрывают посредственным зонам на больших площадях. В связи с этим представляется правомерным режим рекреационного лесопользования регулировать с показателями экологической и рекреационной емкостей или их соотношением.

В связи с малой экологической емкостью (менее 100) правомерно исключить из рекреационного пользования насаждения квартала 189 (2,4 га) Поташно-Полянского, 163, 165, 173 (8,6 га) Миннибаевского участковых лесничеств Альметьевского лесничества.

В 20 кварталах Поташно-Полянского (928,1 га) и в 24 кварталах Миннибаевского участковых лесничеств (694,7 га) целесообразно ограничить рекреационное лесопользование (объем экологической емкости 101-1000 баллов).

Возможно дополнительно предоставление лесов в аренду для осуществления рекреационной деятельности (экологическая емкость свыше 2001 балла) в 45 кварталах (4295,5 га) Поташно-Полянского, в 2 кварталах (213,6 га) Миннибаевского участковых

лесничеств, что составляет 33% от общей площади лесов зеленой зоны. В остальных лесах улучшить существующий статус пользования лесами в рекреационных целях.

Вывод: Для превращения лесов в подлинное произведение ландшафтной архитектуры в ближайшие годы представляется целесообразным проведение ландшафтных и санитарных рубок, посадку ландшафтных культур и декоративных пейзажных групп и развитие дорожно-тропиночной сети по специальным проектам.

### *Список литературы*

1. Лесохозяйственный регламент Альметьевского лесничества Министерства лесного хозяйства РТ. Казань, 2008.
2. *Луганский, Н.А.* Лесоводство / В.А. Азаренок, С.В. Залесов, Н.А. Луганский // Екатеринбург, УГЛТУ. 2001.-320 с.
3. *Мелехов, И.С.* Лесоводство / И.С. Мелехов // М.:Агропромиздат, 1989.- 301 с.
4. *Нафикова, И.Р.* Оценка рекреационно потенциала Башкирского Предуралья / И.Р. Нафикова // Автореф. дисс. ...к.с.х. наук. – Екатеринбург, 2011. — 19 с.
5. *Санников, С.Н.* Экология естественного возобновления сосны под пологом леса / С.Н. Санников, Н.С. Санникова // – М.: Наука, 1985. – 149 с.
6. *Соболев, Н.В.* Оптимизация рекреационного использования пойменных лесов на примере памятника природы «Копосовская дубрава» города Нижнего Новгорода / Н.В. Соболев // Автореф. дисс.... к.с.-х.н. – Екатеринбург:,УГЛТУ, 2013. – 18 с.
7. *Хайретдинов, А.Ф.* Введение в лесоводство / С.В Залесов, А.Ф. Хайретдинов // – Екатеринбург: УГЛТУ, 2011. – 202 с.
8. *Conell, J.H.* The ecological regulation of species diversity / J.H. Conell, E. Orias // Amer. Natur. - 1964. - Vol. 98. - № 903. - P. 399-414.

05.11.01

<sup>1</sup>С.П. Ильясов, <sup>2</sup>А.В. Корнилов, <sup>2</sup>Д.В. Свяжин

<sup>1</sup>Арзамасский политехнический институт (филиал) НГТУ,  
кафедра «Авиационные приборы и устройства»,  
ОАО «Арзамасское научно-производственное предприятие «Темп-Авиа»,  
Арзамас, ser667@gmail.com

<sup>2</sup>ОАО «Арзамасское научно-производственное предприятие «Темп-Авиа»,  
Арзамас, kornilov\_a@inbox.ru

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ИЗБЫТОЧНОСТИ КАК СРЕДСТВА ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ РЕЗЕРВНОЙ СИСТЕМЫ ОРИЕНТАЦИИ ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

*В работе представлены пути повышения надежности бесплатформенной инерциальной системы ориентации за счет аппаратного и информационного резервирования, а также применения встроенной системы контроля.*

Ключевые слова: *надежность, бесплатформенная система ориентации, резервирование, встроенная система контроля.*

Надежность бортового оборудования является на сегодняшний день одним из ключевых аспектов, по которому оценивается технический уровень летательного аппарата (ЛА). Она является свойством объекта сохранять во времени значения всех параметров в установленных пределах, и выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения [1]. Надежность является комплексной величиной и характеризуется показателями безотказности, сохраняемости и долговечности.

Развитие современных авиационных систем, и в первую очередь, систем пилотажно-навигационного комплекса (ПНК), характеризуется их возрастающей сложностью, увеличением количества применяемых электро-радио изделий и ростом числа связей информационного взаимодействия. Соответственно, возрастает вероятность отказа одного из указанных элементов, что снижается надежность.

В качестве методов повышения надежности применяются конструктивные решения (определение оптимальной схемы системы, выбор применяемых элементов и т.д.), используются имеющиеся структурная и функциональная избыточности (резервирование элементов и устройств, применение схем автоматического контроля), проводятся предварительные испытания [2].

Наиболее эффективным среди рассмотренных методов является резервирование (аппаратное и информационное), позволяющее своевременно заменить отказавший элемент, и применение встроенных средств автоматического контроля, позволяющих быстро идентифицировать отказавший элемент и сократить время определения неисправности при ремонтных работах.

В представленной статье рассматривается использование функциональной и структурной избыточностей как средства повышения надежности резервной системы ориентации (РСО), входящей в состав пилотажно-навигационного оборудования ЛА.

Описываемая РСО представляет собой моноблочную автономную информационно-измерительную систему, предназначенную обеспечения экипажа ЛА достоверной и точной информацией о параметрах движения ЛА (значения углов ориентации и высотно-скоростных параметров), и осуществляет общее функциональное резервирование основных приборов ПНК.

В качестве датчиков первичной информации (ДПИ) в РСО используется триада одноосных волоконно-оптических гироскопа ВГ071П (ЗАО «Физоптика», Россия), триада

одноосных интегральных компенсационных акселерометров АТ1104-50 (ОАО АНПП «Темп-Авиа», Россия) со встроенными датчиками температуры, датчиков полного и статического давления (ОАО «Аэроприбор-Восход», Россия); трехосевой аналоговый магнитометр МА-8 (ОАО «Раменское приборостроительное конструкторское бюро», Россия). Преобразование полученной информации и вычисление значений параметров полета ЛА осуществляется в вычислительном модуле.

Состав ДПИ является оптимальным для полноценного измерения значений параметров полета ЛА. Однако, существует информационная избыточность, которая может быть использована для вычисления дополнительных значений измеряемых параметров.

Так, в соответствии со способом определения проекций угловых скоростей на оси летательного аппарата при помощи одноосного ДУС и трехосного магнитометра [3], и используя значения еще двух гироскопов, возможно вычисление дополнительных значений каждой проекции угловой скорости:

$$\left. \begin{aligned} \omega_x &= \left( \omega_z \cdot H_x - \frac{dH_y}{dt} \right) / H_z = \left( \omega_y \cdot H_x - \frac{dH_z}{dt} \right) / H_y \\ \omega_y &= \left( \omega_x \cdot H_y - \frac{dH_z}{dt} \right) / H_x = \left( \omega_z \cdot H_y - \frac{dH_x}{dt} \right) / H_z \\ \omega_z &= \left( \omega_x \cdot H_z - \frac{dH_y}{dt} \right) / H_x = \left( \omega_y \cdot H_z - \frac{dH_x}{dt} \right) / H_y \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где  $\omega_x$ ,  $\omega_y$ ,  $\omega_z$  – значения проекции угловых скоростей на соответствующие координатные оси;

$H_x$ ,  $H_y$ ,  $H_z$  – значения проекций вектора напряженности МПЗ на соответствующие координатные оси.

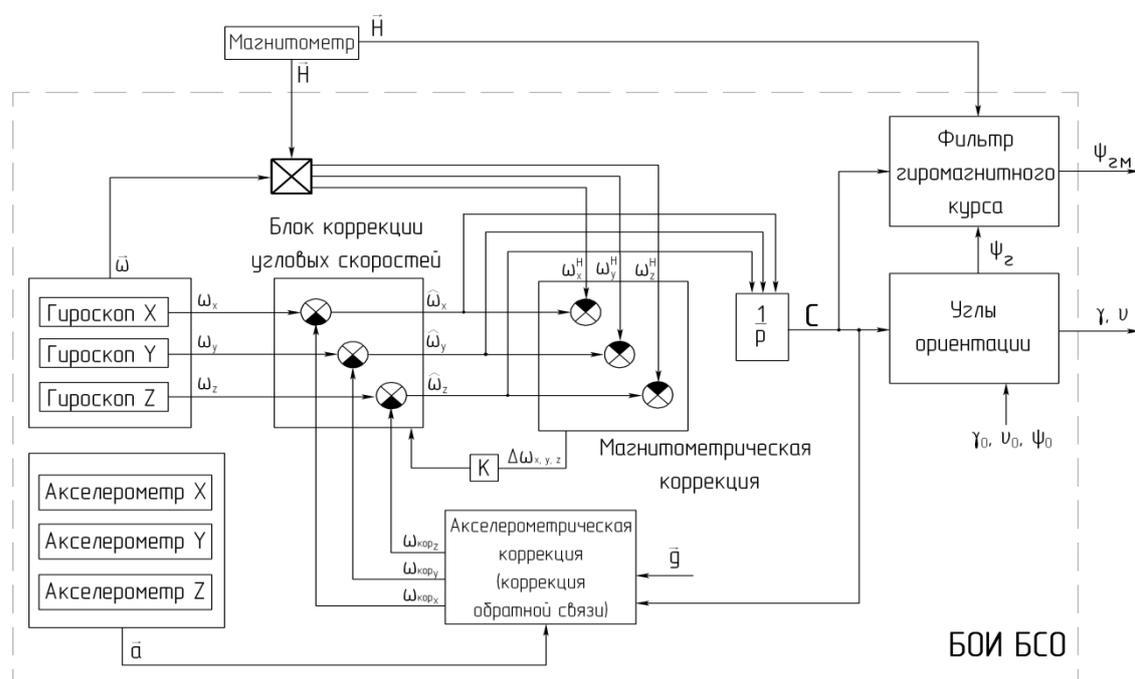


Рис. 1- Схема вычисления измерительной информации, получаемой от магнитометра и гироскопов

Полученные значения используются для качественной оценки работоспособности гироскопов и при существенном рассогласовании в показаниях становится возможным идентифицировать отказавший гироскоп. По аналогии, на основе имеющихся информационных связей и алгоритмических зависимостей производится расчет значений ускорения и скоростных параметров: на основе данных о статическом давлении  $P_{cm}$

вычисляются значения барометрической высоты  $H$ , путем их дифференцирования определяется вертикальная скорость  $V_{верт}$  ЛА (рис. 2).

Путем интегрирования значений ускорения рассчитываются инерциальная вертикальная скорость  $V_y$  и высота  $H_i$ . В данном случае разность барометрической и инерциальной высот является вектором измерения ФК, а вектором состояния являются значения погрешностей ускорения  $\Delta a_y$ , скорости  $\Delta V_y$  и высоты  $\Delta H$ , которые после оценивания поступают в обратную связь. С целью вычисления значений бароинерциальной высоты в схему вводится измерительная информация, поступающая от датчика динамического давления  $P_{дин}$  и акселерометра по каналу продольного ускорения.

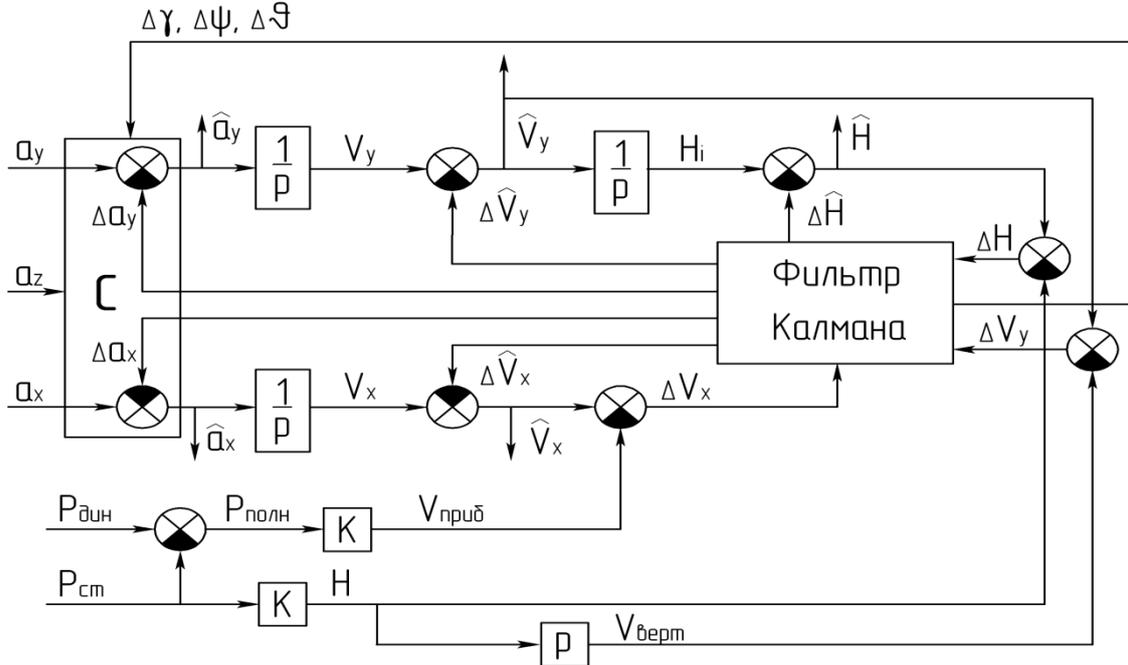


Рис. 2 – Схема вычисления измерительной информации, получаемой от датчиков давления и акселерометров

Затем в вектор измерения ФК вводится разность инерциальной и барометрической приборных скоростей  $\Delta V_x$ , а в вектор состояния добавляются погрешности измерения значений ускорения  $\Delta a_x$  и скорости  $\Delta V_x$ , оцененные значения которых также поступают в обратную связь.

Реализуемый метод повышения надежности основан на применении встроенной системы контроля (ВСК), реализующей обработку информации о невязке измерений контролируемых ДПИ. Если невязка превышает некоторое пороговое значение, то происходит автоматическая идентификация отказавших элементов. Для определения пороговых значений предлагается использовать информацию, получаемую от датчиков другого принципа действия. ВСК реализуется алгоритмически на основе качественной оценки измеренных и вычисленных параметров, т.к. сравнение точности значений в данном методе невозможно. Схема информационного взаимодействия представлена на рис. 3.

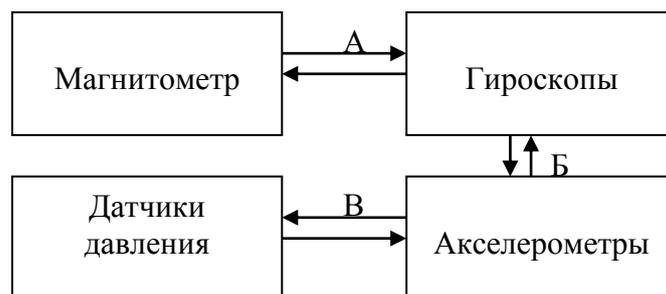
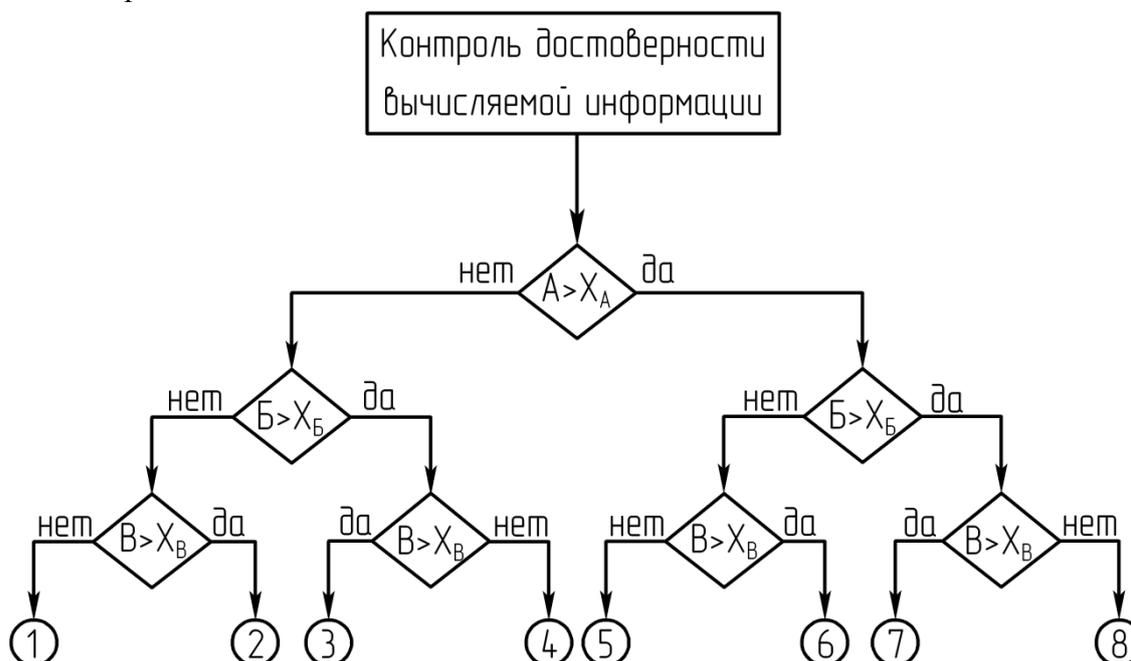


Рис. 3 – Схема взаимодействия элементов ВСК

Принцип работы ВСК основан на контроле состояния отдельных информационных модулей в один и тот же период времени, в процессе которого детектируется их отказ или исправное состояние. На основе логической обработки состояния всех модулей выбирается конечное решение о функциональном состоянии всей РСО. Блок-схема логики работы ВСК представлен на рис. 4.



$X_{A,B,B}$  - пороговые значения; 1 – РСО исправна; 2 – отказ датчиков давления; 3 – отказ акселерометров; 4 – идентифицируемый отказ РСО; 5 – отказ магнитометра; 6 – отказ датчиков давления и магнитометра; 7 – идентифицируемый отказ РСО; 8 – отказ гироскопов

Рис.4 – Блок-схема логики работы ВСК

На сегодняшний день проведена наземная отработка информационного модуля, оценивающего исправность работы магнитометра и гироскопов, в составе опытных образцов РСО. Предложенные схемы информационного взаимодействия элементов и разработанная ВСК на основе использования функциональной избыточности могут быть применены для повышения надежности автономной РСО. Для подтверждения представленных положений необходимо проведение экспериментальной апробации.

#### **Список литературы**

1. Чернов В.Ю., Никитин В.Г., Иванов Ю.П. Надежность авиационных приборов и измерительно-вычислительных комплексов: Учеб. пособие / СПбГУАП. Спб., 2004. – 96 с.
2. Воробьев В.Г., Константинов В.Д. Надежность и техническая диагностика авиационного оборудования. – М.: МГТУ ГА, 2010. – 448 с.
3. Силкин А.А. Синтез и анализ алгоритмов определения пространственной ориентации беспилотной аэродинамической платформы по измерениям магнитного поля земли: Диссертация на соискание ученой степени канд. техн. наук: 05.13.01/ А.А. Силкин. Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН – Москва, 2002 г. – 175 с.

05.02.11

**А.В. Ключников, А.В. Кузнецов, Н.А. Кузьминых, А.В. Лысых**

Российский федеральный ядерный центр – Всероссийский научно-исследовательский институт технической физики имени академика Е.И. Забабахина,  
Снежинск, a.klyuchnikov@bk.ru

### **СОЗДАНИЕ КОМПЬЮТЕРНОЙ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ СОСТАВНЫХ БЛОКОВ ПИТАНИЯ**

*Обсуждён вопрос разработки и использования автоматизированной системы контроля параметров химических источников тока, используемых при проектировании и изготовлении многоканальных блоков питания. Приведены основные технические характеристики системы.*

Ключевые слова: *химический источник тока, блок питания, периодические испытания, автоматизация, измерения.*

При создании автономного энергопотребляющего объекта техники возникает задача разработки блока питания (БП), обеспечивающего заданные параметры электропитания в течение всего периода его активной эксплуатации. При проектировании и производстве таких объектов широко применяются химические источники тока (ХИТ), при этом БП выполняют в виде набора ХИТ, задействуемых одновременно и в совокупности обеспечивающих (в результате химических превращений в них) объект электрической энергией в требуемом объёме [1]. Оптимизацию количества используемых ХИТ выполняют по критерию достижения минимальных массо-габаритных параметров БП.

Повышение требований к надёжности радиоэлектронной аппаратуры, являющееся одной из устойчивых тенденций современного производства, требует соответствующего обеспечения надёжности БП. Однако БП, имеющие в своём составе ХИТ, относятся к категории устройств однократного действия, которые после задействования полностью вырабатывают свой ресурс и уже не могут быть возвращены в первоначальное состояние. Надёжность таких устройств требует экспериментального подтверждения, для чего проводятся регулярные (с заданной периодичностью) испытания с контролем параметров выборочных экземпляров БП (или партий БП). Такие испытания проводятся в течение всего срока их хранения и использования.

К числу контролируемых параметров ХИТ относят напряжение, ток и время разряда. При проведении контроля в условиях, максимально приближённых к условиям эксплуатации, актуальной является задача одновременного задействования всех ХИТ, входящих в состав многоканального БП, а также индивидуального нагружения каждого ХИТ по заданной циклограмме и измерений параметров контролируемых ХИТ в реальном времени. Традиционные методы тестирования источников тока предполагают использование стандартных контрольно-измерительных и регистрирующих приборов с релейной коммутацией нагрузок и последовательным контролем электрических параметров. При этом для нагружения каждого ХИТ из состава БП проектируются блоки с релейной коммутацией нагрузок, состоящих из регулировочных резисторов большой мощности, имеющих невысокую точность установки значений сопротивлений (5% и более). Такая методика контроля не обеспечивает современных требований по точности, быстродействию и многоканальности отработки нагружений, а также не позволяет сделать однозначный вывод о возможности использования БП в составе объекта. Это требует «завышенных» запасов энергии и, соответственно, увеличения числа используемых источников тока, роста массо-габаритных характеристик БП и объекта в целом. К тому же нередко приходится ограничивать программу испытаний по причине низкой производительности контрольных

операций, выполняемых вручную. К ошибкам при проведении технологических операций, к искажению результатов контроля также приводит утомляемость оператора-испытателя. Применение автоматизированных средств и методов контроля позволяет если и не полностью устранить, то, по крайней мере, смягчить указанные факторы [2].

Для оценки электрических параметров ХИТ и отработки составных автономных БП, сокращения времени подготовки и проведения испытаний, исключения ошибок, обусловленных человеческим фактором, улучшения условий труда персонала разработана многоканальная автоматизированная система контроля (АСК). Система построена на базе персонального компьютера (ПК), дополнительно оснащённого измерительной платой типа L-761 или L-791 производства фирмы L-CARD, которая устанавливается в один из свободных слотов шины расширения системного блока ПК. Система также включает в свой состав программируемый блок нагружения (БН) и согласующее устройство [3]. Структурная схема и внешний вид АСК представлены на рисунках 1 и 2 соответственно.

ПК обеспечивает взаимодействие оператора с аппаратурой системы контроля, регистрацию и обработку данных, а также отображение результатов испытаний на экране монитора. Измерения напряжения и тока в цепях испытываемых ХИТ выполняются одновременно по 7 каналам. Согласующее устройство используется для электрического сопряжения БН с испытываемыми ХИТ, а также дополнительно обеспечивает коммутацию импульса задействования на 2 направления (мостика ХИТ), визуальный контроль состояния цепей контроля ХИТ, включенных в БП последовательно, исключение ошибок при сборке схемы блока нагрузок. Для исключения потери экспериментальных данных при аварийном отключении сетевого питания в ходе эксперимента система оснащена бесперебойным источником питания.

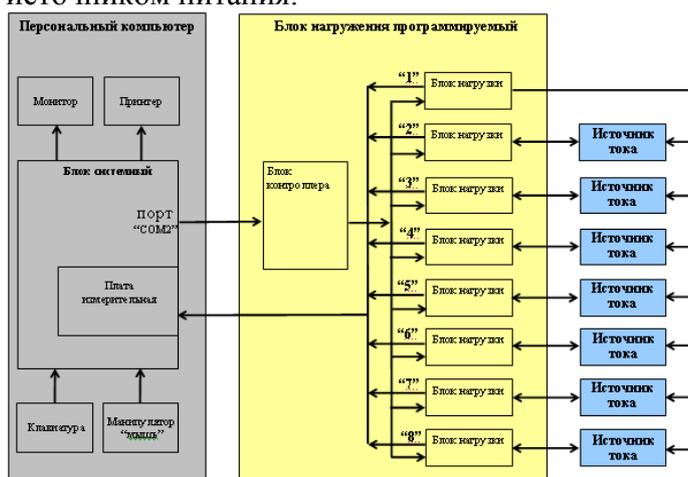


Рисунок 1 – Структурная схема

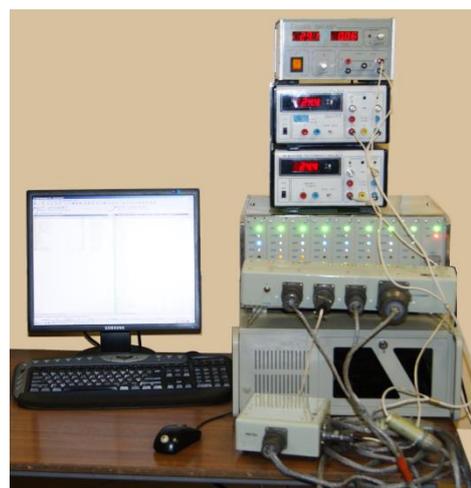


Рисунок 2 – Внешний вид

БН представляет собой многоканальный программируемый блок, обеспечивающий формирование активных и комплексных нагрузок при напряжении на источнике тока до 40В и токе нагрузки до 15А. БН подключается непосредственно к испытываемым источникам тока и обеспечивает их индивидуальное нагружение по заданным алгоритмам. Конструктивно БН выполнен в виде крейта с установленными в нём со стороны лицевой панели модулями [3]. В состав БН входят блок питания, блок контроллера и восемь модулей блоков нагрузки. Блок контроллера управляет работой блоков нагрузки, а также обеспечивает взаимодействие с ПК. Блоки нагрузки формируют нагрузки для ХИТ с параметрами, задаваемыми алгоритмами нагружения. При этом высокая точность формирования нагрузочных характеристик обеспечивается за счёт исключения погрешности, вносимой сопротивлением коммутирующего ключа, и длины проводов. Блоки нагрузки используются в том числе для формирования импульсов задействования ХИТ одновременно по всем контролируемым каналам. При этом один из блоков предназначен для регистрации формируемого им импульса задействования, а остальные семь – вырабатывают импульсы

задействования источников тока.

В ходе эксперимента система контроля обеспечивает:

- одновременное задействование, контроль и регистрацию параметров под нагрузкой до 7 гальванически развязанных источников тока;
- формирование циклограммы коммутации нагрузок для каждого канала в отдельности с интервалами времени, недоступными обычным релейным схемам;
- использование одного универсального блока нагрузок, реализующего коммутацию активных и реактивных нагрузок;
- автоматизацию обработки результатов испытаний с представлением данных в графическом и табличном виде и итогового заключения о годности контролируемых БП.

В процессе нагружения выходные параметры ХИТ (напряжение и ток) оцифровываются с заданной частотой дискретизации и сохраняются в оперативном запоминающем устройстве ПК. Далее информация систематизируется и становится доступна оператору в табличном и графическом виде. Особенностью рабочей программы, написанной на языке Си, является возможность гибкого управления формируемыми системой циклограммами нагружения ХИТ. Параметры циклограмм хранятся в текстовых файлах, информация из которых загружается в блоки нагрузки перед началом эксперимента. Надёжность результатов контроля ХИТ обеспечивается тестированием системы, выполняемым с использованием сетевых источников питания и стандартных средств измерений (амперметра и вольтметра) непосредственно перед началом каждого эксперимента. Основные технические характеристики системы приведены в таблице.

Таблица – Технические характеристики

Параметр	Значение
Максимальное количество одновременно испытываемых источников тока	7
Амплитуда вырабатываемых импульсов задействования, А	от 0,5 до 7
Диапазон создаваемых активных нагрузок, Ом	от 0,6 до 210
Диапазон емкостей формируемых нагрузок, Ф	от 0,02 до 0,5
Диапазон измеряемых напряжений, В	0 до 40
Диапазон измеряемых токов, А	от 0 до 30
Длительность шагов циклограммы нагружения, с	от 0,01 до 600
Максимальное количество шагов циклограммы канала	32
Частота сбора данных, кГц	
- с использованием платы L-761	125
- с использованием платы L-791	400

Разработанная АСК прошла все этапы отработки, подтвердившие правильность выбора схемных и конструкторских решений и в настоящее время аттестована для проведения контроля 4 типов БП, содержащих до 7 ХИТ в своём составе. Внедрение АСК позволило до 7 раз сократить время проведения испытаний составных БП, в 3 раза повысить точность отработки нагрузок, в 5 раз сократить минимальный интервал коммутации нагрузок.

### Список литературы

1. Вечер А.А., Вечер Д.В. Твёрдые электролиты: Актуальные проблемы современной химии. – Минск: Издательство «Университетское». – 1988. – 109 с.
2. Насонов А.Ю. Особенности применения автоматизированных систем контроля для изделий специальной техники // Новые промышленные технологии. – 2010. – №1. – С. 11–13.
3. Горкун Е.К., Зинкевич А.Е., Ключников А.В., Кузнецов А.В., Лысых А.В., Тимощенко А.Г. Контрольно-измерительная система испытаний источников тока // Труды международного симпозиума «Надёжность и качество – 2012»: в 2-х томах. – Пенза: ПГУ, 2012. – Т. 1. – С. 444–446.

05.02.13

**Т.М. Кокина, Р.Н. Тазмеева**

Набережночелнинский институт (филиал)  
 ФГАОУ ВПО «Казанский (Приволжский) федеральный университет»,  
 Набережные челны, bdd777@rambler.ru

**ВЫБОР ДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ  
 КРУТИЛЬНЫХ КОЛЕБАНИЙ МЕХАНИЗМА ВЫПУСКНЫХ ВАЛОВ  
 ПНЕВМОПРЯДИЛЬНЫХ МАШИН**

*В статье обосновывается выбор динамической модели механизма на основании анализа инерционно-жесткостных характеристик приводов пневмомеханической прядильной машины.*

Ключевые слова: *пневмопрядильная машина, механизм выпускных валов.*

Возникновение колебаний выпускного вала в результате упругих свойств системы с учётом возбуждения от неточностей изготовления и монтажа зубчатых передач вызывает снижение качества продуктов пневмомеханического прядения.

Анализ колебательного процесса механизма выпускных валов способствует обоснованию выбора инерционно-жесткостных параметров механизма, рациональному назначению степени точности зубчатых колёс привода.

Выявлению и минимизации динамических эффектов возникновения дополнительных нагрузок на элементы выпускного вала и отклонения вращения рабочего органа от идеального в стационарных режимах посвящена данная статья. С целью исследования частотного режима механизма выпускных валов выполнен частотный анализ механизма выпускных валов пневмомеханической прядильной машины БД-200.

Исходя из конструктивных особенностей механизма выпускных валов, привод которых состоит из серии открытых цилиндрических передач привода, проводился подсчёт приведённых моментов инерции и жесткостей следующих элементов привода:

а/ выпускного вала, состоящего из полого цилиндра с моментом инерции  $J_B^I$ , элементов зубчатых муфт  $J_B^{II}$  и цапф валов  $J_B^{III}$

б/ мотального вала, включающего основные элементы выпускного вала  $J_M^I$ , бабин намотки  $J_M^{II}$  и зубчатых колёс  $J_M^{III}$ .

в/ зубчатых колёс привода  $J_{ЗК}$

г/ звездочек цепной передачи привода  $J_{ЗВ}$

д/ двух валов верхнего редуктора с жесткостями  $C_1$  и  $C_2$

ж/ зубчатой пары с жесткостью  $c$

Элементы выпускного вала имеют относительно простые формы: полые валы выпуска, паковки, сплошные валы редукторов, цилиндры либо более сложные ступенчатые фигуры, состоящие из простых (зубчатые колёса и элементы муфт, цапфы валов). Ниже приводятся формулы для определения основных инерционно-жесткостных параметров привода выпускных валов.

Приведённый момент инерции полого цилиндра определится формулой:

$$J'_B = \frac{\rho d^4 \gamma l}{32g} (1 - \alpha^4)$$

где  $l$  – длина вала  $\alpha = \frac{d_1}{d_2}$ ,  $d_2$ ,  $d_1$  – соответственно наружный и внутренний диаметры вала.

Для сложных элементов зубчатых муфт момент инерции определяется суммой моментов инерций отдельных  $n$  ступеней:

$$J_B'' = \sum_{j=1}^n J_j''$$

Для моторного вала момент инерции ста паковок с учётом приведения его к валу I запишется из условия равенства кинетических энергий:

$$J_{np} = J_{пак} \left( \frac{1}{u_{общ}} \right)^2$$

где  $J_{пак}$  момент инерции паковок,  $U_{общ}$  - общее передаточное число от вала приведения I до оси паковки.

При определении приведённых моментов инерции зубчатых колёс, учёт моментов инерции валов проводился путём распределения 1/3 момента инерции вала по обоим их концам.

При определении податливостей системы использовались формулы:

1. Для валов на кручение:

$$e_k = \frac{32}{\pi G} \frac{1}{d^4}$$

где L –длина вала, d-диаметр вала.

Суммируемая с податливостью  $e_k$  на кручение податливость соединении вал – ступица:

$$e_{ш} = \frac{K_{ш}}{d_1^2 l h z}$$

где  $d_1$  - диаметр соединения, l - длина соединения , h , z – параметры и число шпонок.

Коэффициент  $K_{ш}$  для призматических шпонок выбирается равным  $6,4 * 10^{-5}$

Податливость зубчатой передачи равна:

$$e_{пз} = K_3 \frac{1}{b R^2 \cos^2 \alpha}$$

где b - ширина колеса, R -радиус начальной окружности,  $\alpha$  – угол зацепления

Суммируемые с податливостью  $e_k$  на кручение податливости соединений вал – ступица и зубчатой передачи, равны:  $K_{ш} = 6,4 * 10^{-5}$ ,  $K_3 = 3.6 * 10^{-5}$

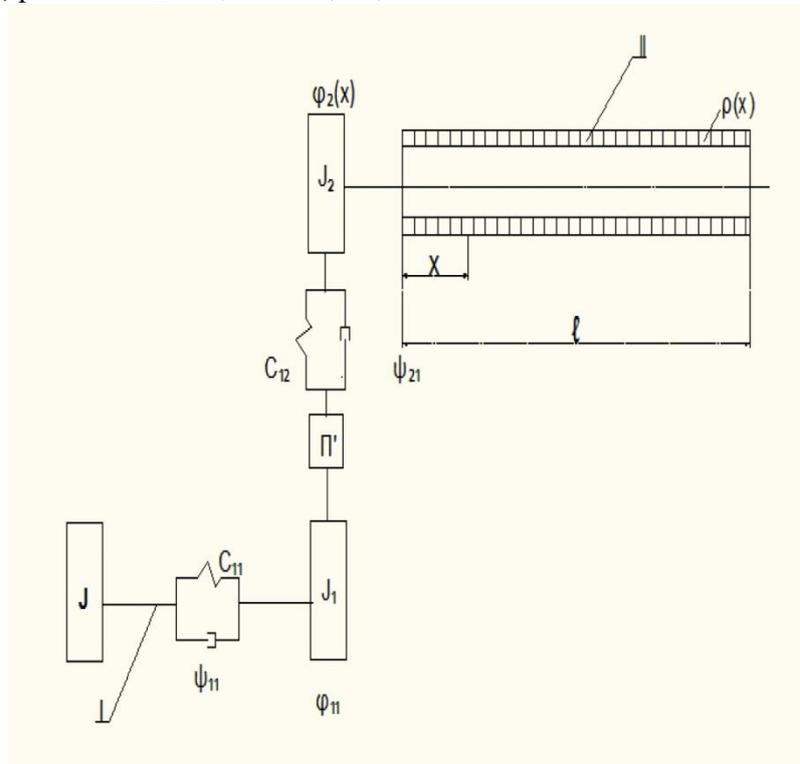


Рис. 1 Динамическая модель механизма выпускных валов, включающего вал с распределенными параметрами.

Приведенные формулы служат основой для расчёта инерционно-жесткостных параметров привода. При выборе динамической модели проводилась общая оценка параметров привода выпускных валов путём сравнительной оценки величин приведённых моментов инерции элементов, а также величин податливостей привода.

На рисунках 1 и 2 представлены две динамические модели механизма. Обе модели включают выпускные валы в виде элементов с распределёнными параметрами при равномерной по длине вала интенсивности распределения инерционного момента  $p(x)$ .

При этом предполагается, что расположенные от электрического двигателя отброшенные сосредоточенные моменты вращаются равномерно, то есть  $\Phi_{11} = \text{const}$ , функции передаточного отношения зубчатых передач привода приняты нелинейными (1), что позволяет выявить влияние ошибки  $\Phi_{\Sigma}$  изготовления и монтажа привода на изменение угловой координаты  $\Phi(x, t)$  вала выпуска.

Первая динамическая модель /рис.1/ составлена на основании предположения о наиболее существенном влиянии суммарных ошибок изготовления и монтажа, приведенных к открытой зубчатой паре 4 /рис.1/, непосредственно передающей вращение выпускному валу. В модели учтена её жесткость  $C_{21}$  и коэффициент диссипации  $\Psi_{21}/1$ .

Величина первой передаточной функции для модели, представленной на рис.1 определится:  $P' = (\delta\varphi_{\max\Sigma} / r) \sin(\omega t + \gamma)$ . При выборе динамической модели:  $q_1(t), q_2(t)$  - упругие деформации элемента, верхнего редуктора;  $q(x, t)$  - угловая координата вала II. Вторая динамическая модель, представлена на рис. 2, где:  $J_1$  - приведённые моменты инерции звёздочек цепной передачи верхнего редуктора и два разветвления, отображающие выпускные валы и элементы верхнего редуктора. Благодаря подробному представлению учтены суммарные погрешности изготовления и монтажа цепной и зубчатой передач, учтена передача крутящего момента двум валам одновременно. На рис.2:  $J_1$  - приведённые моменты инерции звёздочек цепной передачи, верхнего редуктора и два разветвления, отображающие выпускные валы и элементы верхнего редуктора. На рис.2:  $P(x)$  - интенсивность распределения момента инерции выпускного вала,  $\Pi_1 \Pi_2 \Pi_3 \Pi_4$  - передаточные функции соответственно цепной передачи, закрытых зубчатых передач редуктора и открытой зубчатой пары. Разработанные динамические модели позволяют изучить изменение угловой координаты  $q, (x, t)$  во времени с целью уменьшения амплитуды колебаний выпускного вала.

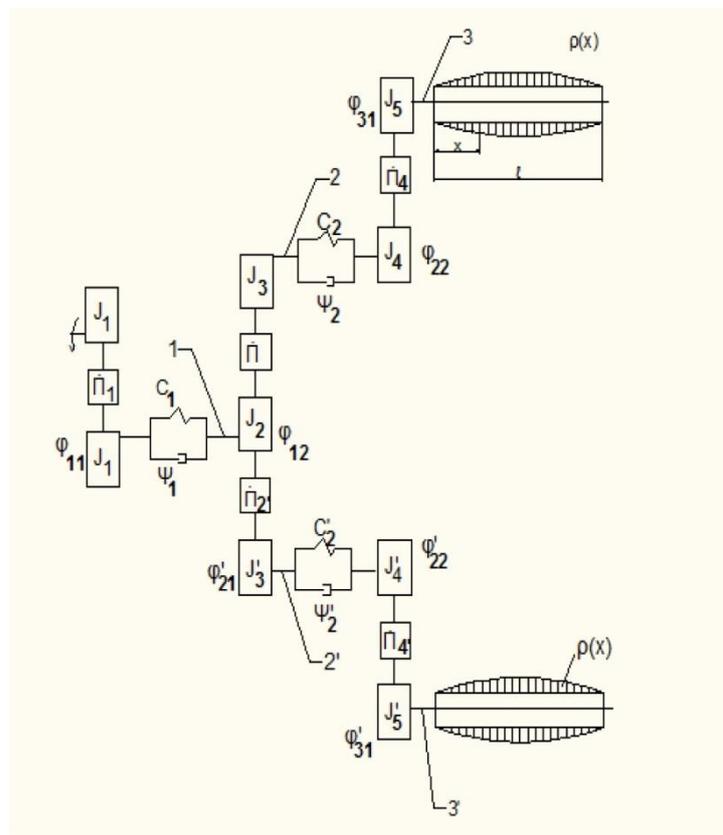


Рис. 2 Динамическая модель механизма выпускных валов, включающего 2 вала с распределенными параметрами

1. На основании анализа инерционно-жесткостных параметров разработаны динамические модели механизма выпускных валов.
2. Предложенная методика расчета основных инерционно-жесткостных характеристик привода выпускных валов позволяет составить динамические модели и произвести частотный анализ механизма.

**Список литературы**

1. Вульфсон И.И. Динамика цикловых машин. СПб.: Политехника, 2013. 425с.

05.17.01

**М.А. Куликов, С.Г. Козлов, О.Р. Середкина**

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,  
Пермь, kulikov.74@list.ru

## **ОТЛОЖЕНИЕ НЕРАСТВОРИМЫХ СОЛЕЙ НА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ОБОРУДОВАНИИ ПРОИЗВОДСТВА ХЛОРИДА КАЛИЯ**

*В статье рассмотрены причины отложения нерастворимых солей на технологическом оборудовании калийного производства применительно к условиям сильвинитовой обогатительной фабрики ОАО «Уралкалий». Для снижения интенсивности процесса солеотложения предложен цинковый комплекс ОЭДФ. Выданы рекомендации для определения оптимального расхода реагента.*

*Ключевые слова: процесс солеотложения, сильвинитовая обогатительная фабрика, комплексоны и комплексонаты, цинковый комплекс ОЭДФ, расходная норма реагента.*

В процессе работы отделения регулируемой вакуум-кристаллизации сильвинитовой обогатительной фабрики четвёртого Березниковского калийного производственного рудоуправления (РВК СОФ БКПРУ-4) происходит отложение нерастворимых солей на отдельных участках технологического оборудования. Образование солевых отложений является причиной снижения производительности, повышает аварийность в отделении, нарушает работу приборов контроля и регулирования.

В промышленности используют разнообразные способы снижения интенсивности солеотложений на поверхностях технологического оборудования, из которых обработка воды реагентами (комплексонами и комплексонатами) – наиболее применяемый способ [1-3].

Обработка воды реагентами в системе промышленной водоподготовки позволяет исключить как стадию умягчения воды (ингибирование процесса накипеобразования), так стадию удаления агрессивных газов (ингибирование процесса коррозии).

Комплексоны представляют собой сложные органические вещества, чаще всего полимерной природы, содержащие анионные, катионные или неионогенные функциональные группы: карбоновые, гидроксильные, сульфоновые, фосфоновые. В промышленных условиях наиболее широко применяются фосфоновые соединения: 1–гидроксиэтилидендифосфоновая кислота (ОЭДФ), нитрилтриметиленфосфоновая кислота (НТФ), их соединения с металлами – фосфонаты [3].

Из большого количества используемых в промышленности реагентов наибольшее внимание следует уделить цинковому комплексу ОЭДФ. Это соединение является и достаточно эффективным ингибитором коррозии. Так как практически всё оборудование калийных обогатительных фабрик работает в агрессивных средах, этот реагент приобретает особую актуальность для калийной промышленности.

Предварительный анализ технологических потоков показывает, что наиболее подверженными солеотложению являются поверхностные конденсаторы, лопатки рабочих колёс насосов, трубопроводы и запорная арматура.

Это может происходить по следующим причинам:

- 1) соли кальция имеют отрицательный температурный коэффициент растворимости;
- 2) температурные перепады во время транспортировки по трубопроводам и, в частности, процесс нагрева щелоков влекут за собой кристаллизацию нерастворимых солей на теплообменном оборудовании и трубопроводах.

Данное мнение основывается на том, что оборотные воды содержат в большей степени сульфаты и в меньшей – карбонаты кальция, которые накапливаются в цикле, не переходя в

кристаллизат готового продукта. Непрерывно накапливаясь в циклическом водообороте, по мере повышения их концентрации, соли кальция неизбежно будут стремиться к осаждению, особенно в местах, благоприятных с точки зрения процесса инкрустации. При этом отдельное внимание следует уделить участкам технологической схемы, где могут образовываться застойные зоны. Вместе с тем, необходим и более детальный анализ причин накопления карбоната кальция в оборотной минерализованной воде.

Оборотная минерализованная вода используется для конденсации растворного пара второй части регулируемой вакуум-кристаллизационной установки. Смесь воды и конденсата возвращается в отделение оборотной минерализованной воды для охлаждения.

Для определения возможности применения цинкового комплекса ОЭДФ в условиях сильвинитовой обогатительной фабрики отобраны и проанализированы образцы отложений из трубопроводов нагнетания насосов и отложений с внешней стороны труб теплообменника. Анализ выполнялся в соответствии с ГОСТ 26449.1-85, ГОСТ 26449.4-85, ГОСТ 22001-87. Результаты анализа отражены в таблице 1.

Данные табл. 1 показывают, что основную массу отложений из трубопроводов нагнетания насосов составляет карбонат кальция, потери массы при прокаливании пробы весьма значительны (более 40 %).

Анализируя полученные данные, можно предположить, что такие потери массы при прокаливании связаны с присутствием соединений щелочных, щелочноземельных и некоторых других металлов, которые разлагаются при температурах, значительно более низких, чем температура прокалывания пробы (900 °С). Кроме того, в отложениях содержатся органические включения.

Таблица 1 – Результаты анализа отложений

Определяемый показатель	Результат измерения, единицы измерения	
	отложения из трубопроводов нагнетания насосов	отложения с внешней стороны труб теплообменника
Потери массы при прокаливании	43,7 %	1,12 %
SiO <sub>2</sub>	1,3 %	-
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0,2 %	44,11 %
Ca <sup>2+</sup>	34,0 %	17,93 %
Mg <sup>2+</sup>	1,0 %	-
CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	56,3 %	-
Fe <sup>3+</sup>	0,7 %	0,24 %
K <sup>+</sup>	0,2 %	0,03 %
Na <sup>+</sup>	0,2 %	0,27 %
Нерастворимый в соляной кислоте остаток	1,4 %	35,26 %

Состав отложений с трубок теплообменника кардинально отличается от состава отложений с трубопроводов нагнетания насосов. В данном случае основными компонентами отложений являются сульфат кальция и нерастворимый остаток, представляющий собой силикатные породы различного состава. По нашим предположениям – это, в основном, диоксид кремния.

Причиной появления указанных отложений, на наш взгляд, является попадание маточного раствора из трубного пространства в межтрубное в результате разрушения труб коррозионными процессами (рис. 1).

Кроме того, по нашему мнению существующая система подготовки промышленной воды не обеспечивает требуемую степень очистки воды от песка и илистых отложений.



Рис. 1 – Отложения на внешней поверхности трубок теплообменника

Основным источником внесения солей является минерализованная вода оборотного цикла, в которой в процессе циркуляции накапливаются соли жёсткости, а также промышленная вода. Состав указанных вод регулярно контролируется, поэтому его можно считать известным и сравнительно постоянным (табл. 2). В этой связи логичным будет связать объёмы вносимого цинкового реагента и его концентрацию с постоянной (известной) концентрацией и переменными (измеряемыми) объёмами минерализованной и промышленной воды.

Таблица 2 – Среднее содержание солей жёсткости в промышленной и минерализованной воде.

Образец	Содержание солей жёсткости, ммоль/дм <sup>3</sup>	Содержание солей жёсткости, г/дм <sup>3</sup>
Промышленная вода	2,49	$9,96 \times 10^{-2}$
Минерализованная вода	10,43	$4,172 \times 10^{-1}$

При промышленных испытаниях следует задавать концентрацию цинкового комплекса в подаваемом растворе такой, чтобы средний расход раствора был равен половине максимального расхода, измеряемого на трубопроводе подачи раствора реагента.

Оптимальный расход раствора цинкового комплекса ОЭДФ рассчитывается по формуле:

$$Q_{p_{opt}} = 0,5 \cdot Q_{p_{max}},$$

где  $Q_{p_{max}}$  – максимальный измеряемый расход в трубопроводе подачи реагента, содержащего цинковый комплекс ОЭДФ, м<sup>3</sup>/ч.

Концентрация цинкового комплекса ОЭДФ в воде, подаваемой на подпитку системы, рассчитывается по формуле:

$$C_{подп} = Q_p \cdot C_{инг} \cdot S_p / S_{инг} \cdot (Q_m + Q_n + Q_p),$$

где  $Q_p$  – расход реагента, содержащего цинковый комплекс ОЭДФ, м<sup>3</sup>/ч;

$C_{инг}$  – содержание цинкового комплекса ОЭДФ в исходном растворе реагента, кг/м<sup>3</sup>;

$S_p$  – концентрация раствора цинкового комплекса ОЭДФ после разведения в баке, %;

$S_{инг}$  – концентрация исходного раствора цинкового комплекса ОЭДФ, %;

$Q_m$  – расход минерализованной воды, м<sup>3</sup>/ч;

$Q_p$  – расход промышленной воды, м<sup>3</sup>/ч.

Концентрация цинкового комплекса ОЭДФ в оборотном цикле будет стремиться к концентрации в подпитке. Таким образом, концентрацию цинкового комплекса ОЭДФ в подпитке следует поддерживать на уровне желаемой концентрации.

Тогда оптимальную концентрацию цинкового комплекса в растворе можно найти по формуле:

$$S_p = C_{обор} \cdot S_{инг} \cdot (Q_m + Q_p + Q_{pонт}) / Q_{pонт} \cdot C_{инг}$$

где  $C_{обор}$  – требуемая концентрация цинкового комплекса в циркулирующем растворе, кг/м<sup>3</sup>.

Данные лабораторных исследований (средние значения пяти опытов) позволяют проследить зависимость интенсивности солеотложения от концентрации ингибитора в циркулирующем растворе (таблица 3).

Таблица 3 – Зависимость интенсивности солеотложения от концентрации ингибитора

Концентрация ингибитора, мг/дм <sup>3</sup>	Снижение интенсивности солеотложений, %
0	0
2	53,5
3	59,9
5	60,4

Из данных табл. 3 следует, что увеличение концентрации ингибитора с 3 до 5 мг/дм<sup>3</sup> незначительно влияет на интенсивность процесса солеотложения. Это позволяет рекомендовать рабочую концентрацию ингибитора в системе 3 – 5 мг/дм<sup>3</sup>.

При проведении промышленных испытаний следует ожидать снижения эффективности действия реагента, связанного с нестабильностью материальных потоков, как на стадии приготовления рабочего раствора, так и в процессе его дозировки в технологический цикл. В связи с этим рекомендуется увеличить концентрацию цинкового комплекса в циркулирующей воде ( $C_{обор}$ ) до 7 – 10 мг/дм<sup>3</sup>. Работа на концентрациях реагента выше 10 мг/дм<sup>3</sup> может повлечь за собой интенсивное разрушение известкового налёта в аппаратах и трубопроводах и, как следствие, забивание образовавшимся осадком оборудования и приборов.

В процессе работы с противонакипным реагентом рекомендуется учитывать значения общей жёсткости минерализованной и промышленной воды при расчёте концентрации для приготовления новых порций реагента. Также следует корректировать величину задания расхода реагента в трубопроводе его подачи.

### Список литературы

1. Сборник материалов конференции «Современные технологии водоподготовки и защиты оборудования от коррозии и накипеобразования». – Москва, 2003. – 137 с.
2. Сборник докладов IV конференции «Современные методы водоподготовки и защиты оборудования от коррозии и накипеобразования». – Москва, 2011. – 102 с.
3. *Потапов С.А., Дриккер Б.Н., Цирульникова Н.В.* О применении цинкового комплекса ОЭДФ в системах теплоснабжения и горячего водоснабжения. – Энергосбережение и водоподготовка, 2004. № 3. С. 57 – 60.

05.13.01

**Г.И. Лавров к.т.н., И.Г. Лавров к.т.н.**

ФБГОУ ВПО Тюменский государственный нефтегазовый университет,  
г. Тюмень, lavrov@tsogu.ru

### **АВТОМАТИЗАЦИЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УРОВНЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ В СКВАЖИНЕ ДЛЯ ТРЕХМЕРНЫХ ЦИФРОВЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ**

*Разработаны алгоритмы, позволяющие автоматизировать построение поверхности водонефтяного контакта в скважинах для цифровых трехмерных геологических моделей. Составлена программа для определения и корректировки уровня технологических параметров в скважине. Программа апробирована при построении геологической модели трех пластов с фондом скважин более 1000.*

Ключевые слова: *трехмерное моделирование, водонефтяной контакт, алгоритм.*

Для разведки и разработки нефтяных и газовых месторождений в настоящее время широко используются трехмерные цифровые геологические модели (3D модели) [1]. Построение 3D моделей является составляющей технологических процессов обоснования бурения скважин, составления планов разработки месторождений углеводородов, включая оценку экономической эффективности предлагаемых геолого-технологических мероприятий. Создание 3D моделей решает следующие задачи:

- подсчет запасов углеводородов,
- планирование (проектирование) скважин,
- оценка неопределенностей и рисков,
- подготовка основы для гидродинамического моделирования.

При построении трехмерных геологических моделей с большим фондом скважин необходимо значительное время затратить на определение положения отметок водонефтяного контакта (ВНК) [2] с целью предупреждения конусообразования. Для первоначального построения ВНК в модели требуется визуализировать загруженные в проект скважины в окне корреляции и вручную определить отметки на основе кривой характера насыщения. Для сокращения временных затрат нами был разработан алгоритм, позволяющий определять положение поверхности водонефтяного контакта в скважинах на основе загружаемой в трехмерную геологическую модель таблицы результатов интерпретации геофизических исследований скважин (таблицы РИГИС), разработана программа реализации этого алгоритма. Программа составлена на языке программирования Delphi [3]. Алгоритм работы программы представлен на блок-схеме (рис. 1).

Для работы программы необходима таблица, включающая в себя следующую информацию:

- название скважин;
- название пластов;
- кровля проницаемого пропластка;
- подошва проницаемого пропластка;
- характер насыщения;
- фильтрационно-емкостные свойства (ФЕС).



Отметки определяются следующим образом: для скважин в чистонефтяной зоне (ЧНЗ) положение ВНК определяется, как подошва нижнего пропластка. Для скважин в водонефтяной зоне (ВНЗ) контакт устанавливается в середине между подошвой нефтенасыщенного коллектора и кровлей водонасыщенного.

Результатом работы программы является текстовый файл, содержащий название скважины и отметка водонефтяного контакта в ней. Этот файл можно загрузить в программу для трехмерного геологического моделирования (например, RMS компании ROXAR) и использовать отметки для построения поверхности ВНК.

Дополнительно для анализа поверхности ВНК в результате работы программы формируются три текстовых файла: первый - список скважин, находящихся в ЧНЗ залежей, второй - в ВНЗ, третий - интервал возможной корректировки отметок ВНК скважин в ВНЗ.

Во многих случаях при построении модели известно среднее значение уровня водонефтяного контакта на участке моделирования ( $ВНК_{ср}$ ), поэтому целесообразно устанавливать отметки ВНК в скважинах максимально близко к этому значению, сохраняя в то же время соответствие их загруженному РИГИС. Это в значительной степени сократило бы трудовые и временные затраты на последующую корректировку отметок для выравнивания поверхности ВНК.

Для решения этой задачи был разработан алгоритм и доработана программа корректировки положения отметок ВНК в скважинах (рис 2). При реализации этого алгоритма используется информация файлов, сгенерированных при реализации первого алгоритма. Кроме того, необходима информация о среднем значении уровня водонефтяного контакта на участке моделирования и таблиц абсолютных отметок ВНК в скважинах, соответствующих относительным отметкам, рассчитанным ранее. Данные таблиц можно выгрузить из программы для трехмерного геологического моделирования (например, RMS компании ROXAR).

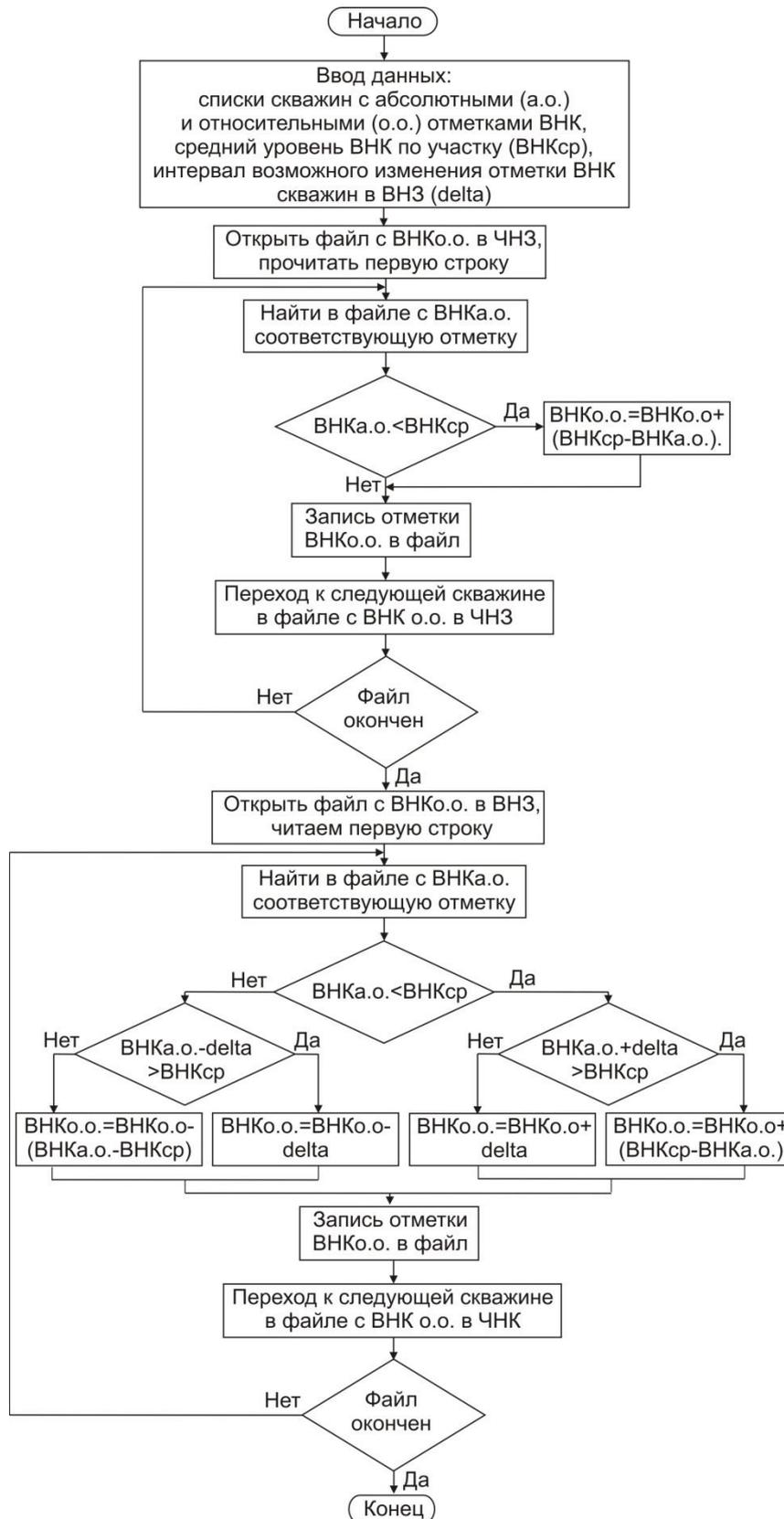


Рис 2– Блок-схема алгоритма корректировки положения отметок водонефтяного контакта в скважинах

Алгоритм корректировки положения отметок ВНК предусматривает следующее.

Для скважин в ЧНЗ положение ВНК устанавливается на подошве нижнего пропластка, если она ниже ВНК<sub>ср</sub>, в ином случае ВНК определяется на отметке ВНК<sub>ср</sub>.

Для скважин в ВНЗ, если  $VHK_{cp}$  попадает в интервал между подошвой нижнего нефтенасыщенного коллектора и кровлей верхнего водонасыщенного, контакт устанавливается на отметке  $VHK_{cp}$ . Отметка устанавливается на кровле верхнего водонасыщенного пропластка, если она выше  $VHK_{cp}$ . Отметка ВНК устанавливается на подошве нижнего нефтенасыщенного пропластка, если она ниже  $VHK_{cp}$ .

Построенная на основе полученных отметок поверхность не является окончательной и может служить основой для оценки положения ВНК в залежах, дальнейшего анализа структуры пласта, корректировки отметок ВНК в скважинах, определения необходимости внесения поправок в инклинометрию скважин и т.д.

Разработанная программа была апробирована на модели трех пластов с фондом скважин более 1000. Автоматизация процесса определения положения отметок ВНК в скважинах позволит снизить трудоемкость построения поверхностей водонефтяного контакта в трехмерных геологических моделях с большим фондом скважин и сократить время на построение геологической модели.

### *Список литературы*

1. *Закревский К.Е.* Геологическое 3D моделирование. – М.: ООО "ИПЦ "Маска", 2009. – 376 с.
2. *Телков А.П., Грачев С.И.* Гидромеханика пласта применительно к прикладным задачам разработки нефтяных и газовых месторождений. - Тюмень, ТюмГНГУ, 2009. – 240 с.
3. *Культин Н.Б.* Delphi в задачах и примерах. 3-е изд., перераб. и доп. – СПб: BHV, 2012. – 288 с.

05.07.05

**А.И. Ляшенко, А.А. Матушкин**

ФГБОУ ВПО «Московский авиационный институт»  
(национальный исследовательский университет),  
г. Москва, radon@inbox.ru

## МОДЕЛИРОВАНИЕ КИНЕМАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК УСТРОЙСТВА ДОСТАВКИ ПОЛЕЗНОЙ НАГРУЗКИ С УЧЁТОМ ЕГО УПРУГИХ СВОЙСТВ

В статье описана методика численного расчёта кинематических характеристик устройства доставки с отцепляющимся грузом, приводится сравнение полученных кинематических характеристик с учётом и без учёта упругих свойств элементов конструкции, а также параметров отделяющегося груза. Оценивается влияние различных способов имитации соединения груза с устройством доставки полезной нагрузки. На основе приведённых результатов приводятся рекомендации по кинематическому анализу для устройства разделения.

Ключевые слова: Устройство разделения, кинематические характеристики, упругие свойства тела.

Устройство доставки полезной нагрузки предназначено для отделения груза, закреплённого на его консоли по команде. Целью проведенного расчёта являлось получения параметров движения груза в момент работы устройства расцепления до и после отделения груза, а так же параметры работы устройства разделения с учётом упругих свойств элементов.

Геометрическая модель устройства доставки полезной нагрузки в исходном состоянии представлена на рис.1, а в момент расцепления на рис.2.

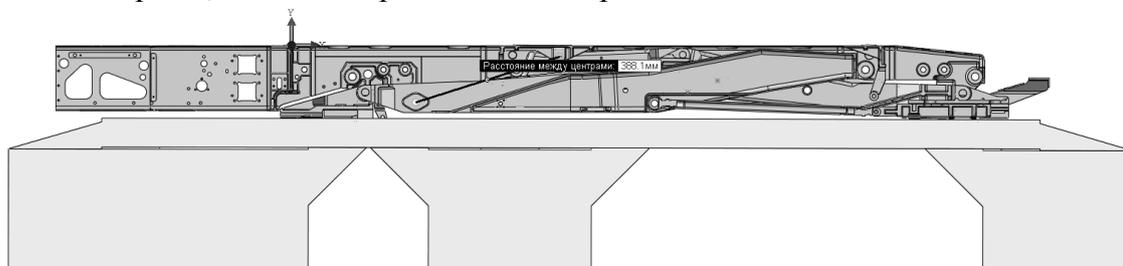


Рис.1 Устройство расцепления в исходном состоянии

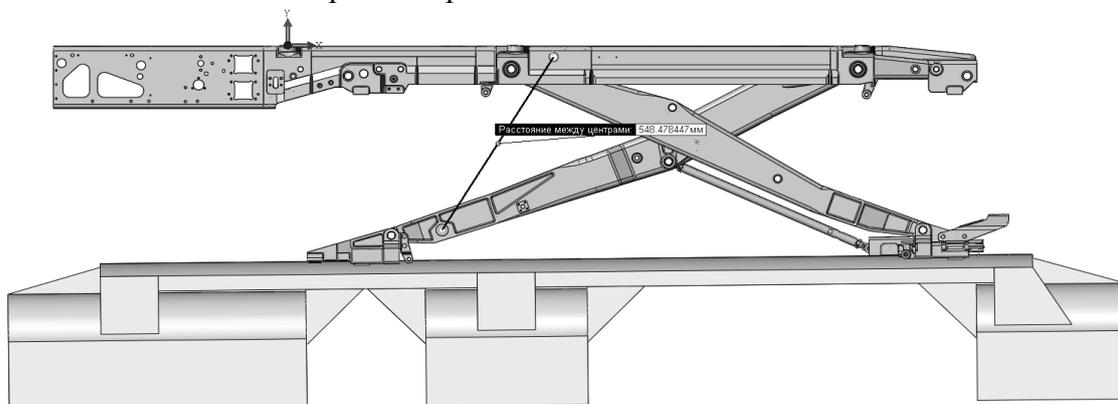


Рис.2 Устройство расцепления в момент расцепления

Предлагаемая методика численного моделирования процесса работы устройства разделения в программном продукте ANSYS включает в себя 3 модуля: расчёт кинематических характеристик абсолютно жёсткого тела; расчёт кинематических и

прочностных характеристик деформируемого тела; расчёт прочностного состояния в отдельно взятый момент времени.

Особенностью моделирования данной задачи является отделение груза от устройства доставки полезной нагрузки, что налагает дополнительные требования к моделированию.

При решении уравнений в ANSYS Rigid Dynamics все тела принимались абсолютно жёсткими, поэтому сетка конечных элементов не строилась, итоговые уравнения решались методом Рунге-Кутты. При этом вследствие отсутствия конечно-элементной сетки и особенностей алгоритма решения, расчёт производился на порядки быстрее, чем при использовании сеточных моделей. По этим причинам, перед расчётом конструкции с учётом жесткости элементов, проводился расчёт кинематики устройства расцепления, который позволил быстро провести анализ кинематики и устранить ошибки в наложении граничных условий.

Для проведения кинематического анализа необходимо было задать соединения между деталями устройства доставки полезной нагрузки. При этом каждое соединение убирает одну или несколько степеней свободы или создаёт дополнительную жёсткость.

Использование программного продукта ANSYS Workbench, а в частности, модуля Transient structural позволило в одном расчёте сочетать как абсолютно жёсткие тела, так и деформируемые тела.

Использование при расчёте деформируемых тел накладывает особые ограничения, как на саму модель, так и на граничные условия. Примеры расчёта деформируемых тел в кинематическом анализе, но без разделения приводятся в [1].

При решении задач, содержащих нелинейности (в данном случае деформируемые тела плюс контактные соединения), используется итерационный алгоритм для решения системы нелинейных уравнений в процессе приложения нагрузки. Его функция состоит в корректировке параметров, описывающих состояние системы, после каждого шага увеличения нагрузки.

Для решения описанной задачи нахождения кинематических характеристик устройства необходимо сделать деформируемыми только те элементы, которые существенно влияют на перемещения груза.

Для сравнения ниже приведено время расчёта трёх различных вариантов катапультного устройства:

- чистая кинематика 6.164 сек (0ч.0мин. 6,1 сек),
- кинематика + пары трения – 1128.34 сек (0ч.18мин.0,48сек),
- деформируемые элементы - 34784.000 сек (9ч.39мин.44сек).

Для оптимизации расчета с использованием деформируемых тел необходимо:

- максимально уменьшить размерность сетки для приемлемого времени расчёта;
- по возможности заменить реальные элементы конструкции упрощёнными (тяги на балочные модели, тонкостенные элементы оболочечными моделями и т.д.);
- максимально упростить трёхмерные тела (убрать фаски, скругления, отверстия и т.д.);
- по возможности оставлять тела недеформируемыми, если они существенно не влияют на динамику модели.

Поскольку одной из отличительных особенностей рассматриваемой конструкции является отделение груза от устройства расцепления, то следует более подробно рассмотреть место контакта груза с устройством сбрасывания.

Существует несколько способов имитации соединения груза с устройством сбрасывания. В рассматриваемом случае, без изменения геометрии тел, возможно использование двух способов: использование контактных пар, использование кинематических связей. Каждый из представленных способов имеет свои плюсы и минусы. При использовании контактных пар несомненным плюсом является возможность моделирования схода груза с направляющих, возможность учёта сил трения и расчёт изменения инерции тела в момент схода груза. Недостатком же применения данного метода служит более чем стократное увеличение времени расчёта, сложность отладки сходимости решения и возможный «дребезг» (т.е.

многократные столкновения контактирующих поверхностей) в местах контакта, что приводит к некоторым нелинейностям в полученных характеристиках движения.

Использование кинематических связей позволяет многократно сократить время расчёта, избежать проблем с «дребезгом» груза, что приводит, в свою очередь, к отсутствию нелинейностей в характеристиках движения. Недостатками данного метода является невозможность разделения груза и устройства сбрасывания, со всеми сопутствующими последствиями.

Для того чтобы проиллюстрировать различие в способах соединения груза и катапультирующего устройства были проведены расчёты, с применением данных способов соединения (Рис 3).

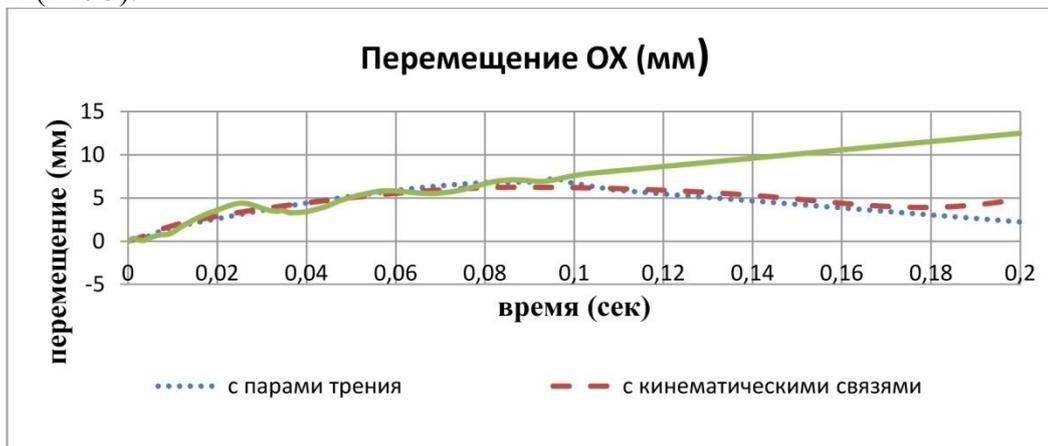


Рис.3 Перемещение груза вдоль оси ОХ.

Как видно из приведённого выше рисунка, графики скоростей до момента отделения груза (0,1 сек.) практически идентичны, хорошо виден «дребезг» груза, в то же время, после момента разделения груза графики кардинально отличаются, в связи с тем, что при использовании контактных соединений произошёл отрыв груза от устройства расцепления и начался свободный полёт, в то же время при применении кинематических пар отрыв груза не происходит, и он продолжает движение как связанное тело.

Проведенные расчеты показали, что для моделирования поведения устройства до момента отделения груза от катапульты вполне допустимо использовать соединение при помощи кинематических связей, что позволяет получить как более плавные и корректные данные, так и многократно ускорить процесс расчёта.

В расчете с использованием деформируемых тел значительно заметнее проявляется «дребезг» контактов, усугубляемый перемещениями толкателя вследствие деформации и прогибов тяг.

#### Выводы:

- Расчёт устройства расцепления, с учетом, что все тела деформируемые, займёт непропорционально много времени, в связи с чем необходимо упрощать геометрическую модель, что в свою очередь ведёт к увеличению человеко-часов рабочего времени расчётчика.

- До времени разделения груза от катапульты принципиальных различий между расчётами кинематики, кинематики с контактами и кинематики с деформируемыми телами нет.

- Использование тел с контактными поверхностями и деформируемыми телами вносит «дребезг» в поведение груза. «Дребезг» появляется как следствие несовершенства геометрической модели, так и с упрощённым учётом преобразования кинетической энергии в местах контактов. Использование же деформируемых тел приводит к ещё большему увеличению «дребезга» в связи с учетом деформирования толкателя и тяг, а так же их колебаний.

- После проведения кинематического расчёта его результаты могут быть переданы в модуль для расчёта прочности. Отличие такого подхода от расчёта устройства с

деформируемыми элементами в том, что изменение жёсткости тела не влияет на кинематику, рассчитывать можно отдельные узлы, а не всё устройство сразу и расчёт может быть проведен дискретно для каждого момента времени (может быть проведено множество расчётов, но для каждого расчёта используется только один определённый момент времени).

### ***Список литературы***

1. *Е.А. Канунникова, А.Д. Беленький, В.Н. Васильев и др.* Новые возможности создания динамической модели управляемого космического аппарата с учётом упругих свойств и изменяемости конструкции, Вопросы электромеханики т.127, 2012г. с 21-26.
2. ANSYS, Inc. ANSYS Theory Guide / ANSYS, Inc. // Release 14.5. – 2012 ([www.ansys.com](http://www.ansys.com))

05.22.10

**Е.И. Макаров**

Тюменский государственный нефтегазовый университет,  
Кафедра сервиса автомобилей и технологических машин,  
г. Тюмень, egor\_89\_91@mail.ru

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА МОТОРНОГО МАСЛА

*В статье рассматривается вопрос влияния температуры на ресурс моторного масла. Для прогнозирования ресурса необходимо знать закономерности изменения температуры двигателя. Разработана имитационная модель температуры двигателя, проведен эксперимент, получены распределения температур при различных режимах работы. Предложен подход к моделированию распределения температур двигателя.*

Ключевые слова: *температурный режим двигателя; ресурс моторного масла; распределение температуры двигателя; сезонные условия.*

Установление и использование технически правильных и экономически целесообразных нормативов является одним из важнейших путей снижения расхода материальных ресурсов [1, 2, 3, 7], в том числе и моторных масел.

В процессе работы моторные масла подвергаются воздействию различных факторов, таких, как высокая температура, интенсивные контакты с кислородом воздуха и с продуктами сгорания топлива; каталитическое воздействие металлов и сплавов; изменение скоростного и нагрузочного режимов двигателя; техническое состояние двигателя и т.д. Кроме того, условия эксплуатации автомобилей изменяются по сезонам года [4, 5].

Действующая система технического обслуживания предусматривает корректирование периодичности замены моторного масла в зависимости от категории условий эксплуатации и климатического региона, в которых используется автомобиль. В то же время не учитывается вариация сезонных условий внутри регионов в течение всего года, хотя известно, что сезонные условия влияют на интенсивность старения моторного масла [4], в результате чего снижается эффективность технического обслуживания и увеличивается число отказов.

В процессе проводимых исследований выдвинута гипотеза о том, что ресурс моторного масла определяется его температурным режимом, который определяется температурой двигателя и зависит от режима работы, температуры окружающей среды, способов межсменного хранения автомобиля.

При создании модели ресурса моторного масла на первом этапе необходимо разработать модель температурного режима двигателя.

В качестве исходных данных для моделирования использовались следующие показатели:

время начало смены;

время в наряде, ч;

количество циклов «старт - стоп», ед.;

соотношение времени движения и времени стоянки;

температура воздуха, °С;

максимальная температура двигателя (температура открытия термостата), °С;

температура закрытия термостата, °С;

температура прогрева двигателя;

температура охлаждения двигателя.

Результаты моделирования представлены на рис. 1.

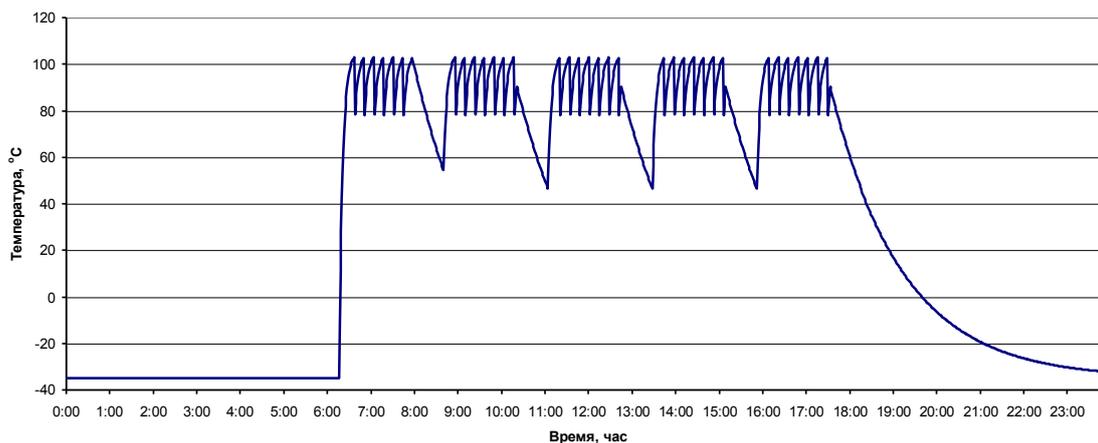


Рис.1 - Модель температурного режима двигателя (количество циклов – 5; соотношение времени движения и времени стоянки – 0,7)

Далее необходимо установить закономерности влияния температуры двигателя на температуру масла, а также температуры масла на интенсивности изменения показателей его качества и ресурс.

Для оценки изменения показателя качества за рассматриваемый отрезок времени можно использовать выражение

$$Y = Y_0 + \int_{t_0}^{t_{\text{дв.}}^{\text{max}}} y(t_{\text{дв.}}(T, t_0)) dt_{\text{дв.}},$$

где  $Y_0$  – начальное значение показателя качества;

$y$  – интенсивность изменения показателя качества;

$t_{\text{дв.}}$  – температура двигателя;

$t_0$  – температура окружающей среды;

$T$  – время.

При решении указанной задачи необходимо установить распределение температур в течение заданного интервала времени, например, в течение суток. Для этого проведен эксперимент на имитационной модели при разных режимах работы автомобиля и различной температуре окружающей среды.

Режим работы оценивался временем в наряде и соотношением времени движения и времени стоянки в течение смены.

Результаты эксперимента (фрагменты представлены на рис. 2, 3) показали, что законы распределения температуры в разных условиях существенно отличаются. Во-первых, они асимметричны, причем в одних случаях асимметрия положительная, в других – отрицательная.

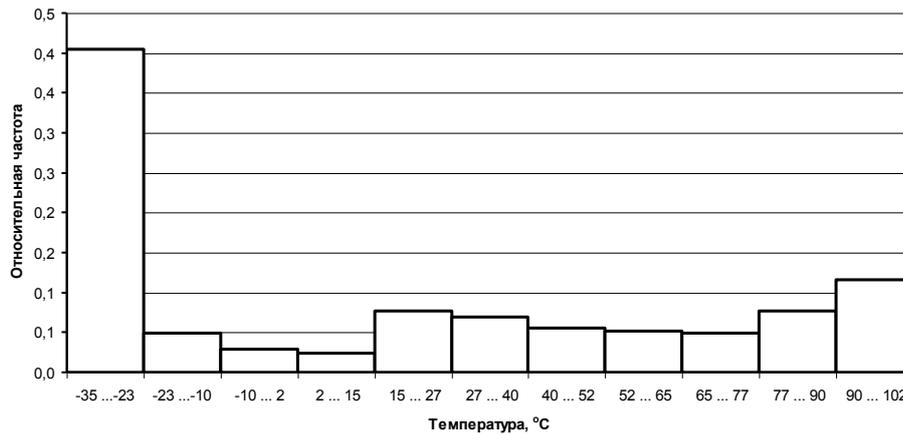


Рис. 2 - Распределение температуры двигателя (время в наряде 12 ч; соотношение времени движения и времени стоянки 0,7;  $t_0 = -35\text{ °C}$ )

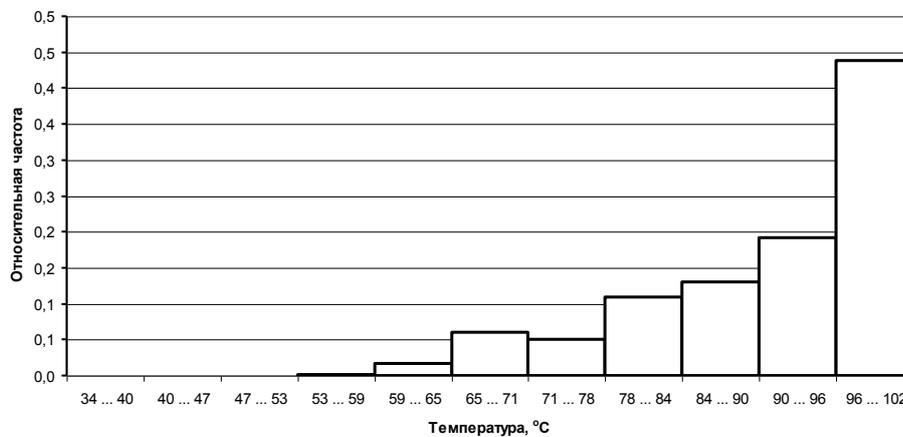


Рис. 3 - Распределение температуры двигателя (время в наряде 24 ч; соотношение времени движения и времени стоянки 0,8;  $t_0 = 30\text{ °C}$ )

Во-вторых, наибольшая вероятность реализации соответствует крайним значениям случайной величины.

В-третьих, описать эти распределения каким-либо известным законом затруднительно [6].

В этой связи принято решение при описании распределений температуры двигателя не постулировать закон, а аппроксимировать его полиномом (рис. 4), например

$$f(t_{\text{дв.}}) = 2 \cdot 10^{-6} t_{\text{дв.}}^6 - 7 \cdot 10^{-5} t_{\text{дв.}}^5 + 0,0013 t_{\text{дв.}}^4 - 0,0115 t_{\text{дв.}}^3 + 0,0551 t_{\text{дв.}}^2 - 0,1297 t_{\text{дв.}} + 0,117.$$

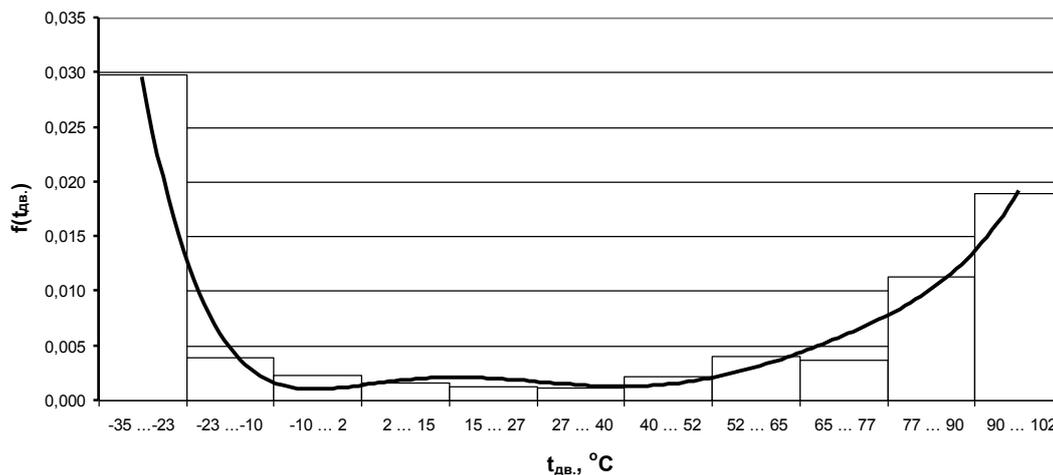


Рис. 4 - Аппроксимация распределения температуры двигателя полиномом 6-й степени

Такой подход обеспечивает достаточную точность при моделировании и сокращает трудоемкость расчетов.

Полученные результаты могут служить основой для моделирования ресурса моторного масла в различных режимах и условиях использования (в том числе сезонных) и установления на этой основе объективных норм расхода.

#### **Список литературы**

1. Захаров Н.С., Абакумов Г.В., Бугаев К.В., Быков Д.С., Ефимов В.В., Панфилов А.А. Актуальные проблемы эксплуатации автомобилей и транспортно-технологических машин в нефтегазодобывающем регионе // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 2006. – № 6. С. 77-79.
2. Захаров Н.С., Абакумов Г.В., Вознесенский А.В., Бачинин Л.В., Ракитин А.Н. Влияние сезонной вариации факторов на интенсивность расходования ресурсов при эксплуатации транспортно-технологических машин // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 2006. – № 1. – С. 75-79.
3. Захаров Н.С., Абакумов Г.В., Петров А.И. Проблема обеспечения надежности шин автомобилей, обслуживающих объекты нефтегазового комплекса // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 1998. – № 6. – С. 107.
4. Захаров Н.С. Влияние сезонных условий на процессы изменения качества автомобилей : дис. ... д-ра техн. наук. – Тюмень, 2000. – 525 с.
5. Захаров Н.С. Модель восстановления транспортной подсистемы производственных систем нефтегазового комплекса // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 1997. – № 6. – С. 157.
6. Захаров Н.С. Использование ТР-распределения при моделировании процессов изменения качества автомобилей // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 1999. – № 3. – С. 105.
7. Резник Л.Г., Захаров Н.С. Корректирование норм пробега шин // Автомобильный транспорт. – 1988. – № 11. – С. 29-31.

05.22.10

**А.Н. Макарова**

Тюменский государственный нефтегазовый университет,  
Кафедра сервиса автомобилей и технологических машин,  
г. Тюмень, makarova-a-n@mail.ru

### УТОЧНЕНИЕ ПЕРИОДИЧНОСТИ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ АВТОМОБИЛЕЙ В ЭКСПЛУАТАЦИИ

*В работе рассматривается вопрос определения периодичности технического обслуживания машин в случае, когда нет полной репрезентативной выборки наработок на отказ. Показано, что использование методик обработки усеченных выборок в данном случае не дает приемлемой точности. Для решения указанной задачи предлагается аппроксимировать зависимость вероятности отказа от наработки полиномом второй степени.*

Ключевые слова: периодичность технического обслуживания, наработка на отказ, закон распределения, вероятность отказа.

Поддержание парка в машин в технически исправном состоянии – актуальная проблема [4]. При использовании автомобилей в условиях Севера и Сибири процессы изменения технического состояния интенсифицируются [5, 6]. Вследствие этого вероятность безотказной работы и, соответственно, техническая готовность автомобилей может не соответствовать установленным требованиям. Причиной этого несоответствия могут быть тяжелые условия эксплуатации, не учтенные в методике корректирования нормативов [1, 7, 8]. Для того чтобы определить периодичность технического обслуживания (ТО), обеспечивающую заданную вероятность безотказной работы, необходимо знать вид и параметры закона распределения наработок на отказ. Получение указанной информации возможно только при наличии репрезентативной выборки наработок. Но в условиях, когда проводятся планово-предупредительные операции технического обслуживания, то есть большая часть отказов предупреждается, возможно получение только усеченной выборки.

Как показали результаты выполненных ранее исследований [2, 3], точность определения параметров распределения наработок на отказ с использованием методов обработки незавершенных испытаний при доле отказавших элементов менее 0,5 недостаточна для определения и корректирования нормативов. При корректировании на этой основе периодичности ТО доля отказавших элементов будет существенно меньше (0,1 ... 0,2), поэтому такой метод не обеспечит получение достаточной точности результата.

Таким образом, существует проблема корректирования нормативов периодичности ТО с учетом специфики условий эксплуатации. Ее решение известными методами [8, 9] не дает удовлетворительного результата.

Для разработки методики корректирования нормативов периодичности ТО в описанном случае задача формализована следующим образом:

в интервале наработок от  $L=0$  до  $L=L_{ТО}$  отказали  $m$  из  $N$  элементов;

наработки на отказ обозначены  $L_1, L_2, \dots, L_m$ ;

вероятность отказа в рассматриваемом интервале наработок составляет  $F(L_{ТО}) = \frac{m}{N}$ ;

фактическая вероятность отказа больше допустимой вероятности безотказной работы, предусмотренной системой ТО:  $F(L_{ТО}) > F_0$ ;

требуется определить значение  $L_{ТО}$ , при котором  $F(L_{ТО}) = F_0$ .

Для решения поставленной задачи определим вероятности отказа в точках  $L_1, L_2, \dots, L_m$  рассматриваемого интервала:

$$F(L_1) = \frac{1}{N}; F(L_2) = \frac{2}{N}; \dots; F(L_m) = \frac{m}{N}.$$

В общем виде  $F(L_i) = \frac{i}{N}$ , где  $i = 1 \dots m$ .

Далее рассмотрим  $m$  пар значений  $L_i$  и  $F(L_i)$ . Они отражают влияние наработки на вероятность отказа. Аппроксимируем эти значения уравнением регрессии. По полученному уравнению определим значение  $L_{TO}$ , при котором  $F(L_{TO}) = F_\delta$ .

Ключевой момент в решении этой задачи – выбор вида уравнения регрессии, адекватно аппроксимирующего исходные данные.

Предварительный анализ графического вида рассматриваемой зависимости в интервале  $0 \dots L_{TO}$ , ее асимптотики, а также вероятной структуры модели для  $N$  пар значений  $L_i$  и  $F(L_i)$  позволил предположить, что в качестве модели можно использовать экспоненту или полином. При рассмотрении небольшого интервала наработки, возможно, адекватной будет и линейная модель.

Для проверки этой гипотезы проведены экспериментальные исследования на имитационной модели. Для этого генерировались выборки наработок на отказ элементов автомобиля, распределенные по нормальному, логарифмически нормальному, экспоненциальному законам и закону Вейбулла (всего 36 выборок). Выборки обрабатывались. Затем рассчитывались эмпирические значения вероятности отказа в интервале  $F(L) = 0 \dots 0,2$ . Пары значений  $L_i$  и  $F(L_i)$  аппроксимировались интегральной функцией распределения, полиномом второго порядка и экспонентой. Фрагменты результатов приведены на рис. 1 ... 4.

Для указанных моделей рассчитывались дисперсионное отношение Фишера и средняя ошибка аппроксимации. Анализ полученных результатов показал следующее.

Проверкой по критерию Фишера установлено, что для всех выборок каждая из используемых моделей адекватна с вероятностью от 0,95 до 0,99.

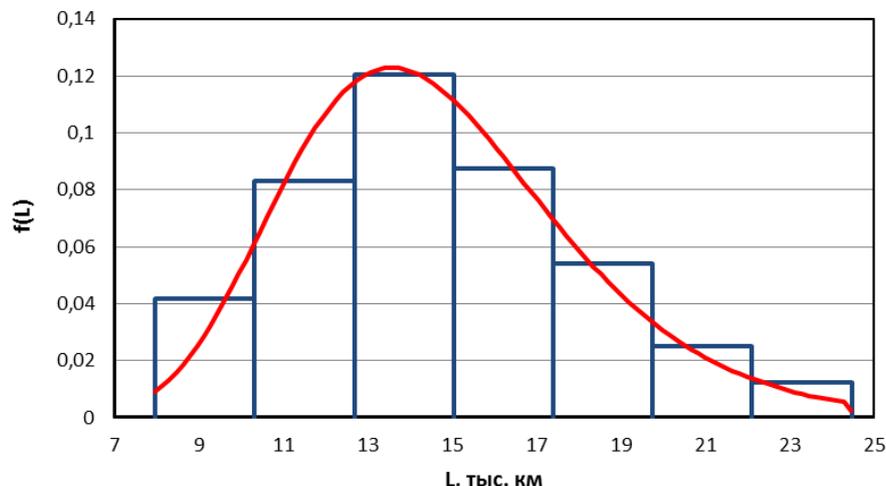


Рис. 1 - Распределение наработок на отказ (логнормальный закон)

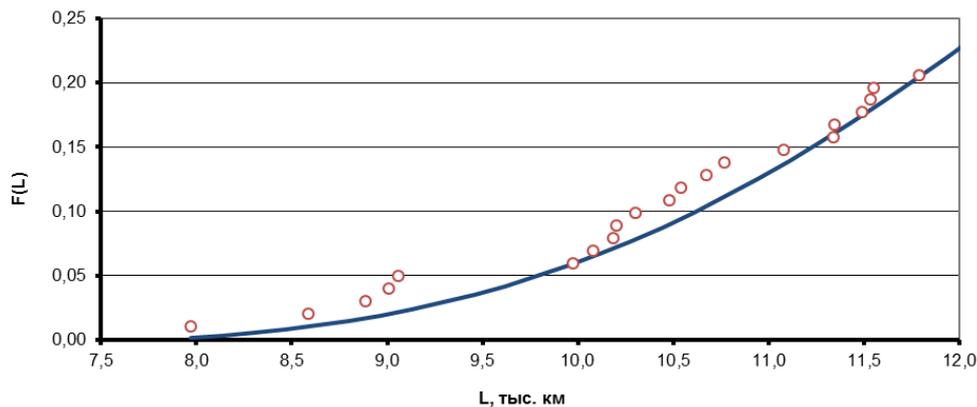


Рис. 2 - Аппроксимация эмпирических значений вероятности отказа логнормальным законом распределения в интервале  $F(L) = 0 \dots 0,2$

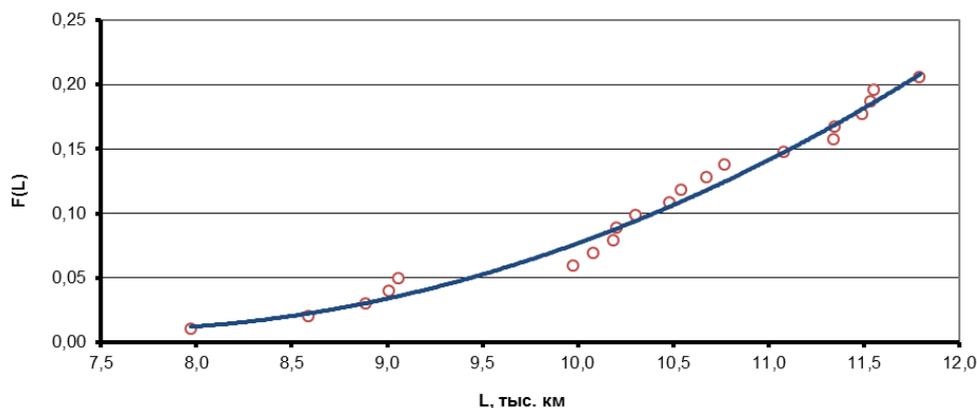


Рис. 3 - Аппроксимация эмпирических значений вероятности отказа полиномом 2-й степени в интервале  $F(L) = 0 \dots 0,2$

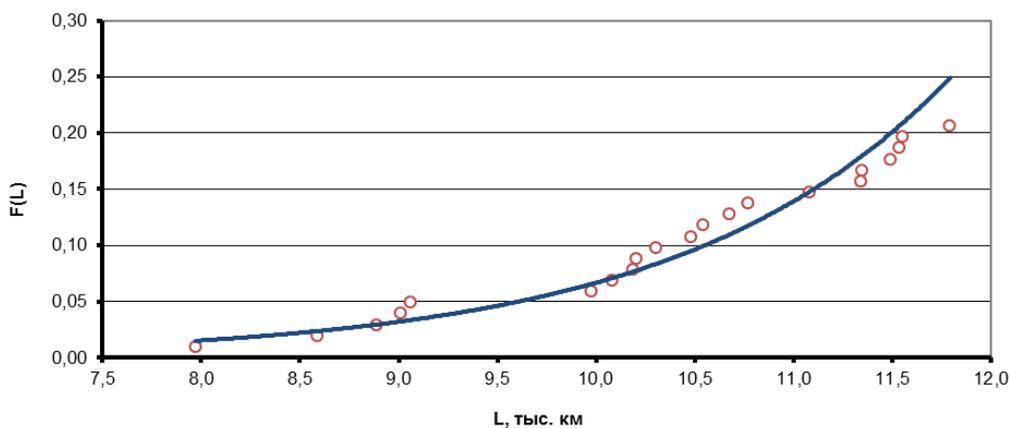


Рис. 4 - Аппроксимация эмпирических значений вероятности отказа экспоненциальной моделью в интервале  $F(L) = 0 \dots 0,2$

В 31-м случае из 36-ти наименьшую ошибку аппроксимации обеспечивает полином 2-й степени.

Таким образом, для определения периодичности технического обслуживания машин в случае, когда нет полной репрезентативной выборки наработок на отказ, можно аппроксимировать зависимость эмпирической вероятности отказа от наработки полиномом второй степени и по этой модели рассчитывать периодичность ТО, обеспечивающую заданную вероятность безотказной работы.

**Список литературы**

1. *Абакумов Г.В., Макарова А.Н., Данильченко М.С.* Корректирование нормативов ресурса автомобильных шин с учетом факторов, оцениваемых качественными признаками // *Научно-технический вестник Поволжья*. – 2013. – № 1. – С. 71–74.
2. *Бакеев Р.Б., Захаров Н.С.* Программное обеспечение для прогнозирования ресурса автомобильных шин на основе результатов незавершенных испытаний // *Транспортные проблемы Западно-Сибирского нефтегазодобывающего региона: Межвуз. сб. науч. тр.* – Тюмень: ТюмГНГУ, 2002. – С. 14-17.
3. *Захаров Н.С., Бакеев Р.Б., Битюкова А.Н., Савчугов В.И.* Формирование закономерностей распределения ресурсов шин в различных условиях эксплуатации // *Проблемы шин и резинокордных композитов: Материалы четырнадцатого симпозиума. Том 1.* – М.: НИИШП, 2003. – С. 142-146.
4. *Захаров Н.С., Абакумов Г.В., Бугаев К.В., Быков Д.С., Ефимов В.В., Панфилов А.А.* Актуальные проблемы эксплуатации автомобилей и транспортно-технологических машин в нефтегазодобывающем регионе // *Известия высших учебных заведений. Нефть и газ*. – 2006. – № 6. С. 77-79.
5. *Захаров Н.С., Абакумов Г.В., Петров А.И.* Проблема обеспечения надежности шин автомобилей, обслуживающих объекты нефтегазового комплекса // *Известия высших учебных заведений. Нефть и газ*. – 1998. – № 6. – С. 107.
6. *Захаров Н.С.* Модель восстановления транспортной подсистемы производственных систем нефтегазового комплекса // *Известия высших учебных заведений. Нефть и газ*. – 1997. – № 6. – С. 157.
7. *Захаров Н.С., Логачев В.Г., Макарова А.Н.* Оценка надежности автомобилей с учетом вариации фактической периодичности технического обслуживания // *Известия Тульского государственного университета*. – 2012. – № 12. Ч 2. – С. 186–191.
8. *Резник Л.Г., Захаров Н.С.* Корректирование норм пробега шин // *Автомобильный транспорт*. – 1988. – № 11. – С. 29-31.
9. *Техническая эксплуатация автомобилей: Учебник для вузов*. – 4-е изд., перераб. и доп. / *Е.С. Кузнецов, А.П. Болдин, В.М. Власов и др.* – М.: Наука, 2001. – 535 с.

05.11.13

**И.А. Мальцев**

Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева,  
кафедра Конструирования и технологии производства электронных средств,  
г. Казань, malcev\_@mail.ru

### **АНАЛИЗ ТЕПЛОВОЙ ЭКВИВАЛЕНТНОЙ СХЕМЫ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРОВ ПРИ НЕСТАЦИОНАРНОМ ТЕПЛОВОМ РЕЖИМЕ**

*В статье предложен экспресс метод определения теплоемкостей и теплового сопротивления переход-корпус мощных полупроводниковых приборов при нестационарном тепловом режиме.*

Ключевые слова: *тепловое сопротивление переход-корпус, эквивалентная тепловая схема, метод определения теплоемкостей и тепловых сопротивлений.*

Тепловое сопротивление переход-корпус является важнейшим показателем надежности и качества мощных полупроводниковых приборов [1]. В последнее время для измерения теплового сопротивления широко применяются экспресс методы, которые используются при нестационарном тепловом режиме [2]. При анализе тепловых режимов обычно применяются специализированные САПРы типа АСОНИКА-Т, которые имеют высокую стоимость. Но, тепловые модели полупроводниковых приборов существенно проще, чем модели функциональных узлов или стоек радиоэлектронной аппаратуры. Конструкция полупроводниковых приборов, как правило, состоит из правильных параллелепипедов, изготовленных из чистых материалов, таких как медь, кремний и другие. Это позволяет при анализе эквивалентной тепловой схемы полупроводникового прибора использовать схемотехнические САПР, типа MicroCAP Evaluation Version, либо Tina Ti которые распространяются свободно.

Как показано в [2] для измерения теплового сопротивления переход-корпус экспресс методами для каждого конкретного типа полупроводникового прибора необходимо использовать свою тепловую эквивалентную схему. Для построения элементов тепловой схемы разработан экспресс метод определения теплоемкостей и тепловых сопротивлений конструктивных элементов полупроводникового прибора, таких как кристалл полупроводника, слой припоя или эвтектики и корпус прибора. Для пояснения сути разработанного метода рассмотрим кратко стандартный метод измерения теплового сопротивления. Стандартный метод состоит из двух этапов рис.1 [3].

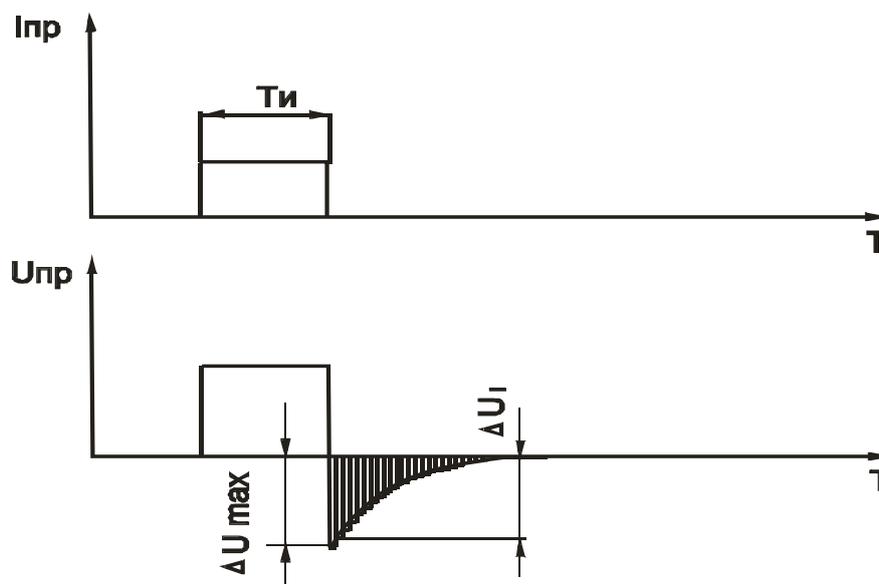


Рис.1. Графики, поясняющие работу стандартного метода

Первый этап - определение температурного коэффициента прямого напряжения р-п перехода (ТКН). ТКН определяется помещением полупроводникового прибора в термостат и измерением прямого напряжения на р-п переходе при двух температурах при небольшом токе. ТКН рассчитывается по формуле приложение 1, стр.13 [3]. Второй этап - непосредственно измерение и расчет теплового сопротивления. На прибор подается импульс тока длительностью  $T_{и}$ , необходимый для полного прогрева прибора, верхний график рис.1. Затем пропускают ток, равный току при измерении ТКН, и измеряют изменение прямого напряжения  $\Delta U_{max}$ , рис.1, нижний график. Тепловое сопротивление переход-корпус определяется по формуле:

$$R = \frac{\Delta U_{max}}{ТКН * P} \quad (1)$$

где  $\Delta U_{max}$  – максимальное изменение прямого напряжения перехода;

$P$  - мощность, рассеиваемая на полупроводниковом приборе;

ТКН – температурный коэффициент прямого напряжения перехода.

В отличие от стандартного метода, экспресс методы используют нестационарный тепловой режим, где теплоемкости участвуют в тепловых процессах наряду с тепловыми сопротивлениями. Экспресс метод определения теплоемкостей и тепловых сопротивлений поясняется на рис.1, нижний график. Первый этап – определение ТКН, как в стандартном методе. Второй этап - измеряя напряжения  $\Delta U_i$ , начиная от  $\Delta U_{max}$  и вплоть до полного охлаждения исследуемого прибора, строят график изменения температуры р-п перехода от времени. Третий этап - расчет элементов эквивалентной тепловой схемы, проведение моделирования в САПР. Четвертый этап – сравнительный анализ результатов моделирования и эксперимента, и по результатам анализа коррекция элементов тепловой схемы.

Рассмотрим работу метода на примере транзистора ТР31С в корпусе ТО220АВ (российский аналог КТ805БМ). Транзистор представляет собой многослойную конструкцию. Сверху кристалл полупроводника покрыт пластмассой, теплопроводность которой на два порядка ниже, чем у медного основания корпуса, поэтому можно считать, что тепловой поток через крышку ничтожно мал. Тепловая мощность выделяется в поверхностном слое кристалла кремния и распространяется через кристалл полупроводника, слой припоя, корпус, к нижней поверхности транзистора. Эквивалентная тепловая схема транзистора показана на рис. 2. Здесь  $R_0, C_0$  - тепловое сопротивление и теплоемкость кристалла транзистора.  $R_1, C_1$  - тепловое сопротивление и теплоемкость слоя припоя для крепления кристалла к корпусу.  $R_2, C_2$  - тепловое сопротивление и теплоемкость корпуса транзистора. Источник тепловой

мощности моделируется источником напряжения  $V1$ , который подключает и отключает напряжение ключом  $S1$ .

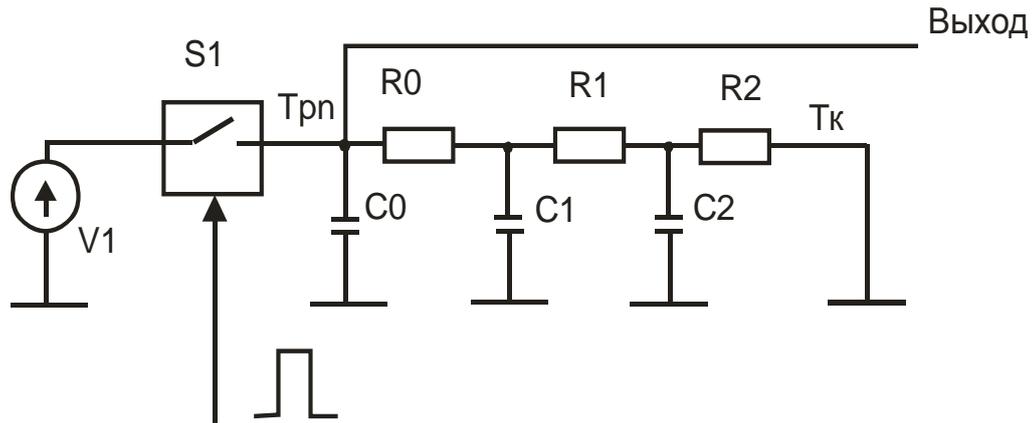


Рис.2. Эквивалентная тепловая схема транзистора TIP31C

Источником нагрева прибора и одновременно датчиком температуры выбран эмиттерный p-n переход транзистора, поэтому источник напряжения через ключ  $S1$  и выход схемы подключены к точке соединения  $R0, C0$ . При замыкании ключа  $S1$ , напряжение источника  $V1$  поступает на резисторы  $R0, R1, R2$ . Контакт «земли» схемы имеет нулевой потенциал и моделирует нижнюю плоскость корпуса транзистора, которая охлаждается радиатором или другой системой охлаждения и имеет температуру близкую к температуре окружающей среды. Через некоторое время после включения мощности устанавливается стабильный тепловой режим. После выключения мощности, на схеме этот процесс моделируется размыканием ключа  $S1$ , начинается процесс охлаждения прибора и разряд конденсаторов, моделирующих теплоемкости, через сопротивления, моделирующие тепловые сопротивления. Температуру p-n перехода кристалла транзистора в любой момент времени определяется выражением:

$$T_{pn}(t) = T_{max} \times e^{\frac{-t}{R_0 C_0}} \times e^{\frac{-t}{R_1 C_1}} \times e^{\frac{-t}{R_2 C_2}} \tag{2}$$

где  $T_{pn}(t)$  – температура кристалла в момент времени  $t$ ;

$T_{max}$  – максимальная температура p-n перехода;

$R0, R1, R2$  – тепловые сопротивления.  $C0, C1, C2$  – теплоемкости.

Для проведения моделирования схемы в САПР необходимо определить величины всех элементов тепловой схемы. Для расчета  $R0, R1, R2$  рассмотрим теплофизические процессы распространения тепла в транзисторе. Вся тепловая мощность выделяется в поверхностном слое, где расположена топология транзистора. Кристалл транзистора, представляет собой правильный параллелепипед и выполнен из кремния, который обладает высокой теплопроводностью, поэтому можно считать, что в поверхностном слое градиент температуры имеет малую величину. Это обстоятельство обуславливает равномерный тепловой поток, направленный через кристалл и слой припоя к корпусу прибора. Отсюда можно рассчитать  $R0$ .

$$R0 = h/S * \lambda \tag{3}$$

где  $h$  - толщина кристалла;

$S$  - площадь кристалла;

$\lambda$  - коэффициент теплопроводности материала кристалла (кремния).

Аналогично определяется  $R1$ . При распространении тепловой энергии на пластину корпуса транзистора теплофизическая картина резко меняется. Основная причина в том, что размеры корпуса значительно превышают размеры кристалла. За счет этого происходит «растекание» теплового потока, и в процессе переноса тепла участвует не вся масса материала корпуса, а только часть. Для оценки теплового сопротивления корпуса  $R2$  использован метод тепловых эквивалентов [4]. За эквивалент пластины корпуса с данным

источником тепла взято тело, обладающее следующими свойствами: На верхней части тела расположен источник тепла с заданными размерами. Материал тела анизотропен, теплопроводность совпадает с теплопроводностью пластины вдоль оси  $z$ , в направлениях  $x$  и  $y$  теплопроводность бесконечно велика. Если в сечении этого тела с произвольным  $z=const$  осуществляется условия идеального теплоотвода, то его тепловое сопротивление  $Rt(z)$  совпадает с той же функцией для пластины. Поверхности, не занятые теплоотводом и источником тепла теплоизолированы. Из этого определения следует, что температурное поле и плотность теплового потока вдоль оси  $z$  в эквиваленте равномерны. Используя формулу (3) и метод эквивалентов, получены следующие значения тепловых сопротивлений.  $R0=0,47^\circ\text{C}/\text{Вт}$ ,  $R1=0,22^\circ\text{C}/\text{Вт}$ ,  $R2=0,95^\circ\text{C}/\text{Вт}$

В соответствии с принятой тепловой моделью для расчета величин теплоемкостей  $C0$ ,  $C1$  используем весь объем кристалла и слоя припоя:

$$C0=C0_0 \times V0 \times \rho_0, \quad C1=C1_0 \times V1 \times \rho_1, \quad (4)$$

где  $C0_0$ ,  $C1_0$  - удельные теплоемкости материала кристалла, слоя припоя;

$V0, V1$ , - объем материала кристалла, слоя припоя;

$\rho_0, \rho_1$  - плотность материала кристалла, слоя припоя.

Для расчета теплоемкости  $C2$ , по аналогии с тепловым сопротивлением  $R2$ , можно предположить, что в процессе распространения тепла участвует не вся масса корпуса, а только масса теплового эквивалента корпуса транзистора. В соответствии с методом эквивалентов, форма тела теплового эквивалента представляет собой усеченную пирамиду с высотой, равной толщине корпуса транзистора, которая в нашем случае равна 1,2 мм. При этом были рассчитаны значения теплоемкостей:  $C0=0,031 \text{ Дж}/^\circ\text{C}$ ,  $C1=0,00042 \text{ Дж}/^\circ\text{C}$ ,  $C2=0,42 \text{ Дж}/^\circ\text{C}$ .

На рис.3 приведены графики нормированной температуры р-п перехода от времени: 1 - смоделирован в САПР, 2 - снят экспериментально. Как видно из графиков расхождения теоретической и экспериментальной кривых не превышает  $\pm 1,5-2\%$ .

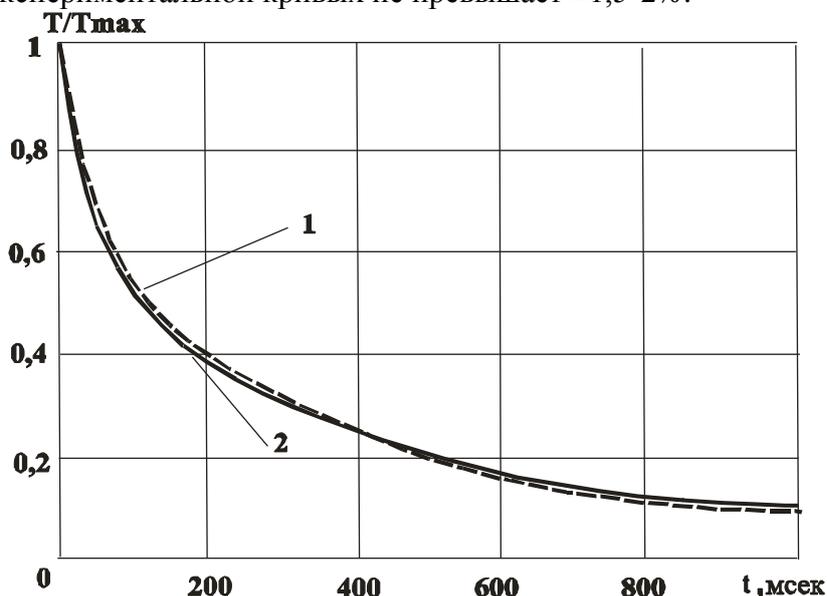


Рис.3. Зависимости нормированной температуры р-п перехода от времени

В реальных полупроводниковых приборах величина теплового сопротивления определяется также дополнительными факторами, такими как наличие дефектов в слое припоя или кристалла [5]. Величины теплоемкостей определяются массой конструктивных элементов транзистора. Как показали измерения, разброс массы транзисторов составлял не более 2%. Таким образом, для определения теплоемкостей элементов корпуса транзистора нет необходимости проводить измерение всех транзисторов в партии. Полученная эквивалентная тепловая схема, в частности номиналы теплоемкостей, может быть использована для всех транзисторов этого типа.

Выводы: Известные методы измерения дают интегральную величину теплового сопротивления переход-корпус полупроводникового прибора. Предложенный метод позволяет определять теплоемкости и тепловые сопротивления отдельных конструктивных элементов полупроводникового прибора. Метод позволяет создавать более точные эквивалентные тепловые схемы полупроводниковых приборов, особенно при нестационарных тепловых режимах, которые возникают при импульсных режимах работы. Это позволяет задавать оптимальный тепловой режим работы полупроводникового прибора, что значительно повышает надежность его работы.

#### *Список литературы*

1. Integrated Circuits Thermal Measurement Method – Electrical Test Method (Single Semiconductor Device), EIA/Jesd51-1, EIA/Jedec Standard. December 1995.
2. Саиткулов В.Г., Мальцев И.А., Мальцев А.А. Экспресс метод измерения теплового сопротивления переход-корпус полупроводниковых приборов // Вестник КГТУ им.А.Н. Туполева, 2011. №4. С.77-81.
3. ГОСТ 19656.15-84. Диоды полупроводниковые СВЧ. Методы измерения теплового сопротивления переход - корпус и импульсного теплового сопротивления.
4. Захаров А.Л., Асвадунова Е.И. Расчет тепловых параметров полупроводниковых приборов: Метод эквивалентов. М.: Радио и связь. 1983. 184 с.
5. Махалинтем М. Отвод тепла от корпусированных полупроводниковых устройств Пер. с англ. // ТИИЭР.1985.Т.73.№9. С. 58 – 67.

05.11.13

**И.В. Мостяев**

Московский государственный университет приборостроения и информатики,  
НУЦ «КАСКАД»,  
Москва, petr\_shkatov@mail.ru

### **КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ОХЛАЖДАЕМЫХ ЛОПАТОК ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ ВИХРЕТОКОВЫМ МЕТОДОМ С ПРИМЕНЕНИЕМ МАГНИТНОЙ ЖИДКОСТИ**

*Работа посвящена разработке нового метода вихретокового контроля с применением магнитной жидкости. Показано, что разрабатываемый метод позволяет существенно повысить эффективность выявления дефектов, развивающихся со стороны внутренней полости.*

Ключевые слова: *вихретоковый контроль, дефектоскопия, магнитная жидкость, охлаждаемые лопатки.*

Вихретоковый метод неразрушающего контроля широко используется для дефектоскопии электропроводящих объектов [1, 2]. К преимуществам вихретокового контроля (ВК) относятся бесконтактность, практически неограниченная скорость сканирования, простота автоматизации. Из-за скин-эффекта наибольшая чувствительность ВК достигается при выявлении поверхностных дефектов. Для выявления возможных дефектов, расположенных в контролируемом объекте с тыльной стороны относительно сканируемой поверхности, вихретоковый метод, как правило, не применяется. Это связано с экранирующим влиянием верхнего слоя металла, закрывающего дефект.

Эффективность выявления вихретоковым методом дефектов, выходящих на тыльную поверхность контролируемого объекта со сложной формой поверхности, можно существенно увеличить за счет применения магнитной жидкости (МЖ).

Для вихретоковой дефектоскопии важно то, что МЖ имеет высокую магнитную проницаемость, может заполнять полость дефектов под действием капиллярных сил, усиливаемых, при необходимости, постоянным магнитным полем.

После заполнения МЖ полости дефектов, расположенных с тыльной стороны сканируемой поверхности, чувствительность к ним при соответствующем выборе частоты многократно возрастает.

Выбирая достаточно низкую рабочую частоту, можно добиться слабого влияния немагнитного металла ( $\mu=1$ ) при сохранении влияния МЖ [1]. Иначе говоря, экранирующие свойства слоя немагнитного металла, находящегося между дефектом с заполненным МЖ полостью и вихретоковым преобразователем ВТП проявляться практически не будут.

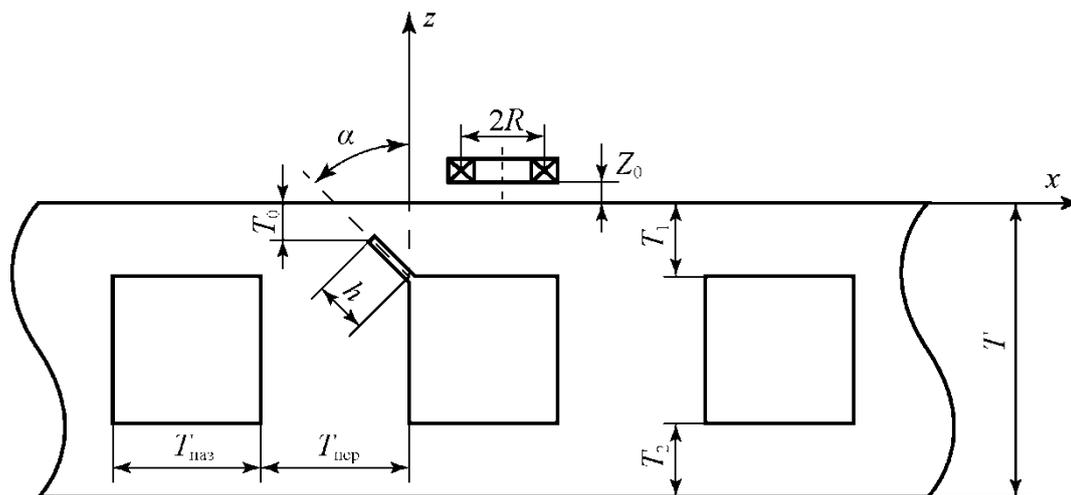


Рис. 1– Геометрическая расчетная модель полого металлического объекта сложной формы с дефектом

Таким образом, будет считываться прямое воздействие МЖ, заполнившей полость дефекта. Оно будет определяться объемом жидкости, расстоянием до ВТП и ее магнитной проницаемостью. Следует отметить, что сам контролируемый объект при этом может иметь достаточно сложную форму поверхности, не влияющую на выявляемость дефекта. На рис. 1 приведена геометрическая расчетная модель, для исследования взаимодействия ВТП с полым немагнитным объектом сложной формы, характерной для охлаждаемых лопаток газотурбинных двигателей.

Толщина полой пластины  $T=10$  мм, толщина металла над пазами – 2 мм, ширина пазов и перемычек между ними  $T_{\text{паз}}=T_{\text{пер}}=4$  мм, а удельная электрическая проводимость металла  $\sigma=4$  МСм/м.

Дефект типа трещины имел ширину 0,2 мм, глубину 1 мм и был расположен под углом  $45^\circ$  к сканируемой поверхности, развиваясь от угла паза с прямоугольным поперечным сечением.

Исследования проводились методом конечных элементов (МКЭ) на основе пакета ANSYS. Расчетная область после дискретизации приведена на рис. 2.

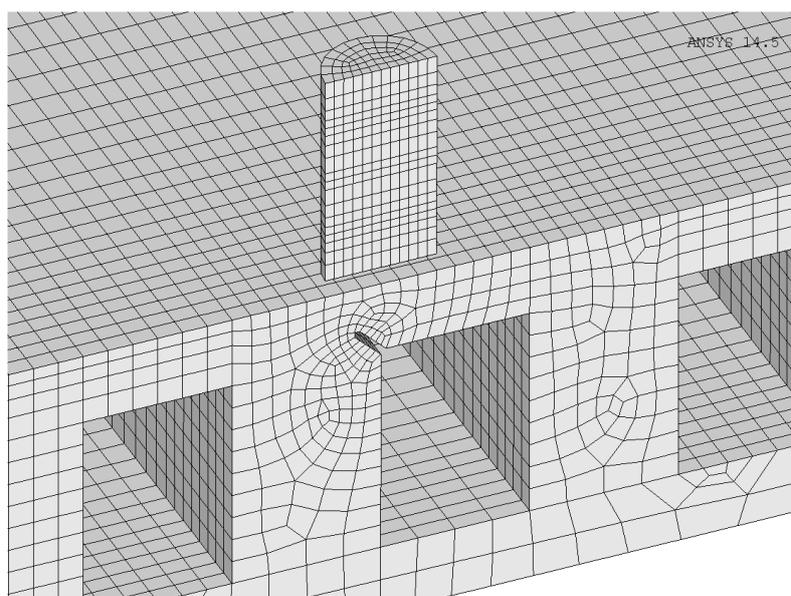


Рис. 2– Расчетная область для исследования МКЭ взаимодействия накладного ВТП, размещенного над полой немагнитной пластиной с дефектом со стороны внутренней полости

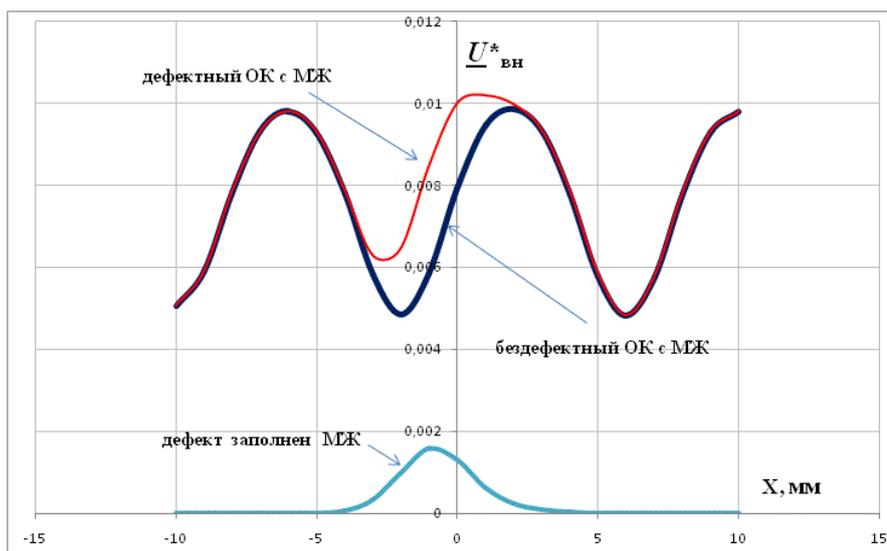


Рис. 3 – Изменение  $U^*_{вн}$  от частоты  $f$  :  
глубина  $h = 1$  мм, длина – 10мм, ширина – 0,2 мм,  $T_1 = T_2 = 2$  мм.

На рис. 3 приведены результаты, полученные при сканировании ВТП поверхности образца в направлении координаты  $X$ , перпендикулярной плоскостям боковых стенок при частоте возбуждающего тока  $f=1$  кГц. Компенсация ВТП с эквивалентным диаметром 3 мм выполнялась на бездефектном участке без МЖ. По оси ординат показана амплитуда нормированного по начальному напряжению  $U_0$  вносимого в вихретоковый преобразователь напряжения  $U^*_{вн}$ . Рассмотрено 3 варианта. В 1-ом объект не имеет дефекта, а его полости заполнены МЖ. Во 2-ом варианте дефект имеется и его полость, а также пазы объекта контроля заполнены МЖ. В 3-ем варианте МЖ заполнена только полость дефекта.

Приведенные зависимости показывают, что при наличии МЖ дефект четко выявляется. Следует отметить, что при отсутствии МЖ чувствительность к дефекту практически отсутствует.

При изменении угла  $\alpha$  между плоскостью трещины и нормалью к сканируемой поверхности чувствительность к дефекту изменяется. На рис. 4 приведены зависимости  $U^*_{вн} = U^*_{вн}(X)$  при наличии МЖ только в полости дефекта. При изменении угла  $\alpha$  остаточная толщина металла  $T_0$  не изменялась и равнялась 1 мм.

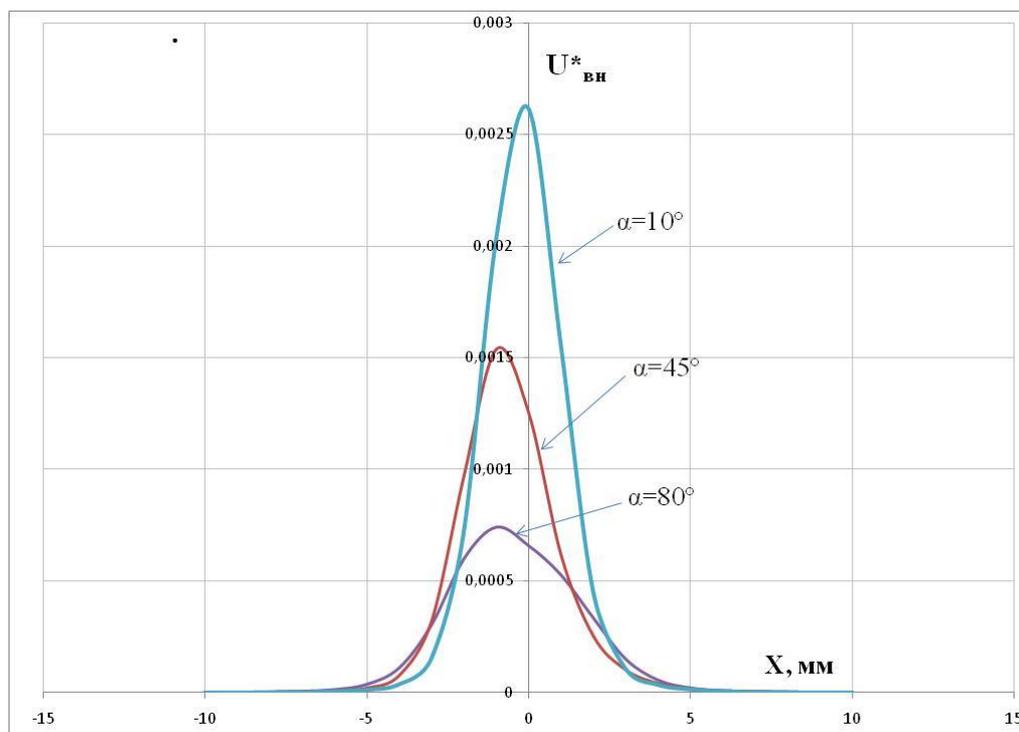


Рис. 4 – Изменение  $U_{вн}^*$  при сканировании объекта с дефектом, заполненным МЖ при вариации угла наклона  $\alpha$ .

Приведенные зависимости показывают, что с уменьшением угла  $\alpha$  чувствительность к дефекту возрастает. Это происходит, несмотря на одновременное уменьшение глубины  $h$  дефекта. При этом по асимметрии получаемого при сканировании сигнала можно судить об угле наклона плоскости дефекта.

Проведенные исследования позволяют сделать следующие выводы.

1. За счет применения магнитной жидкости удастся существенно повысить чувствительность к дефектам, развивающимся с тыльной стороны и надежно отстроиться от эффекта формы.
2. Наиболее эффективно выявление дефектов при заполнении магнитной жидкостью только их полости.
3. При отклонении плоскости дефекта от нормали к поверхности чувствительность к дефекту существенно уменьшается.

#### Список литературы

1. Федосенко Ю.К., Шкатов П.Н., Ефимов А.Г. Вихретоковый контроль. – М.: Издательский дом «Спектр». – 2011. – 240 с.
2. Волков Б.И., Шкатов П.Н. Вихретоковый контроль металла в энергетике. – Челябинск.: Цицо. – 2013. – 250 с.

05.13.18

**М.А. Николаев**

Государственный научный центр Российской Федерации –  
Физико-энергетический институт им. А.И. Лейпунского,  
Обнинск, М.А.Nickolaev@gmail.com

### **ВЕБ-КОМПЛЕКС ТЕПЛОФИЗИЧЕСКОЙ ОПТИМИЗАЦИИ ЯЭУ**

*Рассматриваются цели и задачи создания вычислительного веб-комплекса теплофизической оптимизации ядерных энергетических установок. Описаны архитектура и пользовательский интерфейс комплекса.*

Ключевые слова: *ядерная энергетика, теплофизика, оптимизация, облачные вычисления.*

Большой объём информации, накопленной в сфере проектов для ядерной энергетики, требует значительных усилий по её освоению, актуализации и включению в практику текущей проектной деятельности. В этой связи Росатом ставит задачу сохранения отраслевых знаний и внедрения технологий единого информационного пространства для обеспечения работ в рамках того или иного комплексного проекта [1,2].

Средством решения этой задачи является создание вычислительных (моделирующих) веб-комплексов. Размещение вычислительных ресурсов на веб-сервере (отраслевом или корпоративном сайте) обеспечивает коллективный доступ к рабочему инструментарию той или иной отрасли науки и техники, даёт возможность обучения специалистов соответствующего профиля и развития средств исследования или проектирования. Последнее обеспечивается компонентной архитектурой веб-технологий, предполагающей эволюционное наращивание фактографического и функционального содержания сайта. Эволюция содержания вычислительного сайта отражает развитие соответствующей отрасли знаний и на определённом этапе приводит к возможности «интеллектуального саморазвития» сайта как усилиями специалистов, обнаруживающих при работе с фактами и алгоритмами, хранящимися на сайте, проблемные области и точки роста, так и посредством применения программных средств «добычи знаний».

Таким путём может быть реализовано *организационно-технологическое усовершенствование процедур любых проектных расчётов*. Теплофизическая оптимизация ЯЭУ выбрана для первоочередной реализации средствами вычислительного веб-комплекса как главная задача проектного обоснования ядерных энергетических установок, определяющая их экономичность, безопасность и эксплуатационную эффективность.

Вычислительный веб-комплекс (ВВК) создаётся для достижения следующих практических целей:

- удалённый доступ специалистов к вычислительным ресурсам, методическим материалам и стандартам;
- организация вариантных проектных расчетов с сохранением исходных данных и результатов в базе данных для накопления материалов по истории и версиям проекта;
- автоматическая сверка исходных данных для гарантированной согласованности результатов, получаемых разными группами расчётчиков в рамках одного проекта;
- использование всеми пользователями общего сертифицированного и верифицированного массива библиотек констант и справочных данных;
- постоянная доступность обновлений программ и баз расчётных и экспериментальных данных непосредственно после актуализации;
- упрощение валидации и верификации программных продуктов на основе сравнительных расчётов в едином информационном пространстве;

- привлечение к тестированию программ, размещаемых в среде ВВК, всех заинтересованных специалистов на принципах краудсорсинга [1];
- обеспечение доступа к «унаследованному» программному обеспечению, созданному ранее в виде, как правило, консольных программ;
- доступ заинтересованной общественности к методикам и результатам обоснования инновационных проектов в сфере ядерной энергетики;
- дистанционное обучение методикам теплофизической оптимизации ЯЭУ.

Немаловажным является также решение ряда теоретических вопросов, связанных с разработкой унифицированной функциональной архитектуры ВВК, обусловленной большим многообразием теплофизических моделей ЯЭУ [3-5] и трудностями их многопараметрической оптимизации [6].

Все инструменты, необходимые для создания ВВК, доступны как открытое программное обеспечение. С 2008 года интенсивно обсуждается и развивается концепция «облачных вычислений», трактующая программное обеспечение как услугу, доступную через стандартный браузер. В простейшем случае – это калькуляторы различной тематической направленности, позволяющие оперативно выполнять вычисления непосредственно в экранной форме браузера. Более продвинутый уровень «облачных вычислений» - предоставление платформы, обеспечивающей как накопление, так и разработку программных продуктов, а также организацию сложных долговременных расчётов с сохранением результатов в базах данных.

Очевидно, однако, что в силу сугубой конфиденциальности конструкторских баз данных проектные организации не могут использовать платформы облачных вычислений на основе аутсорсинга. Необходимо создание аналогичных тематических платформ в масштабах предприятия или отрасли для обеспечения проектных, управленческих и научно-образовательных задач. Здесь целью является не достижение какой-либо экономии (обычная трактовка направленности облачных вычислений), а *организация совместной работы специалистов для получения адекватных результатов в комплексных проектных разработках.*

Информационная и функциональная архитектура создаваемого ВВК обеспечивают интеграцию в составе ВВК любых методик и программ. Для унификации функциональной архитектуры ВВК схема базы данных заимствована из работы [7]. Веб-страницы организации вариантных расчётов оперируют следующими основными таблицами: список задач, таблицы констант, таблицы расчетных вариантов, таблицы результатов, таблица пользователей. ВВК предусматривает многопользовательский доступ и создаёт для каждого пользователя персонализированную базу данных соответствующей структуры с таблицами расчетных вариантов и результатов. Последовательность расчётов управляется Windows-службой, которая формирует очередь заданий и их выполнение по принципу FIFO [8]. Таким образом, база данных является буфером между WEB-приложением и Windows-службой, обеспечивая отложенный запуск заданий и просмотр результатов в произвольный момент времени.

Пользовательский интерфейс ВВК представляет собой систему взаимосвязанных динамических веб-страниц, которые обеспечивают выбор задач, формирование вариантов расчёта и просмотр результатов в табличной или графической форме.

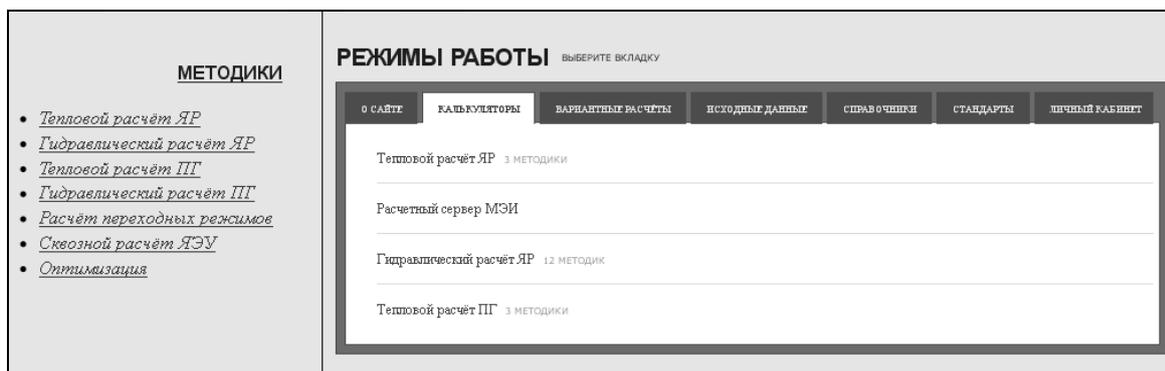


Рис. 1. Фрагмент стартовой страницы ВВК

На стартовой странице сайта пользователь выбирает режимы работы (подготовка данных, выполнение вычислений, просмотр результатов) или же обращается к электронным справочникам (рисунок 1). На этой же странице размещаются ссылки на внешние расчётные серверы. На страницах результатов используется динамическая графика, позволяющая масштабировать и детализировать рисунки в окне браузера (рисунок 2).

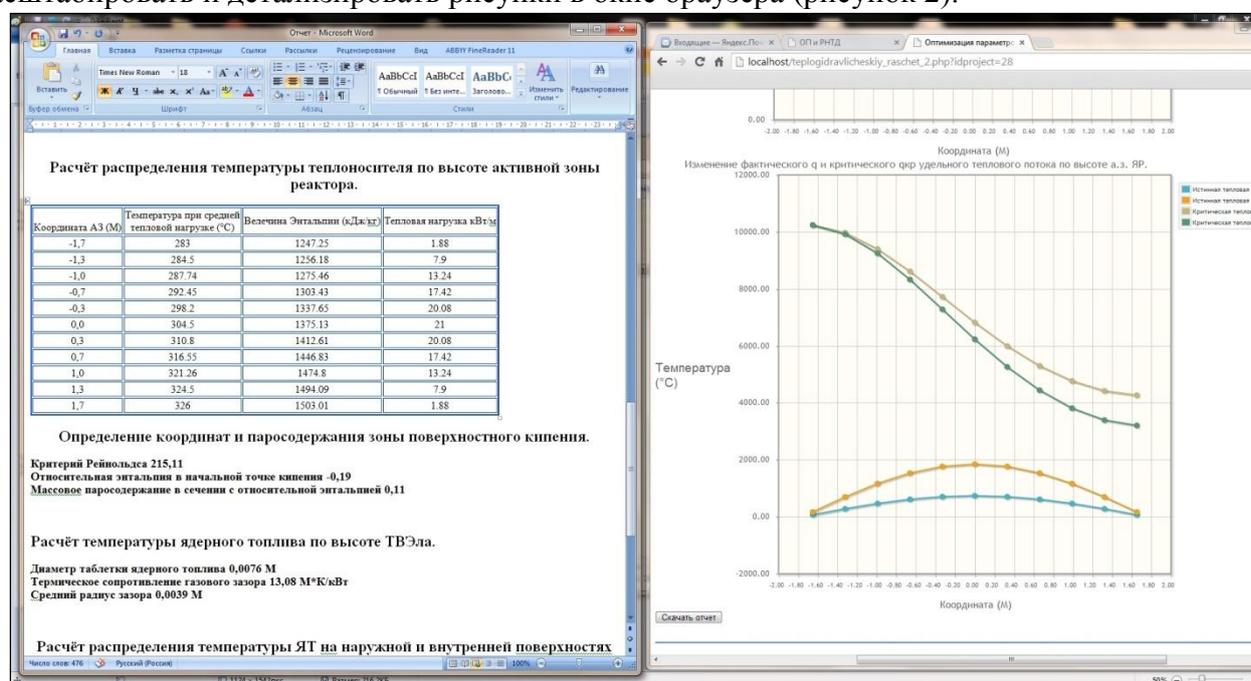


Рис. 2. Параллельный вывод результатов в браузер и в текстовый редактор

Результаты расчёта компонуются по дополнительному запросу в «бумажный» отчет формата doc (левая часть на рисунке 2), то есть, в принципе, в некоторый конечный документ по данному этапу проектных расчётов. Разработка и стандартизация структуры подобных отчётов является самостоятельной задачей, решение которой позволит существенно повысить продуктивность работы конструктора-расчётчика.

В настоящее время проектирование информационной и функциональной архитектуры вычислительного веб-комплекса практически завершено. Разработаны основные пользовательские интерфейсы и унифицированный интерфейс для взаимодействия с ранее созданными консольными программами. Реализованы методики теплогидравлического расчёта ЯЭУ, предусмотренные соответствующими стандартами [9]. Решены вопросы графического представления и анализа результатов расчётов средствами веб-браузера. Дальнейшая работа связана с инфологическим анализом, алгоритмической унификацией и программной реализацией на серверных языках известных методик теплофизической оптимизации применительно к различным типам ЯЭУ.

### Список литературы

1. «Росатом» делится знаниями. М.: ГК «Росатом», 2012. 152с.
2. Гребенников А.Н. Суперкомпьютерные технологии в атомной энергетике. Семинар «Информационные технологии и автоматизация технологических процессов» международного форума АТОМЭКСПО 2011, 6–8 июня 2011, Москва. <http://www.gosbook.ru/node/36561>
3. Попырин Л.С. Математическое моделирование и оптимизация теплоэнергетических установок. М.: Энергия, 1978. 416с.
4. Зорин В.М. Исследование и математическое моделирование АЭС на основе системного подхода. М.: Издательство МЭИ, 2002. 88с.
5. Расчетный сервер НИУ МЭИ. Общая теплоэнергетика. [http://tw.t.mpei.ac.ru/ochkov/VPU\\_Book\\_New/mas/](http://tw.t.mpei.ac.ru/ochkov/VPU_Book_New/mas/)
6. Николаев М.А., Юферов А.Г. Алгоритмы организации вариантных проектных расчётов // Научно-технический вестник Поволжья. 2013. № 6.
7. Юферов А.Г. Организация вычислительных экспериментов с моделями точечной кинетики ядерного реактора. Препринт ФЭИ-2990. Обнинск, 2003. 36с.
8. Паршин Д.А., Юферов А.Г., Комиссаров С.А. и др. Веб-интерфейс для Центра Обработки Данных. Препринт ФЭИ -3208. Обнинск, 2012. 20с.
9. РД 24.035.05-89. Методические указания. Тепловой и гидравлический расчет теплообменного оборудования АЭС.

05.13.01

**Е.К. Петенёв, С.В. Пушилин, В.Б. Чемоданов к.т.н.**

Московский Авиационный Институт (национальный исследовательский университет),  
факультет «Системы управления, информатика и электроэнергетика»,  
кафедра систем автоматического и интеллектуального управления,  
Москва, i@khaos.ru, Astial23@gmail.com, chemvb@gmail.com

### **КОМПЛЕКСИРОВАНИЕ УПРАВЛЯЮЩИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ ПО РАЗНЫМ КАНАЛАМ В МНОГОКАНАЛЬНОЙ СИСТЕМЕ БЕСКОНТАКТНОГО УПРАВЛЕНИЯ**

*В данной статье изложен способ комплексирования и взаимной коррекции данных от разных источников в многоканальной системе бесконтактного управления с учётом требований, предъявляемых к разрабатываемой системе.*

Ключевые слова: *Бесконтактная система управления, комплексирование, коррекция, распознавание.*

#### **Введение**

В настоящее время наблюдается активное развитие систем бесконтактного управления. Подобные системы в качестве управляющего воздействия используют не привычные органы управления, а команды, передаваемые оператором без физического контакта с какими-либо элементами системы.

Одним из видов источников команд может служить направление взгляда оператора, распознаваемое по видеоизображению. Подобный подход в ряде случаев обладает достаточной точностью и быстродействием, чтобы быть использован при управлении подвижным объектом, но при его реализации возникают трудности, связанные с ошибками распознавания первого (требуемый объект не найден на изображении) и второго (ложный объект был распознан как требуемый) рода. Также, для правильного определения направления взгляда необходима дополнительная информация о положении головы оператора – угловой ориентации её в пространстве.

В связи с этим целесообразно использовать при разработке бесконтактной системы управления многоканальный подход – «грубый» канал управления по положению головы оператора и «точный» канал, использующий направление его взгляда. Система бесконтактного управления, рассматриваемая в данной статье, использует этот подход. При её разработке использован модульный принцип построения, когда данные по каждому каналу поступают от разных подсистем и затем комплексуются для получения окончательного управляющего сигнала (Рис.1). Этот подход позволяет включить в систему дополнительные каналы управления, одним из которых может быть канал распознавания голосовых команд.

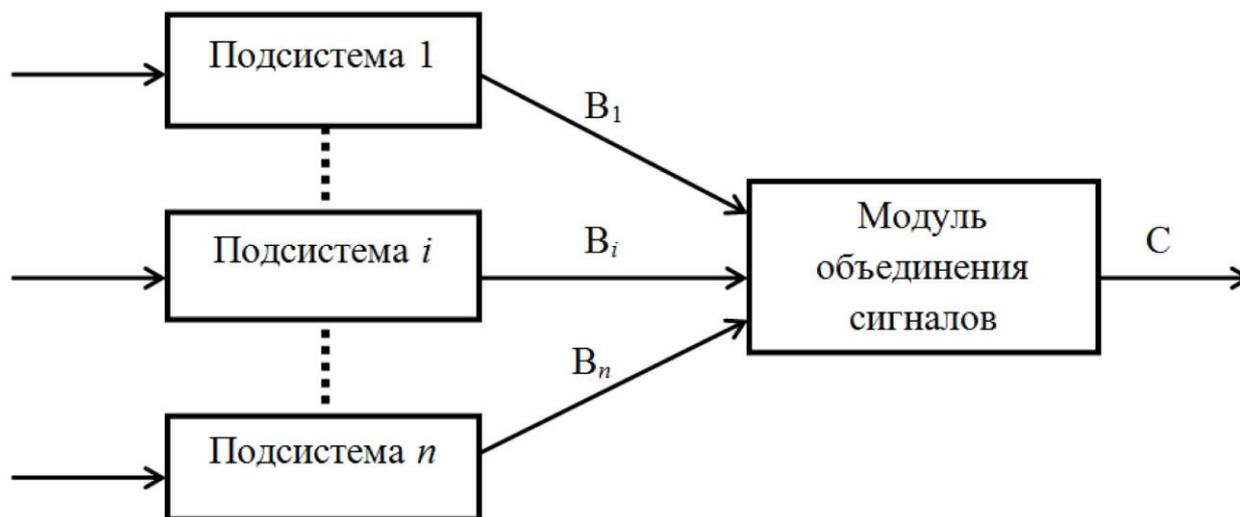


Рис.1. Схема построения системы.

$V_1 - V_i$  – Сигналы от подсистем,  $C$  – результирующий сигнал.

Далее рассмотрен способ комплексирования и взаимной коррекции сигналов от разных каналов управления с учётом особенностей разрабатываемой системы.

#### Постановка задачи

Рассматриваемая система бесконтактного управления в качестве управляющих воздействий использует данные, полученные от разных подсистем, а именно:

1. Подсистема определения направления взгляда оператора.
2. Подсистема определения поворота головы оператора.
3. Подсистема распознавания голосовых команд.

Эти данные, в силу неоднородности их источников различаются по своим параметрам, таким как точность, достоверность и периодичность обновления. Например, подсистема определения направления взгляда оператора на основании распознавания зрачка глаза на видеоизображении даёт результат с наивысшей для трёх рассматриваемых каналов точностью, но из-за высокой вероятности возникновения ошибок распознавания второго рода, эти данные могут быть недостоверными. Канал же голосовых команд обладает высокой достоверностью, но эти данные, во-первых, поступают только после подачи команды оператором, а во-вторых, могут принимать только несколько дискретных значений (например, «вверх», «вниз», «влево», «вправо»). Это послужило причиной для создания алгоритма объединения и взаимной коррекции этих данных для выработки единого сигнала, который и будет использован при управлении.

#### Способ объединения сигналов.

Представим желаемое управляющее воздействие в дискретный момент времени  $t$  как точку  $C_t$  на экранной плоскости, заданную дискретными координатами  $x$  и  $y$ , а воздействие, полученное по каналу  $i$ , как точку  $B_t^i$  на этой же плоскости. Так как один из каналов передаёт ограниченный набор значений, присвоим каждому из них набор координат, которые будут передаваться подсистемой в качестве результата.

В ходе разработки были опробованы два способа объединения сигналов – упрощённый и модифицированный.

#### Упрощённый способ объединения сигналов.

Первоначальный способ, возникший в результате разработки, заключается в получении результирующей точки  $C_t$  через усреднение координат точек  $B_t^i$ :

$$C_t = \left( \frac{\sum_{i=1}^n x_t^i}{n}, \frac{\sum_{i=1}^n y_t^i}{n} \right). \quad (1)$$

Наглядно данный способ показан на рисунке 2:

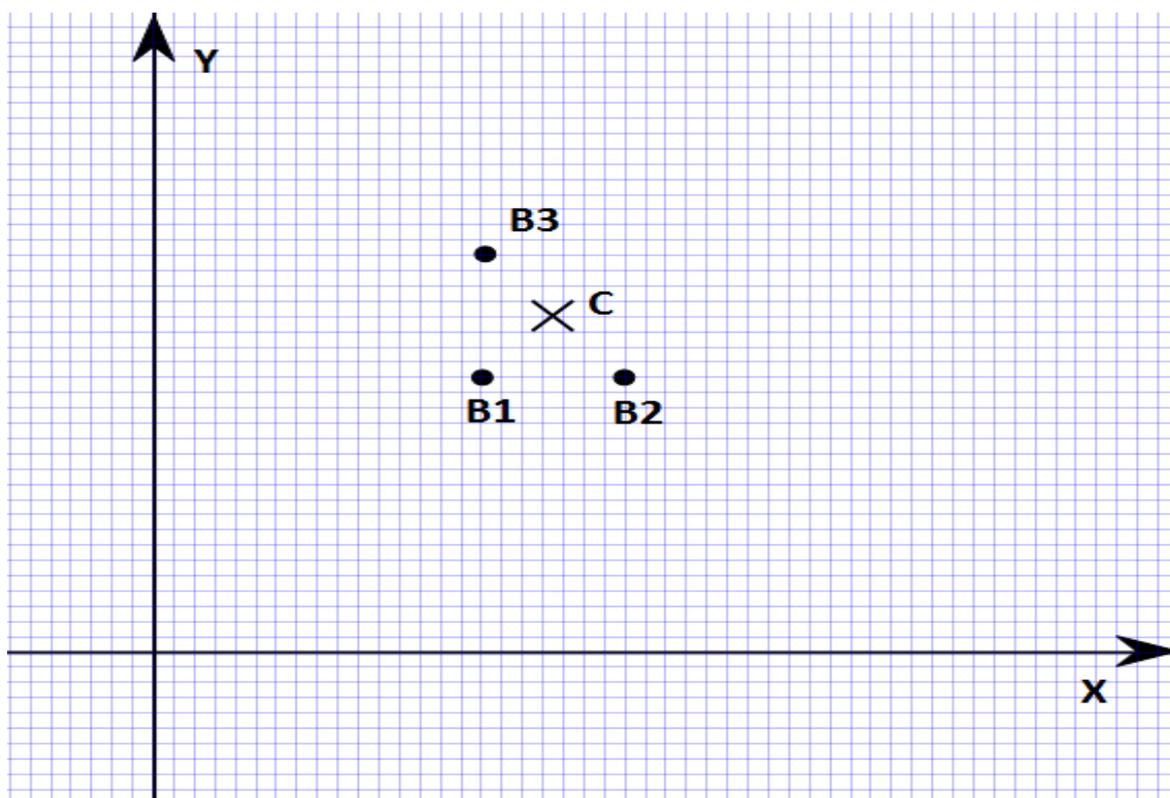


Рис. 2. Иллюстрация упрощённого способа объединения сигналов

Подобный подход к решению задачи комплексирования является довольно простым и легко реализуемым, но не учитывает неоднородность данных, получаемых от разных подсистем. Поэтому целесообразно провести модификацию данного способа.

*Модифицированный способ объединения сигналов.*

Введём для каждого из каналов набор характеристических коэффициентов:

$R_i$  – достоверность данных канала  $i$ .

$S_i$  – точность данных канала  $i$ .

$\tau_i$  – постоянная времени, характеризующая убывание актуальности данных канала  $i$  с течением времени.

Для начала, определим актуальность данных с канала, если они были получены не в текущий момент времени  $t$ . Особенности реализации подсистем таковы, что различные каналы работают асинхронно, выдавая результат по мере получения. То есть, для канала  $i$  в момент времени  $t$  есть интервал времени  $\Delta T_t^i$ , прошедшего с последнего опроса этого канала.

Примем закон убывания актуальности  $A_t^i$  данных с канала  $i$  за

$$A_t^i = e^{-\frac{\Delta T_t^i}{\tau_i}}. \quad (2)$$

Затем, получим результирующую точку как средневзвешенное значение координат  $B_t^i(x_t^i, y_t^i)$  от разных  $n$  каналов:

$$C_t = \left( \frac{\sum_{i=1}^n x_t^i \cdot A_t^i \cdot S_i}{\sum_{i=1}^n A_t^i \cdot S_i}, \frac{\sum_{i=1}^n y_t^i \cdot A_t^i \cdot S_i}{\sum_{i=1}^n A_t^i \cdot S_i} \right). \quad (3)$$

Так как показания каналов могут быть недостоверными, исключим из результата данные от тех каналов, для которых расстояние от результирующей точки без учёта рассматриваемого канала  $j$  больше, чем порог доверия  $R_j$ :

$$\sqrt{\left( \frac{\sum_{i=1, i \neq j}^n x_t^i \cdot A_t^i \cdot S_i}{\sum_{i=1, i \neq j}^n A_t^i \cdot S_i} - x_t^j \right)^2 + \left( \frac{\sum_{i=1, i \neq j}^n y_t^i \cdot A_t^i \cdot S_i}{\sum_{i=1, i \neq j}^n A_t^i \cdot S_i} - y_t^j \right)^2} > R_j. \quad (4)$$

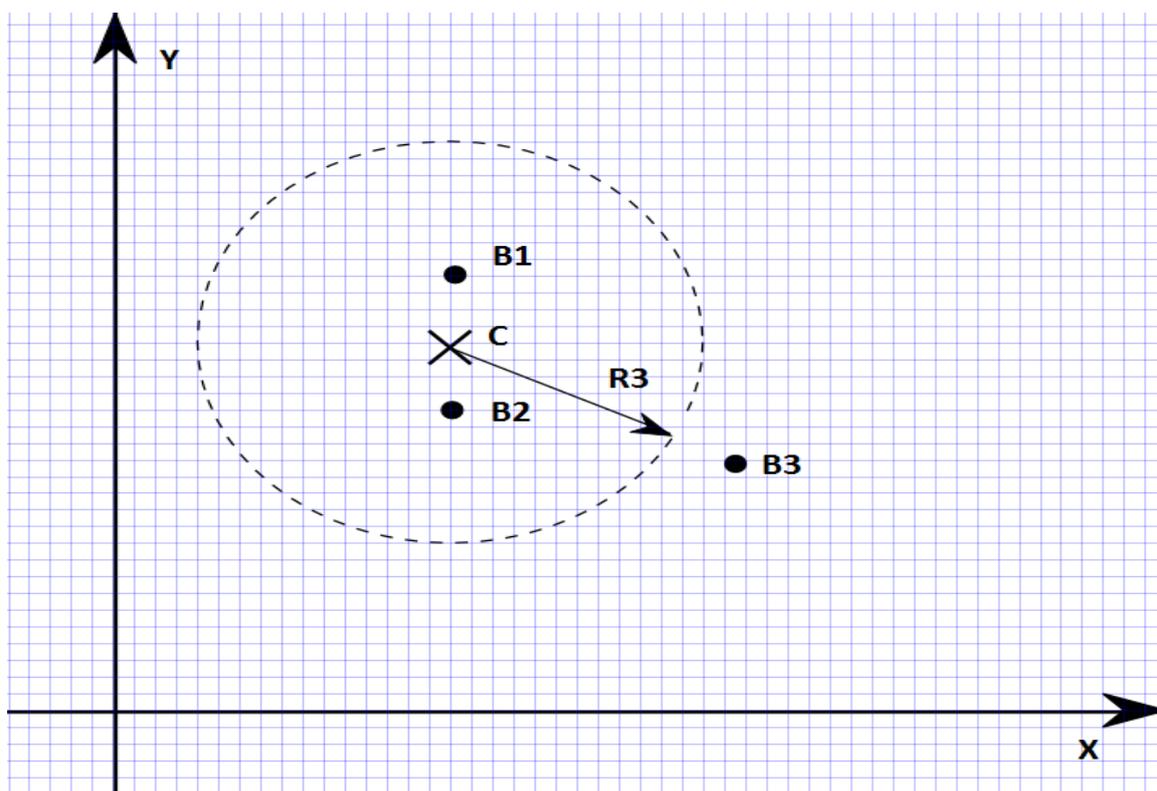


Рис. 3. Исключение недостоверных результатов. Сигнал от подсистемы 3 не учитывается при получении результирующего сигнала, так как расстояние от общего центра  $C$  точек  $B_1$  и  $B_2$  до точки  $B_3$  больше, чем порог доверия  $R_3$ .

### Определение значений коэффициентов, используемых при комплексировании

Определение значений коэффициентов для рассматриваемого алгоритма, которые были бы оптимальны для решения задачи, является известной проблемой, по причине их количества (в данном случае их 9) и отсутствия чёткого критерия оптимальности. Для поиска искомых значений коэффициентов  $R_i, S_i, \tau_i$  при разработке системы бесконтактного управления использовался генетический алгоритм (ГА).

Критерием отбора для генетического алгоритма принята корректная работа системы на обучающем примере, подготовленном следующим образом: Был произведён тестовый запуск системы, во время которого оператору предлагалось перемещать бесконтактным способом указатель на экране вслед за целью, движение которой определялось программно. Таким образом были получены как входные данные – записанные сигналы подсистем, так и желаемые выходные – положение цели.

Далее, за критерий отбора было принято среднеквадратичное по времени отклонение результирующего воздействия, полученного в результате работы алгоритма объединения сигналов, от желаемого результата из обучающего примера.

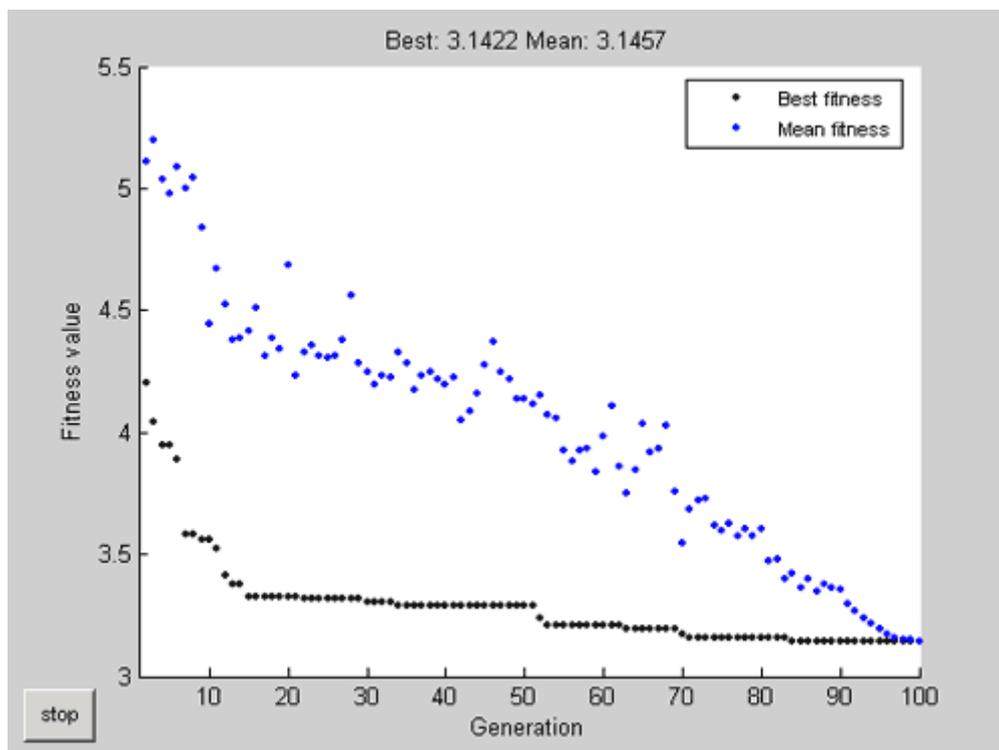


Рис. 4. Зависимость лучшего и среднего по популяции значения отклонения полученного результата от искомого от поколения при работе ГА.

Оптимизация коэффициентов при помощи генетического алгоритма была проведена в среде Matlab. Так как при количестве подсистем, равном трём, комплексирование вышеописанным способом не представляет вычислительной сложности, искомые значения коэффициентов были найдены генетическим алгоритмом менее, чем за 100 поколений.

### **Заключение**

При сравнении работы двух описанных в данной статье способов объединения сигналов в системе бесконтактного управления был получен результат, показывающий, что введение коэффициентов, характеризующих каналы управления, позволяет получить результирующее значение, более близкое к желаемому результату. В то же время, для применения модифицированного способа необходимо определение значений этих коэффициентов, что было произведено при помощи генетического алгоритма.

Таким образом, получен алгоритм, решающий заявленную задачу и достаточно легко программно реализуемый. При разработке тестового образца системы при помощи данного алгоритма были получены ожидаемые результаты.

### **Список литературы**

1. Макаров И.М., Лохин В.М., Манько С.В., Романов М.П. Искусственный интеллект и интеллектуальные системы управления. — М.: Наука, 2006, с. 295
2. Рутковская Д., Пилиньский М., Рутковский Л. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы. — 2-е изд. — М: Горячая линия-Телеком, 2008. — С. 452.

05.22.14

**И.Н. Петров, А.Д. Самсонов**ФГУП ГосНИИ ГА,  
г. Москва, lvalabina@mail.ru**К ВОПРОСУ ФОРМИРОВАНИЯ СИСТЕМ ФИЗИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ АЭРОПОРТОВ**

*Рассмотрен состав системы обеспечения транспортной безопасности аэропорта. Сформированы функции, выполняемые системой физической защиты аэропорта и приведено детальное описание каждой из функций с определением их количественных и качественных характеристик.*

Ключевые слова: *Объект транспортной инфраструктуры, транспортная безопасность, система физической защиты, акт незаконного вмешательства.*

Обеспечение транспортной безопасности в области гражданской авиации в настоящее время является одной из важных задач. С этой целью в соответствии с Законом N 16-ФЗ “О транспортной безопасности” от 09.02.2007 года [1] уполномоченными организациями производится оценка уязвимости объектов транспортной инфраструктуры (ОТИ) и транспортных средств от угроз совершения актов незаконного вмешательства (АНВ). Система обеспечения безопасности ОТИ включает в себя подсистему или подсистемы физической защиты, подсистему баз данных по различным направлениям технологической деятельности объекта транспортной инфраструктуры, подсистему обмена информацией между органами управления деятельностью и обеспечения безопасности конкретного объекта и вышестоящими органами исполнительной власти. Все перечисленные подсистемы должны объединяться ядром системы, позволяющим в режиме близком к реальному времени оценивать возникающие риски угроз АНВ. Для того чтобы система была работоспособной, каждая из перечисленных подсистем должна обладать некоторой функциональностью. Рассмотрим подсистему физической защиты (СФЗ) объекта с точки зрения функций, которыми она должна обладать.

Акты незаконного вмешательства в функционирование практически любого технологического объекта транспорта, включая наиболее распространенные, такие, как хищения, умышленные нарушения работы элементов инфраструктуры (диверсии), а также акты террористической направленности на территории объекта могут быть предотвращены двумя способами – предупреждением действий нарушителей (упреждение угроз) от совершения этих действий и противодействием нарушителям.

Предупреждение обеспечивается внедрением СФЗ, которую нарушители, после знакомства с режимом объекта, должны рассматривать как непреодолимое препятствие. Под непреодолимостью следует понимать не только невозможность преодоления защитных сооружений периметра, но и неизбежность обнаружения нарушителей при попытке вторжения на объекты инфраструктуры объекта и на территории объекта техническими средствами защиты, а также силами охраны (патрулями) или подразделениями быстрого реагирования.

Связанная с методами упреждения АНВ проблема состоит в том, что практически трудно количественно измерить зависимость эффективности СФЗ от количества применяемых технических средств и патрулей, количества дежурных сил. Наиболее сложной является задача определения вероятного направления проникновения нарушителя на объект.

Противодействие нарушителям предусматривает мероприятия сил охраны, предотвращающие АНВ, например, хищения или диверсии, после начала фактических действий нарушителей. Поэтому основные функции СФЗ целесообразно ограничить программными и аппаратными средствами, способными противодействовать наиболее

вероятным угрозам, сосредоточив усилия на возможностях упреждения их реализации.

К основным функциям СФЗ следует отнести: обнаружение АНВ (вторжения на объект) техническими средствами, обеспечение передачи данных и связи от средств обнаружения к силам охраны и подразделениям быстрого реагирования, автоматизированная оценка степени нарушения безопасности и уровня тревожности возникающей ситуации, задержка (противодействие) реализации АНВ или реализации угроз, формирование сценариев действий сил охраны, включая развёртывание дополнительных (резервных) сил и выработка перечня мероприятий, обеспечивающих высокую вероятность пресечения АНВ или другого противоправного действия.

Обнаружение определяется как раскрытие действий нарушителей, планируемых или совершаемых. К функции обнаружения относится также оповещение с помощью технических средств о намерениях, тайных или явных действиях нарушителей. Эффективность выполнения функции обнаружения измеряется вероятностью обнаружения и временем, необходимым для передачи сигнала тревоги и оценки достоверности сигнала тревоги.

Для осуществления в автоматическом режиме функций обнаружения попытки реализации АНВ, детектирования нарушителей, в системах безопасности широко используются оконечные датчики (устройства обнаружения нарушения стандартного состояния), основанные на различных физических принципах формирования тревожных протоколов (сигналов). Высокая надёжность срабатывания систем обнаружения АНВ и СФЗ в целом, а также для принятия оператором или автоматической системой решения об АНВ, например, о вторжении, может быть достигнута предложенными Колмогоровым методами логического голосования, то есть, логическим объединением сигналов, поступающих с различных датчиков. Например, при трех различных каналах обнаружения сигнал будет более достоверным, если один и тот же факт, будет подтвержден хотя бы двумя каналами, а при пяти независимых каналах, различающихся по используемым физическим принципам, тремя датчиками путем голосования с помощью логических схем И, ИЛИ, НЕ.

Наиболее эффективными представляются системы, в которых для формирования сигналов используются независимые (ортогональные) свойства нарушителя, например, оптические и акустические сигналы, инфракрасный и сейсмический или радиоволновый сигналы. Для повышения достоверности принятия решения об АНВ на защищаемом объекте применяются различные методы комбинирования сигналов, находящихся либо на одном рубеже защиты, либо на разных рубежах. Объединение сигналов по принципу совпадения (схема "И") позволяет снизить вероятность ложной тревоги. Возможно также и объявление тревоги по сигналу любого датчиков с высокой надежностью обнаружения, например, по сигналу от патруля, который может однозначно идентифицировать не только факт АНВ, но и суть нарушения системы защиты, а также определить количественно нарушителей. Применение в этом случае схемы "ИЛИ" позволяет снизить вероятность пропуска нарушителей.

Количество рубежей защиты в зависимости от требуемого уровня вероятности упреждения реализации угрозы АНВ может быть и больше двух. В этом случае, с учетом особенностей объекта защиты, возможны более сложные комбинации логических схем голосования, одновременно снижающие вероятность ложной тревоги и пропуска нарушителей и повышающие надежность обнаружения попытки АНВ.

Теория обнаружения, различения и оценивания сигналов разрабатывалась применительно к радиолокации. Развитие методов обнаружения позволяет применять их и в СФЗ, обеспечивая детектирование с единых позиций, используя самые разные физические принципы, например, радиолокацию, оптическую локацию (телевидение, инфракрасную технику), пассивный нейтронный анализ, терагерцовую спектроскопию, ионный дрейф, вибрационные датчики, ультразвуковую локацию и так далее.

Система обнаружения (детектирования) и оценки вероятности реализации угрозы (возникновения тревожной ситуации) должна предоставить силам реагирования СФЗ два вида информации:

- степень достоверности сигнала обнаружения нарушителя (насколько сигнал тревоги является истинным или ложным);
- место АНВ (нарушения) и количество (численность и оснащённость) нарушителей.

Эффективность системы в целом во многом зависит от качества и уровня системы передачи данных и связи между подсистемой наблюдения и регистрации (обнаружения АНВ и нарушителя) и силами подразделений охраны и быстрого реагирования. В данном факторе эффективности СФЗ большое значение имеет вероятность нарушения в системе передачи данных и связи, а также продолжительность времени передачи сигнала обнаружения. Эти два параметра взаимосвязаны.

Временной период от момента обнаружения АНВ до передачи первоначального сообщения о нем значительно зависит от формы, метода и средств передачи данных и связи, а также от объема передаваемой информации. Вероятность надежного срабатывания системы передачи данных, целеуказания и оценки реальности угрозы возрастает с каждым повторением до определенного числа повторений. При этом при каждом повторении содержание информации может в определенной степени изменяться, добавляя информацию о динамике развития АНВ, нарушителе или о нарушителях.

В силу своих психо-физиологических характеристик оператор любой системы, даже с высоким уровнем профессиональной подготовки, не способен в течение длительного времени поддерживать высокий уровень готовности к приему сигналов об АНВ, систематическому анализу обстановки и принятию решений. В этой связи практической необходимостью становится вопрос о внедрении автоматизированных систем оценки степени нарушения предписанных уровней безопасности и уровня тревожности возникающей ситуации.

Процесс принятия решения автоматизированной системой в большинстве случаев не требует визуализации информации и может основываться на процессе сопоставления полученных датчиками сигнатур попытки реализации угрозы АНВ с имеющейся в системе библиотекой сигнатур откликов. Эти функции может выполнять разработанный в ГосНИИ ГА комплекс «Кубок».

Особенностью применения теории принятия решений в интересах обеспечения безопасности для систем видеонаблюдения является трудность формализации характеристик наблюдаемых объектов, а также оснований для принятия решений. Априори имеется высокая неопределённость телевизионных изображений, отображающих процесс реализации АНВ, например, при преодолении нарушителем периметральных сооружений. В этом случае на экране монитора оператора появляются образы, имеющие определённый смысл. Однако при этом может возникать ряд нестандартных ситуаций, который не может быть сведен к даже к довольно обширному набору классифицируемых образов, пусть даже с простыми параметрами неопределённости (масштаб, положение, поворот).

Выполнение СФЗ функции задержки реализации любой угрозы АНВ состоит в организации замедления намеченных нарушителем планов, например, его продвижения к критически важным элементам инфраструктуры объекта защиты. Задержка обеспечивается пассивными техническими средствами (построение сложных препятствий и заграждений, замки или блокировка дверей и проходов) и активными мероприятиями силами охраны и подразделений быстрого реагирования, в том числе, с использованием технических средств (гиперзвуковые излучатели (пушки), отпугиватели, включая средства оповещения террористов-нарушителей о препятствиях, дымогенераторы, стробоскопические лампы-вспышки, шумосветовые гранаты и так далее). Эффективность СФЗ по параметру выполнения функции задержки измеряется длительностью времени, необходимого нарушителем для преодоления каждого из элементов задержки.

Таким образом, СФЗ должна выполнять функции задержки на основе сценариев противодействия АНВ. Эти функции должны быть выполнены на протяжении интервала времени, меньшего, чем продолжительность времени, необходимого нарушителем для выполнения их задачи. Продолжительность времени выполнения нарушителями своей

задачи зависит от эффективности их задержки системой физической защиты.

На основании вышеописанных процессов может быть сформированная модель взаимодействия СФЗ и нарушителей. Это позволяет разработать наиболее вероятные сценарии, необходимо только наполнить модель конкретными числовыми параметрами.

#### *Список литературы*

1. Закон РФ N 16-ФЗ “О транспортной безопасности” от 09.02.2007г.

05.23.11

С.П. Санников к.техн.н., Д.В. Кубасов

Тюменский государственный архитектурно-строительный университет,  
кафедра Автомобильных дорог и аэродромов,  
Тюмень, ksead@tgasu.ru

### ТЕХНОЛОГИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА БЕТОННОГО ОСНОВАНИЯ, ФРАГМЕНТИРОВАННОГО ОБЪЕМНОЙ ПЛАСТИКОВОЙ РЕШЕТКОЙ

*В работе представлена технология строительства бетонного основания автомобильных дорог с фрагментированием объемной пластиковой решеткой.*

Ключевые слова: *фрагментированное бетонное основание, жесткие цементобетонные смеси, технология строительства.*

Устройство дорожных одежд с асфальтобетонным покрытием на бетонном основании является перспективным направлением транспортного строительства и имеет ряд преимуществ. Так, в частности, бетонное основание имеет большую прочность и, выступая в качестве основного несущего слоя, может устраиваться без дополнительных нижележащих слоев.

Для устройства бетонных оснований на автомобильных дорогах лучше использовать жесткие цементобетонные смеси[1]. В случае их применения не требуется специальной техники для устройства. Укладка смеси может производиться обычными асфальтоукладчиками или самоходными щебнераспределителями (возможно применение и автогрейдера), уплотнение такого основания производится самоходными комбинированными катками.

В целом такие дорожные одежды обладают повышенным сроком службы, а также способностью воспринимать значительные нагрузки от транспорта. Применение в основании бетонов высоких классов прочности вызывает появление трещин на асфальтобетонном покрытии вследствие разных теплофизических характеристик материалов.

Снизить процесс образования трещин можно за счет уменьшения размера отдельной плиты. Это требует создания дополнительных деформационных швов. Однако процесс устройства швов достаточно трудоемок, при этом необходимо специализированное оборудование и материалы для заполнения.

Уменьшить длину отдельной плиты, снизив тем самым температурные напряжения, можно за счет **фрагментации** – разделения бетонного основания на блоки. В практике строительства и реконструкции дорог нашли применение два метода деления бетонного основания на блоки в процессе устройства дорожной одежды.

Первый метод: включает разделение после предварительного уплотнения в свежееуложенном незатвердевшем слое с применением специального оборудования [2]. Второй метод – дробление затвердевшего бетона на вторые-третьи сутки после устройства основания с применением специальных вибромолотов (данная технология нашла применение при реконструкции автомобильных дорог с бетонным основанием).

Возможна альтернативная технология – **фрагментирование** бетонного основания в процессе строительства объемной пластиковой решеткой (рис. 1) [3,4].

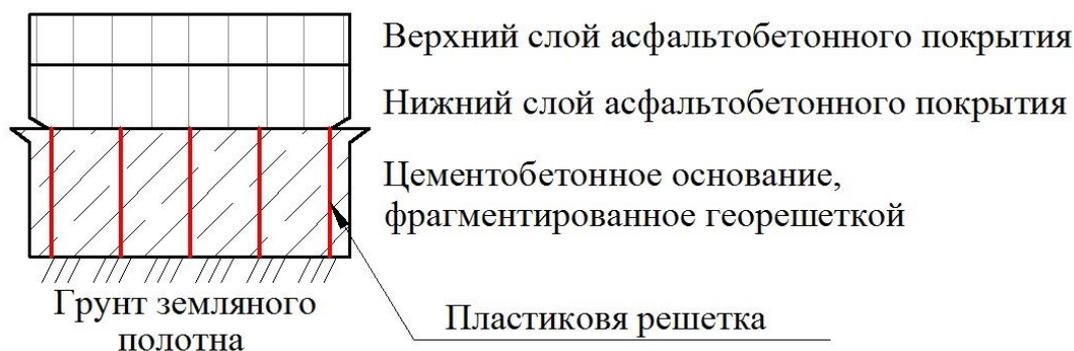


Рис. 1. Конструкция дорожной одежды с бетонным основанием, фрагментированным объемной георешеткой

Технология устройства такого основания несколько усложняется по сравнению с традиционной. При использовании в основании жесткой укатываемой смеси процесс строительства включает (Рис. 2.): подготовку нижележащего основания; укладку и закрепление георешеток; транспортировку цементобетонной смеси; заполнение ячеек; планировку поверхности основания; уплотнение; уход за бетоном.

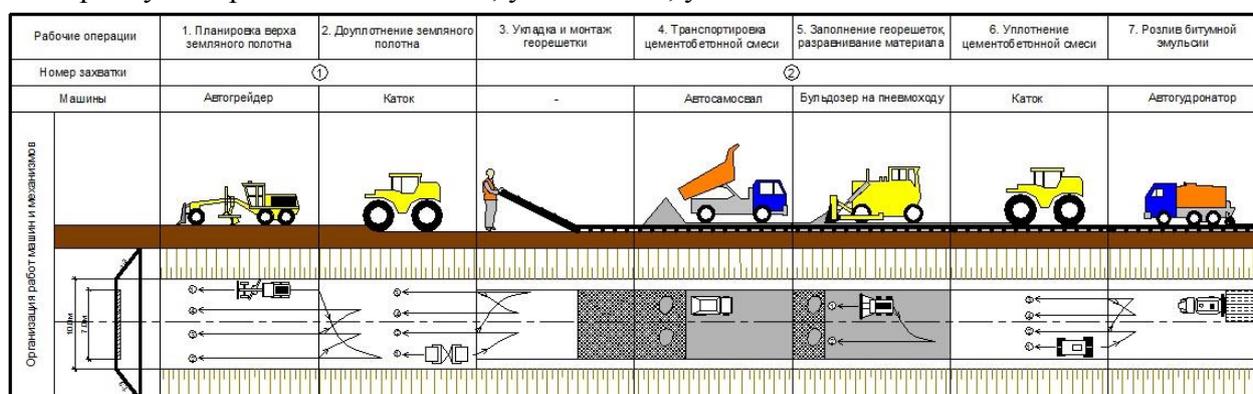


Рис. 2. Схема устройства бетонного основания, фрагментированного пластиковой решеткой

При подготовке основания производят планировку поверхности с приданием требуемых поперечных уклонов, а также при необходимости производится доуплотнение.

Укладка и закрепление георешеток осуществляется вручную. Предварительно вдоль левой и правой кромок забивают временные штыри, которые располагаются с шагом, равным размеру ячейки. Для обеспечения требуемого шага применяют шаблон из деревянной доски с отверстиями или шнур с разметкой.

После забивки штырей секцию решетки закрепляют с одной стороны и растягивают ее, закрепляя на временные штыри на противоположной стороне. Соседние секции решетки скрепляют скобами либо специальным степлером.

Транспортировку цементобетонной смеси производят автосамосвалами. Смесь непосредственно разгружают на закрепленную георешетку. Засыпку ведут методом «от себя», организуя движение автосамосвалов уже по устроенному слою (использование жесткой смеси позволяет организовать движение построечного транспорта по свежееуложенному слою). Разравнивание и заполнение ячеек выполняют погрузчиком или бульдозером на пневмоходу, при этом возможна предварительная планировка.

При засыпке необходимо следить, чтобы колеса машин не деформировали ребра решетки. В процессе планировки следят за величиной защитного слоя из цементобетонной смеси – она должна быть не менее 3–5 сантиметров. После засыпки временные штыри извлекают и используют на других смежных захватках при креплении георешеток.

Уплотнение жестких бетонных смесей осуществляют самоходными комбинированными вибрационными катками с пневматическими ведущими вальцами массой 13–16 тонн. Уплотнение производят от кромки к оси дороги. Первые 2–4 прохода выполняют без вибрации, последующие – с вибрацией. Общее количество проходов по следу составляет от 6 до 8 [5].

Уход за свежеложенным бетоном должен осуществляться сразу после окончания уплотнения и продолжаться до набора проектной прочности в соответствии с требованиями СНиП 3.06.03-85 п. 12.25; п. 12.26.

Допускается перекрытие основания слоями асфальтобетона сразу после уплотнения. В этом случае уход за основанием не производится [5].

Представленная выше конструкция дорожной одежды с применением фрагментированного бетонного основания в качестве эксперимента нашла свое отражение в рабочем проекте на капитальный ремонт улиц Пятницкой и Венской города Тюмени. Проект прошел государственную экспертизу и получил положительное заключение. На ближайшее время запланировано проведение работ по строительству экспериментального участка.

Одновременно с устройством фрагментированного бетонного основания на смежном участке улицы будет устроено не фрагментированное основание.

После строительства будет выполнен мониторинг и обследование участков с определением прочностных и деформационных характеристик, а также проведены визуальные наблюдения за процессами трещинообразования. Результаты сравнения двух участков позволяют судить о целесообразности использования данной технологии.

#### *Список литературы*

1. ТУ 218 РСФСР 620-90. Смеси бетонные жесткие для строительства цементобетонных покрытий и оснований автомобильных дорог и аэродромов / Дорожное научно-исследовательское и производственно-технологическое объединение НПО РОСДОРНИИ – Москва, 1991.
2. Клековкина, М.П., Карпов, Б.П., Совершенствование конструкций и технологии строительства дорожных одежд с бетонным несущим основанием: Диссертационная работа ГОУ ВПО СПбГАСУ / М.П. Клековкина, Б.П. Карпов. – Санкт-Петербург, 2010.
3. Кубасов, Д.В., Санников, С.П. Фрагментирование цементобетонных оснований для повышения трещиностойкости асфальтобетонных покрытий / Д.В. Кубасов, С.П. Санников // Научно-технический вестник Поволжья. – 2012. – № 1. – С. 183–186.
4. Шуваев А.Н, Кубасов, Д.В., Санников, С.П. Оценка влияния объемной георешетки на деформации бетонной плиты / Д.В. Кубасов, С.П. Санников // ГИПРДОРНИИ Актуальные вопросы проектирования автомобильных дорог. – 2013. – Выпуск 4(63). – С. 138–144.
5. ВСН 16-95. Инструкция по применению укатываемого малоцементного бетона в конструкциях дорожных одежд / Мостстройлицензия, 1995.

05.23.11

**С.П. Санников к.техн.н., С.А. Куюков к.техн.н., Д.В. Маслов**

Тюменский государственный архитектурно-строительный университет,  
кафедра автомобильных дорог и аэродромов,  
Тюмень, ssp2004@mail.ru

**АНАЛИЗ ПРИЧИН РАЗРУШЕНИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ  
НА ЗАБОЛОЧЕННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ ТЮМЕНСКОЙ ОБЛАСТИ  
(на примере Уватского района)**

*В работе представлены результаты мониторинга по выявлению причин разрушения автомобильных дорог на заболоченных территориях юга Тюменской области (Уватский район).*

Ключевые слова: *болото, торфяное основание, мониторинг, георадар, консолидация, некондиционный грунт.*

Освоение нефтяных месторождений на территории Тюменской области продолжается большими темпами. Для успешного развития и функционирования нефтепромыслов возникает необходимость в создании надежной дорожной сети. Как правило, на обустраиваемых территориях распространены торфяные грунты мощностью от 1,5 до 6,0 метров, что обусловлено географией района.

Накопленный опыт эксплуатации автомобильных дорог показывает, что при использовании слабых грунтов в основании возникают различного рода деформации. В некоторых случаях они имеют катастрофический характер и приводят к полному разрушению дорог.

Коллективом кафедры автомобильных дорог и аэродромов Тюменского государственного архитектурно-строительного университета был выполнен комплекс работ по выявлению причин возникновения деформаций земляного полотна на месторождениях Уватского района Тюменской области. Для инструментального мониторинга, по результатам визуального осмотра существующей дорожной сети, было выделено семь участков автомобильных дорог с различным сроком эксплуатации. Обследование участков предусматривало определение величин осадок, глубин болот, основных характеристик торфа в основании и грунта, применяемого для сооружения земляного полотна.

Определение осадки и глубины болота проводили на основании геодезической съемки с использованием результатов георадарного зондирования.

Определение характеристик торфяных грунтов выполняли согласно действующим нормативным документам. Отбор проб для определения влажности торфа производили с применением пробоотборника, сопротивление на сдвиг и показатель структурной прочности определялись сдвигомером-крыльчаткой СК-8.

Для определения физико-механических характеристик грунта насыпи, производили отбор проб из тела земляного полотна и сосредоточенных резервов.

Геодезическая съемка предусматривала определение абсолютных высотных отметок в характерных точках: по оси, бровкам, подошве земляного полотна и на поверхности болота на расстоянии 20 метров слева и справа от подошвы (рис. 1, а).

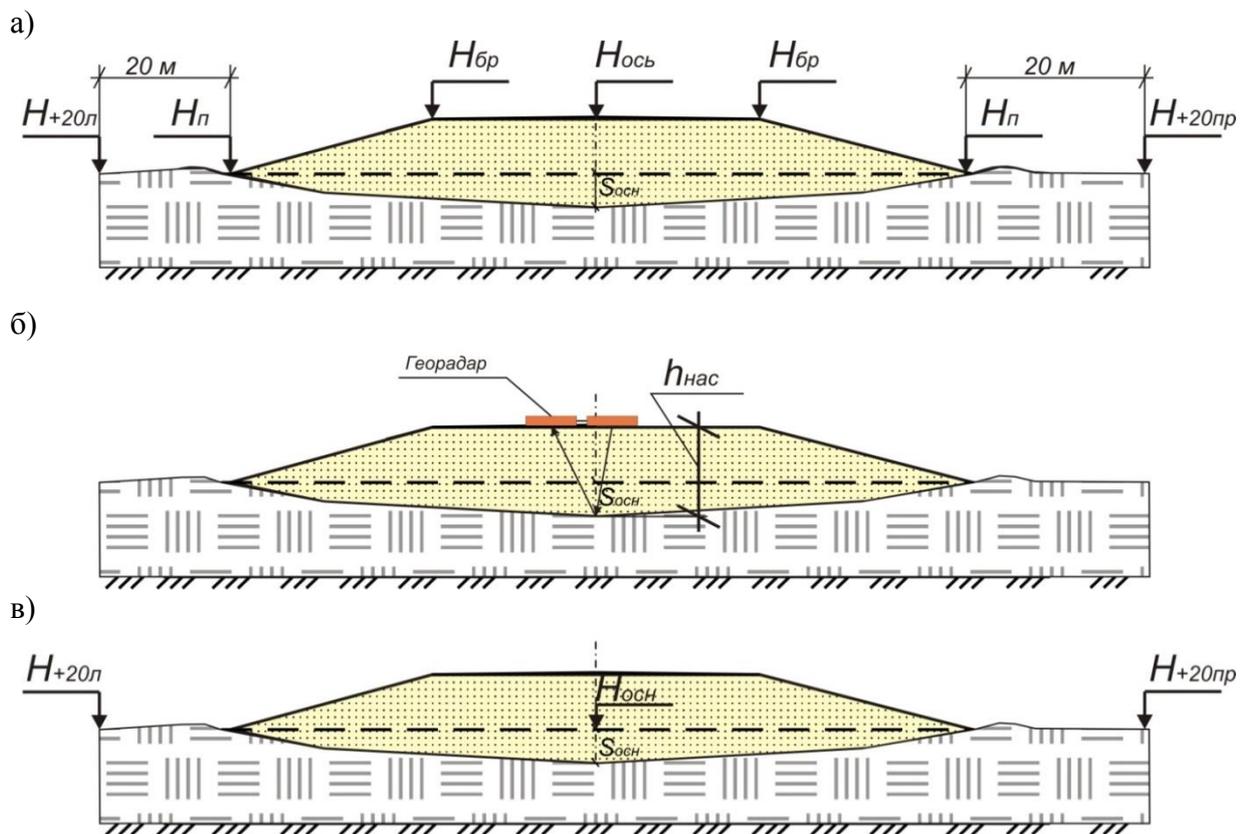


Рис.1.Порядок проведения инструментального мониторинга:

а – геодезическая съемка; б – георадарная съемка; в – схема для определения отметки поверхности болота;  $H_{ось}$ ,  $H_{бр}$ ,  $H_{п}$ ,  $H_{+20л}$ ,  $H_{+20пр}$ , – абсолютные отметки характерных точек геодезической съемки;  $h_{нас}$  – фактическая мощность насыпного грунта;  $H_{осн}$  – абсолютная отметка поверхности болота по оси дороги;  $S_{осн}$  – осадка основания

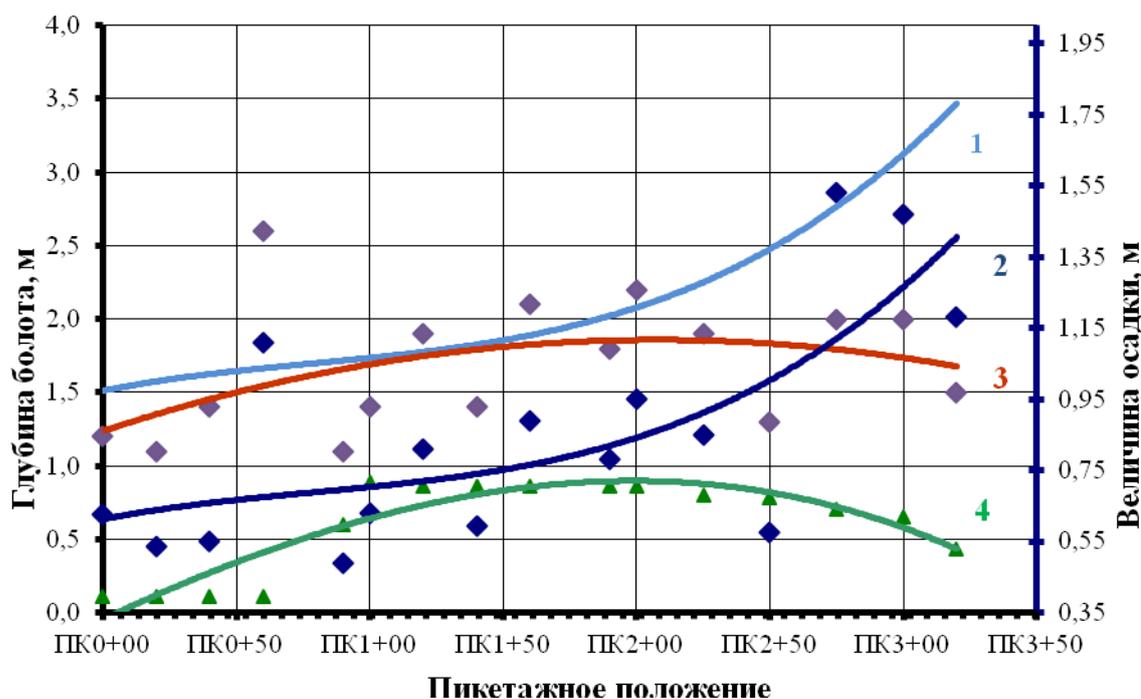
С помощью георадарного зондирования, с использованием научных разработок кафедры АДИА [1], определяли фактическую мощность насыпного грунта ( $h_{нас}$ ) и глубину болота (рис.1,б).

Величину осадки основания рассчитывали по формуле:

$$S_{осн} = H_{осн} - (H_{ось} - h_{нас}). \quad (1)$$

Отметку болота по оси земляного полотна ( $H_{осн}$ ) принимали, как полусумма отметок слева и справа с учетом допущения, что поверхность горизонтальна, а деформации болота от нагрузки происходят на участке шириной не более 20 метров (рис.1,в).

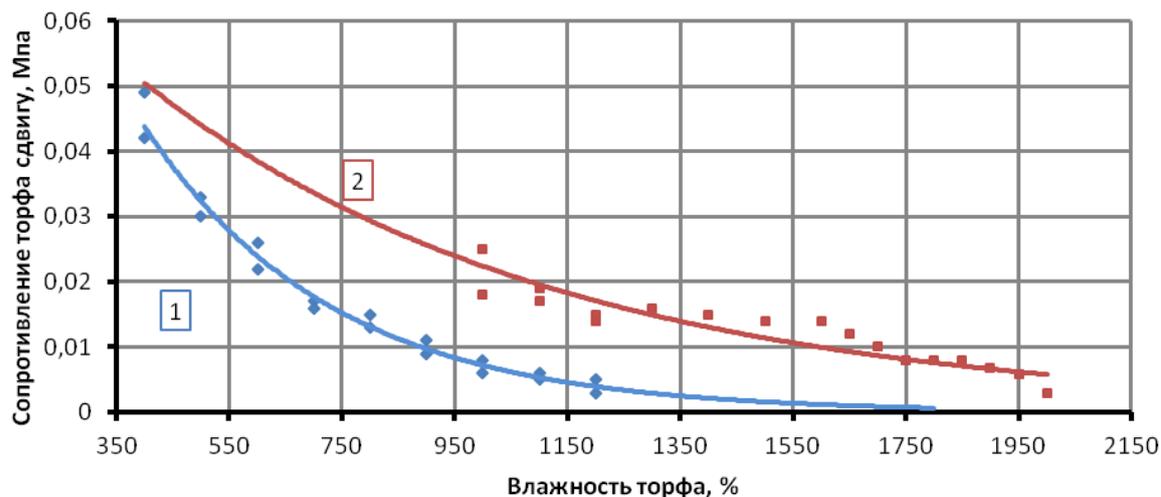
Сопоставляя величину осадки и глубину болота с данными проектной документации, в большинстве случаев были выявлены расхождения (рис.2). Проектная величина осадки (рис.2, кривая №4) значительно меньше, чем фактическая (рис.2, кривая №2).



*Рис.2. Результаты мониторинга участка автомобильной дороги:  
1 – глубина болота по данным ТюмГАСУ каф. АДиА; 2 – фактическая осадка по данным ТюмГАСУ каф. АДиА; 3 – глубина болота по проектной документации;  
4 – проектная (расчетная) осадка насыпи*

Заниженные проектные значения являются результатом недостоверных инженерно-геологических изысканий: выявлено, в частности, несоответствие фактической глубины болота проектным данным (рис.2, кривая №1 и №2). Такая неточность приводит к существенному повышению объемов земляных работ, а также увеличению периода консолидации и, как следствие, к разрушению преждевременно построенной дорожной одежды.

Анализ взаимосвязи характеристик торфяных грунтов (рис.3) показал отличие от аналогичных данных, представленных в ВСН 26-90 [2;3].



*Рис.3. Зависимость сопротивления торфа на сдвиг от влажности:  
1 – кривая по данным ВСН 26-90; 2 – кривая по данным ТюмГАСУ.*

Исследуемый торф имеет повышенную влажность и характеризуется более высокими прочностными показателями. Наличие большой структурной прочности объясняется

высокой степенью волокнистости торфяного грунта, что связано с условием формирования болота.

Исследование грунтов, применяемых для отсыпки земляного полотна, показало, что в основном используются переувлажненные глинистые грунты местных сосредоточенных карьеров. В первую очередь это связано с распространенностью таких грунтов на осваиваемой территории [4] и удаленностью объектов строительства от источников снабжения. Применение переувлажненных грунтов влечет за собой необратимые деформации земляного полотна автомобильных дорог.

Таким образом, выполненные работы позволяют выделить следующие основные причины разрушения автомобильных дорог на заболоченных территориях Уватского района:

- методология проектирования не соответствует суровым природно-климатическим и сложным грунтово-гидрологическим условиям местности;
- материалы инженерно-геологических изысканий не обеспечивают надежность при проектировании земляного полотна на слабых основаниях;
- использование местных некондиционных грунтов без дополнительного применения современных материалов и технологий неизбежно приводит к потере устойчивости дорог.

### Список литературы

1. Гензе Д.А. Зависимость диэлектрической проницаемости грунтов от их влажности / Гензе Д.А. // Научно-технический вестник Поволжья. – 2011. – №2. – С.74-77.
2. ВСН 26-90. «Инструкция по проектированию и строительству автомобильных дорог нефтяных и газовых промыслов Западной Сибири». М., 1991 г., 151 с.
3. Шуваев А.Н., Куюков С.А., Замятин А.В., Маслов Д.В., Пудовин А.В. Инновационные методы строительства земляного полотна автомобильных дорог на заболоченных территориях / Шуваев А.Н., Куюков С.А., Замятин А.В., Маслов Д.В., Пудовин А.В. // ГИПРОДОРНИИ Актуальные вопросы проектирования автомобильных дорог. – 2013. – Выпуск 4(63). – С. 190–196.
4. Шуваев А.Н., Замятин А.В. Теоретические основы деформирования грунтовых насыпей, возводимых в зимний период / А.Н. Шуваев, А.В. Замятин // Научный Вестник ВГАСУ. Строительство и архитектура: науч.- теор. журн. – 2011. - №2. - С.83-90.

05.13.18

**М.Ю. Сартасова**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
 высшего профессионального образования  
 «Южно-Уральский государственный университет»  
 (национальный исследовательский университет),  
 механико-математический факультет, кафедра прикладной математики,  
 Челябинск, sartasova@math.susu.ac.ru

### **ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ИМПУЛЬСНОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ**

*Приведено описание математической модели линейного излучателя, численного решения задачи моделирования электромагнитных волн, генерируемых наносекундным импульсом. Предложен алгоритм решения задачи расчета напряженностей поля излучения в точке наблюдения. Приводятся результаты вычислительного эксперимента, проведенного с помощью авторского программно-вычислительного комплекса.*

Ключевые слова: *математическое и численное моделирование, наносекундный импульс.*

#### **Введение**

За последние годы резко возрос интерес к изучению вопросов, связанных с формированием, излучением и распространением сверхкоротких импульсов (СКИ). Причина этого заключается в ожидании больших возможностей от использования СКИ с целью воздействия электрических разрядов на различные диэлектрические среды; для получения мощных импульсов лазерного излучения; для ввода и вывода заряженных частиц в ускорителях (в частности, в ускорителе со встречными пучками); для работ по нелинейной оптике, по ядерной физике (для питания искровых и стримерных камер) и т.д. [1,2,5].

#### **Математическая модель**

Вначале, для упрощения задачи, рассматриваем прямолинейный излучатель, простейший в конструктивном отношении, электрический вибратор конечной длины. Под воздействием ЭДС генератора в вибраторе возникают электрические токи, которые распределяются по его поверхности таким образом, что возбуждаемое ими электромагнитное поле удовлетворяет уравнениям Максвелла [3]:

$$\left. \begin{aligned} \operatorname{rot} \vec{H} &= \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} + \vec{I}, & \operatorname{rot} \vec{E} &= -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}, \\ \operatorname{div} \vec{D} &= \rho, & \operatorname{div} \vec{B} &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Физическая задача излучения электромагнитных волн соответствует математической задаче, которую называют начально-краевой для неограниченного пространства. В [7-10, 12] расчет полей в ближней и дальней зонах излучателя эффективно реализуется современными аналитическими методами. Однако для большинства излучателей СКИ единственный путь исследования численный [4]. Итак, необходимо найти решение уравнения:

$$\nabla^2 \vec{U} - \frac{\partial^2 \vec{U}}{a^2 \partial t^2} = -f(x, t), \quad (2)$$

которое удовлетворяет начальным и краевым условиям (в общем случае смешанного типа):

$$\left. \begin{aligned} U|_{t=0} &= U_0(x) \\ \frac{\partial U}{\partial t} \Big|_{t=0} &= U_1(x) \end{aligned} \right\}, \quad \alpha U(x, t) + \beta \frac{\partial U}{\partial n} \Big|_S = 0. \quad (3)$$

Под величиной  $U$  можно понимать любую из величин:  $A$  – векторный потенциал,  $E$  или  $H$  – напряженности электромагнитного поля.

Рассмотрим вопрос, каким требованиям в смысле гладкости функций могут удовлетворять излучающие токи и излученные ими поля. Если для начальных условий выбрано  $U_0 \in C^3(\mathbb{R}^3)$ ,  $U_1 \in C^2(\mathbb{R}^2)$ , а для функции  $f$  правой части (1) выбрано  $f \in L_2(\mathbb{R}^3)$  [6], то для класса решений получается:  $U \in C^2(\mathbb{R}^3)$  [6]. Если для  $U_0$  и  $U_1$  выбрано  $U_0 \in C^1(\bar{\Omega})$ ,  $U_1 \in C(\bar{\Omega})$ , а для  $f \in C(t, \infty)$ , где  $\Omega$  – ограниченная область с кусочно-гладкой границей  $S$ , то для решения определен класс функций  $U \in C^2(I_\infty) \cap C^1(I_\infty)$ , где  $(x, t) \in I_\infty = \Omega \times (0, \infty)$  [6]. Если  $f \in L_{2,1}(Q_T)$ ,  $U_0 \in W_2^1(\Omega)$ ,  $U_1 \in L_2(\Omega)$ , то обобщенное решение рассматривается в классе  $W_2^1(Q_T)$ , где  $Q_T = \{X(x, t), x \in \Omega, t \in [0, T]\}$ , [7]. В работе [8]  $U_0$  и  $U_1$  взяты из класса  $C^\infty(\mathbb{R}^4)$ , а решения рассматриваются в классе  $W_2^1 \cap C^\infty(\mathbb{R}^4)$ . В работе [9] для начальных данных взято  $U_0 \in W_2^1$ ,  $U_1 \in L_2(\Omega)$ , а решение рассматривается в классе  $W_2^1(\Omega)$ . В работе [10] для функции  $f$  взято  $f(x, t) \in L_2(\Omega)$ , для функций  $U_0$  и  $U_1$   $U_0 \in W_2^1(\Omega)$ ,  $U_1 \in L_2(\Omega)$ . При этом решение принадлежит классу:

$$U(x, t) \in C(I_\infty) \cap C^{2,2}(I_\infty).$$

Все приведенные выше ограничения обеспечивают существование и единственность соответствующим образом определенного решения рассматриваемой задачи.

В дальнейшем будем считать определяющими следующие два обстоятельства: ограниченность мощности, подводимой к излучателю и возможность проведения расчета полей в точке наблюдения  $p$  по соотношениям [12]:

$$\begin{cases} A_x(p, t) = \frac{\mu_0}{4\pi} \int_V \frac{I_x(t - R/c)}{R} dV, \\ A_y(p, t) = \frac{\mu_0}{4\pi} \int_V \frac{I_y(t - R/c)}{R} dV, \\ A_z(p, t) = \frac{\mu_0}{4\pi} \int_V \frac{I_z(t - R/c)}{R} dV. \end{cases} \quad (4)$$

$$\begin{cases} H_x(p, t) = \frac{1}{\mu_0} \left( \frac{\partial A_z(p, t)}{\partial y} - \frac{\partial A_y(p, t)}{\partial z} \right), \\ H_y(p, t) = \frac{1}{\mu_0} \left( \frac{\partial A_x(p, t)}{\partial z} - \frac{\partial A_z(p, t)}{\partial x} \right), \\ H_z(p, t) = \frac{1}{\mu_0} \left( \frac{\partial A_y(p, t)}{\partial x} - \frac{\partial A_x(p, t)}{\partial y} \right) \end{cases} \quad (5)$$

$$\begin{cases} E_x(p,t) = c^2 \int_0^t \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{\partial A_x(p,t)}{\partial x} + \frac{\partial A_y(p,t)}{\partial y} + \frac{\partial A_z(p,t)}{\partial z} \right) dt - \frac{\partial A_x(p,t)}{\partial t}, \\ E_y(p,t) = c^2 \int_0^t \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{\partial A_x(p,t)}{\partial x} + \frac{\partial A_y(p,t)}{\partial y} + \frac{\partial A_z(p,t)}{\partial z} \right) dt - \frac{\partial A_y(p,t)}{\partial t}, \\ E_z(p,t) = c^2 \int_0^t \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{\partial A_x(p,t)}{\partial x} + \frac{\partial A_y(p,t)}{\partial y} + \frac{\partial A_z(p,t)}{\partial z} \right) dt - \frac{\partial A_z(p,t)}{\partial t}. \end{cases} \quad (6)$$

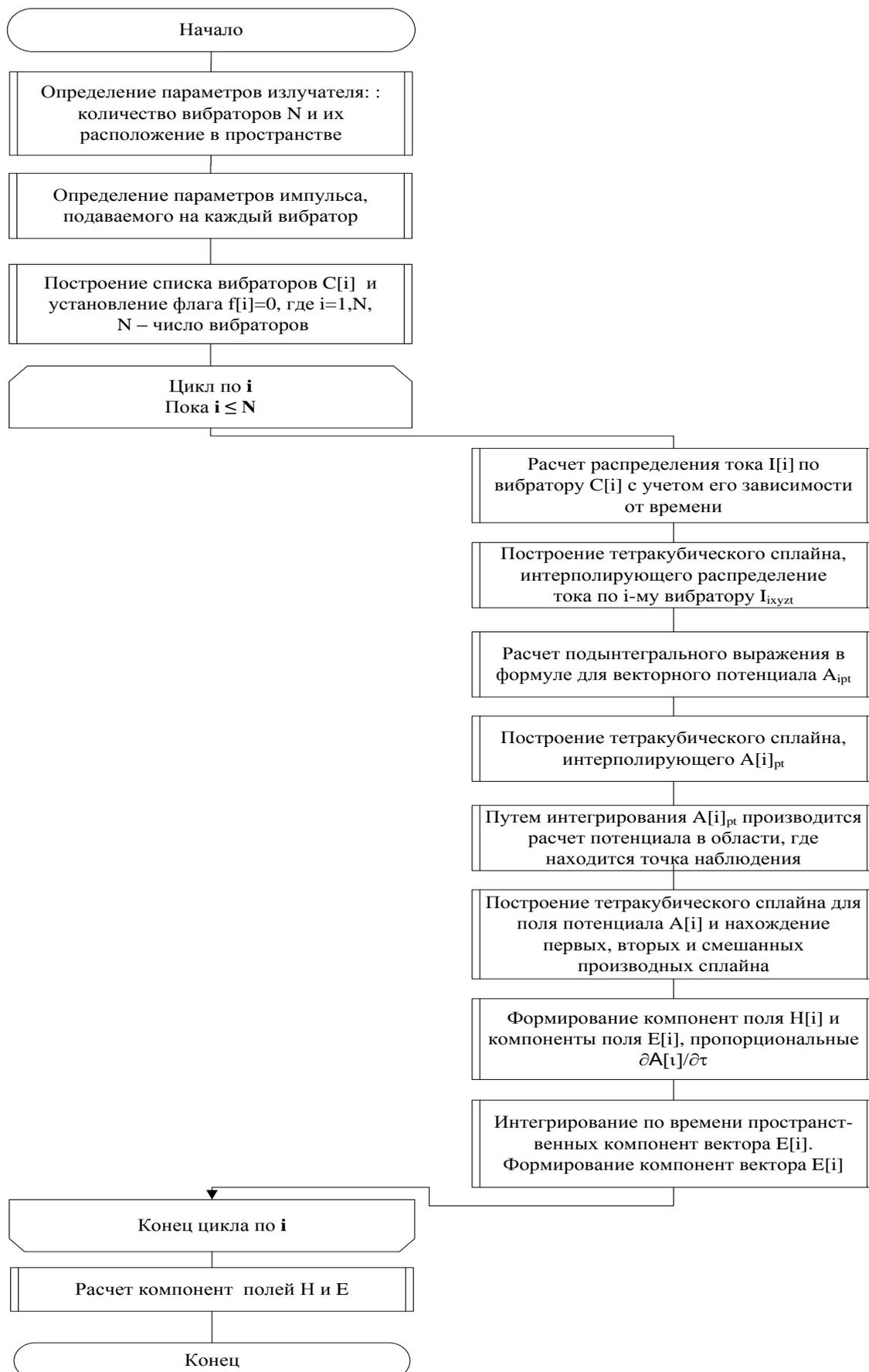
Эти обстоятельства определяют выбор класса функций, содержащего решения (1) и его правые части – пространства Соболева  $W_2^1[\Omega \times (0, \infty)]$ . Существование и единственность решения поставленной задачи является известным в математической физике фактом [8-10].

Для решения задачи, связанной с моделированием электромагнитного поля используется метод нахождения численного решения волнового уравнения с помощью метода сплайнов [4,6,12]. Проведенный вычислительный эксперимент по использованию тетракубического сплайна для интерполирования пространственно-временной функции показал, что интегрирование осуществляется с высокой точностью. В таблице 1 приведена относительная ошибка вычисления интеграла от функции  $f(x, y, t) = \sin(x) \cos(y)t$  с помощью тетракубического сплайна в зависимости от числа разбиений.

Таблица 1

I x J x T	5 x 5 x 5	7 x 7 x 7	9 x 9 x 9	11 x 11 x 11
$\Delta_{\text{отн}}$	$5 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-4}$

Разработанный алгоритм для данной математической модели представлен на рисунке 2.



**Рис. 2.** Алгоритм решения задачи расчета напряженностей поля излучения в точке наблюдения

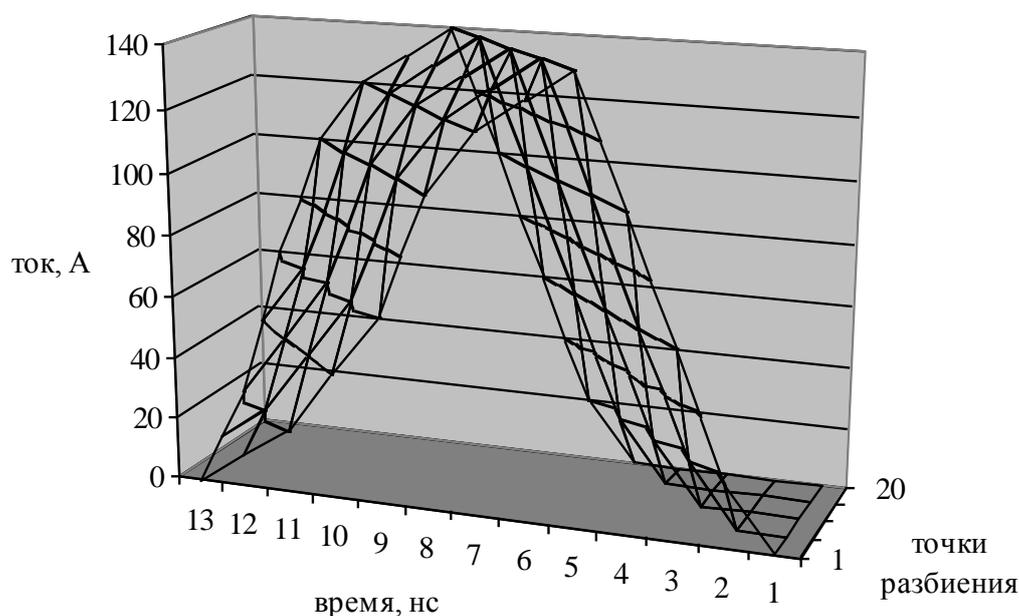
Алгоритм реализован на языке C++ в среде Borland Builder 10.0 с использованием библиотеки передачи сообщений MP.

Вычислительный эксперимент выполнен для следующих параметров излучателя и импульса:

1. Излучатель – прямолинейный круглый провод.
2. Длина излучателя – 1 м.
3. Время нарастания импульса – 1 нс.
4. Длительность импульса  $T_1$  – 3 нс.
5. Амплитуда импульса тока – 200 А.

Для этих параметров получено:

- а) длительность импульса  $T_2 = 10$  нс;
- б) полное время прохождения прямой волны – 13,3 нс.



**Рис. 3. Двумерное распределение тока на излучателе**

Из рисунка виден процесс распространения импульса тока по излучателю. Вначале он сравнительно быстро нарастает, а затем медленно убывает. Вначале излучателя импульс тока присутствует 13,3 нс. На конце излучателя импульс появляется через 3,3 нс и также присутствует 13,3 нс. Происходит как бы продвижение импульса по длине излучателя и по времени. Координаты точек наблюдения выбраны в прямоугольной области, которая расположена на расстоянии 100 м. Число точек разбиения при интегрировании по излучателю равно 20, при аппроксимации по времени – 75. Зависимость векторного потенциала во времени почти повторяет зависимость тока. За счет времени распространения тока по излучателю длительность поля потенциала больше, чем длительность импульса тока. Импульс поля – двуполярный.

### Список литературы

1. Крымский В.В., Литвинова Е.В., Сергеев С.Н. Влияние наносекундных импульсов на коррозионную стойкость стали //Предпринт. – Челябинск: ЮУрГУ, 1999. – 25 с.
2. Крымский В.В., Балакирев В.Ф. Воздействие наносекундных электромагнитных импульсов на свойства веществ// Доклады Российской академии наук, 2002. Т. 385. №6. с. 786–787.
3. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика. Том VIII. Электродинамика сплошных сред. – Москва: Наука, 1992. – 661 с.
4. Митра Р. Вычислительные методы в электродинамике. – Москва: Мир, 1977. – 485 с.
5. Наносекундные электромагнитные импульсы и их применение / В.С. Белкин, В.А. Бухарин, В.К. Дубровин и др. / под ред. В.В. Крымского. – Челябинск: Изд-во. "Татьяна Лурье", 2001. 119 с.
6. Крымский В.В., Бухарин В.А., Заляпин В.И. Теория несинусоидальных электромагнитных волн. – Челябинск: Издательство ЧГТУ, 1995. – 128 с.
7. Тихонов А.Н., Самарский А.А. Уравнения математической физики. – М.: Наука, 1977 – 735 с.
8. Владимиров В.С. Уравнения математической физики. – М.: Наука, 1981 – 512 с.
9. Иосида К. Функциональный анализ. – М.: Мир, 1967. – 623 с.
10. Соболев С.Л. Некоторые применения функционального анализа. – М.: Наука, 1988 – 333 с.
11. Крымский В.В., Лысенко Ю.В. Применение сплайнов в задачах синтеза антенн. – В сб.: Теория и техника радиосистем. – Челябинск: ЧПИ, 1980 – с. 102–104.
12. Сартасова М.Ю. Математическая модель и алгоритм для расчета импульсного электромагнитного поля. – Казань: Научно-технический вестник Поволжья, 2013. – с. 408-410

05.13.01

**А.В. Соколов, С.Л. Денисов к.т.н.**

ФГБОУ ВПО «Ивановский государственный университет»,  
кафедра информационных технологий в экономике и организации производства,  
Иваново, pserver@yandex.ru

### **МНОГОКРИТЕРИАЛЬНАЯ ЗАДАЧА ВЫБОРА ПРОГРАММНО-ТЕХНИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА (ПТК) УПРАВЛЕНЧЕСКОГО ПЕРСОНАЛА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОЛОГИИ ЭКСПЕРТНЫХ СИСТЕМ (ЭС)**

*В статье доказывается потребность и возможность использования методологии экспертных систем в качестве решения многокритериальной задачи выбора ПТК управленческого персонала. Разработана модель интеллектуальной системы, в которой даже неквалифицированный пользователь сможет, основываясь на финансовые возможности, сделать рациональный выбор конфигурации ПТК.*

*Ключевые слова: многокритериальная задача, экспертная система, программно-технический комплекс, лицо принимающее решение, вычислительная техника, программное обеспечение.*

Представленная структура экспертной системы дает возможность оказания консультационных услуг в выборе ПТК управленческого персонала, который зависит от предъявляемых требований к конкретному управленческому процессу, возможностей заказчика и положения внутреннего рынка.

#### **Актуальность вопроса.**

На сегодняшний день, наблюдается активное продвижение ПТК максимально близко к рабочему месту лица, принимающего решение (ЛПР), что влечет за собой возникновение множества новых проблем. Наиболее актуальной из них является рациональный выбор ПТК применительно к конкретной предметной области. Как правило, администрация предприятия обходит стороной необходимость проведения анализа автоматизации функций управления, тем самым, не определяя основные критерии к ПТК. Нередко случается так, что невозможно провести такое исследование из-за проблемы дефицита необходимых специалистов и соответствующих знаний и баз данных.

#### **Цель.**

Идея разработки ЭС выбора ПТК управленческого персонала заслуживает немалого интереса благодаря тому, что даже неквалифицированные пользователи смогут, основываясь на требования и финансовые возможности заказчика, сделать обоснованный выбор конфигурации ВТ и программного обеспечения.

Данная ЭС имеет ряд особенностей, которые отличают ее от иных систем:

- предоставляет возможность определиться с ПТК в зависимости от того, какие требования организационно-управленческого процесса и финансовые возможности заказчика;
- распространяет информацию о состоянии внутреннего рынка ВТ.

#### **Структура.**

В такой экспертной системе должны быть совмещены:

1. База данных, состоящая из трех разделов:
  - база данных, которая состоит в формальном описании управленческих процессов, которые зависят от функционала и необходимого уровня управления;
  - база технических средств, которая включает в себя характеристики ВТ, предлагаемые на рынке;

– база программных средств, которая состоит из описаний и характеристик программных продуктов;

2. база принципов логического вывода, который обеспечивает ассортимент конфигураций средств технического и программного характера, с удовлетворением предъявленных заказчиком требований;

3. средства, которые служат инструментом для объяснения и аргументирования рассуждений и решений системы;

4. средства, которые предоставляют возможность возврата к предыдущим логическим рассуждениям;

5. средства, лингвистического обеспечения, позволяющие осуществить интерфейс системы на языке пользователя;

6. средства системы логического вывода, обеспечивающие работу с базой знаний.

### **Описание структуры.**

В базы данных автоматизируемых функций управления входит ряд формальных описаний управленческого функционала. Предоставляется возможность объединить описания в категории, которые формируются средствами уровней.

База технических средств состоит из имеющейся информации на данный период времени на рынке ПТК. В характеристиках каждой единицы указывают прямое назначение, технические параметры, конфигурацию, стоимость комплектующих.

В базу программных средств входит весь ряд существующих программных продуктов, возможных для использования в рассматриваемой предметной области. Информация о каждом продукте включает в себя прямое назначение, условия и особенности применения, характеристики, цену.

Следует отметить, что при создании представленных баз данных используют сложные алгоритмы. При формировании баз данных, необходим сбор и обработка больших объемов информационного материала. Получить эту информацию можно лишь в том случае, если использовать положительный опыт работы региональных и информационно-диспетчерских служб, которые обрабатывают статистическую информацию.

Сложный элемент описываемой ЭС – ее база знаний, потому как в силу вступает ряд правил и особенностей логического вывода.

### **Особенности работы ЭС.**

Стоит обратить внимание на схему работы ЭС, для чего необходимо ввести некоторые значения. Итак, пусть:

$F = \{f_i\}$ ,  $i = 1, i_1$  - множество цепочек рассуждений, которые содержатся в базе знаний;

$T = \{t_j\}$ ,  $j = 1, j_1$  - множество описаний характеристик технических средств, которые содержатся в базе данных системы, к тому же, каждый элемент множества  $T$  является множеством, в которое входят элементы конфигурации технических средств, а так же их стоимость, то есть:

$t_j = T^j = \{t^j\}$ ,  $j = 1, J_j$ ,  $t^j = (t'', S_j)$

$P = \{P_k\}$ ,  $k = 1, k_1$  – описания программных средств (ПС), которые содержатся в соответствующей базе данных системы, к тому же, в каждом элемента множества  $P$  содержится пара элементов – подробное описание ПС и стоимость, то есть:

$P_k = (P_k, S^k)$

$L = \{l_n\}$ ,  $n = 1, n_1$  - совокупность правил, которая устанавливает соответствие между элементами множества  $F$ ,  $P$  и  $T$ .

$l_n = f(f_1 \Omega f_2 \Omega \dots \Omega f_l \rightarrow t_j \Omega p_k)$ ;

$R = \{r_m\}$ ,  $m = 1, m_1$ ,  $R \subset F$  - множество, которое выступает в роли совокупности функционала управления, которое задается как требования заказчика.

Формируя ПТК, принимая во внимание все требования заказчика, определяются глобальные требования, то есть, цель, которой должен соответствовать ПТК.

Обратим внимание на особенный механизм функционирования ЭС, с заданием требования – выбрать рациональную стоимость ПТК:  $S_{rat}$ , обеспечить соответствия автоматизируемых функций выполнения –  $R-\{r_1...r_{ml}\}$ .

1. Пользователю необходимо сформировать набор функций управления, которые ему необходимо автоматизировать при помощи ПТК:  $\{r_1, \dots, r_m\}$ , а так же задать целью формирование конфигурации ПТК с рациональной общей стоимостью.

2. Полученную директиву передают для обработки в базе знаний, далее следует определить правило, которое будет соответствовать заданным требованиям, то есть,  $(r_1\Omega r_2\Omega \dots \Omega r_{m1}) \Omega (f_1\Omega f_2\Omega \dots \Omega f_i) \in I_n=1$

3. Далее, используя выбранное правило  $I_n$ , рассматриваются различные конфигурации технических и программных средств.

4. Из множества представленных вариантов, которые отвечают требованиям  $R$ , выбирают вариант, который удовлетворяет рациональной стоимости.

$S_{rat} = rat (S_k + \sum S_j')$ , где  $v$  – это сформированные вариации ПТК,  $k=1, v, j = 1$ .

5. На последнем этапе формируется рекомендация и источник приобретения ПТК.

#### **Перспективы.**

Представленная ЭС подходит для реализации на современном компьютере. Немаловажный фактор состоит в том, что предоставляется возможность развития системы.

#### **Заключение.**

Реализация представленной модели имеет перспективное развитие и в теоретическом, и в практическом значении.

#### **Список литературы**

1. ГОСТ Р 7.05-2008 БИБЛИОГРАФИЧЕСКАЯ ССЫЛКА. Общие требования и правила составления
2. Гриценко В.И., Панышин Б.Н. Информационная технология: вопросы развития и применения. - Киев: Наукова думка, 1988. - 272 с
3. Денисов С.Л., Интеллектуальные информационные системы: учебное пособие, Иваново: ФГБОУ ВПО «Иван.гос. ун-т», 2012.

05.13.18

И.С. Стародубцев

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Институт математики и механики им. Н.Н.Красовского Уральского отделения  
Российской академии наук, Екатеринбург, StarodubtsevIS@ya.ru

## ЗАХВАТ ДВИЖЕНИЯ НА ОСНОВЕ ИЕРАРХИЧЕСКОГО ГИБКОГО СКЕЛЕТА

В статье представлен метод захвата движения и слежения на основе использования гибкого скелета с иерархическим представлением. Описанный метод является частью комплексного жестового интерфейса.

Ключевые слова: скелетизация, слежение, иерархическое представление.

### 1. Введение

В статье рассматривается подход к реализации *full-body-interaction* методов взаимодействия человека с виртуальными объектами на основе карт глубин сцены. Такие методы подразумевают взаимодействие при помощи оценки текущей позы тела (или его части) оператора в пространстве.

Подобную технику можно использовать для разработки систем *Motion caption*, использования в системах виртуальной и расширенной реальности. Для проведения такой оценки необходимо последовательно решить следующие задачи:

- **Сегментация** Необходимо решить задачу сегментации сцены, в данном случае заключающейся в выделении оператора в видимой сцене.

- **Скелетизация** Для дальнейшей оценки позы оператора как древовидно-упорядоченного набора, соответствующего шарнирам в иерархической модели человека, необходимо решить задачу скелетизации множества точек, соответствующих оператору, полученному на этапе сегментации.

- **Слежение** Результирующая оценка заключается в создании гибкого модельного объекта, имеющего те же параметры, что и пользователь, и установка его в положение, максимально близкое к наблюдаемому. Таким образом, эту задачу можно, в свою очередь, разбить на две подзадачи:

- *Первоначальная оценка параметров пользователя.* Решается единожды при захвате (инициализации) объекта интереса;

- *Подгонка (слежение).* Решается для каждого кадра в течение наблюдения

В данной статье будет рассмотрено решение задачи слежения.

### 2. Определения и терминология

**Определение 1** Рассмотрим множество точек  $T$  на евклидовой плоскости  $\mathbb{R}^2$ , имеющее вид планарного графа с древовидной структурой. Граф имеет конечное множество вершин, а его рёбра являются непрерывными линиями. С каждой точкой ребра  $t \in T$  графа  $T$  свяжем некоторый круг  $c_t$  с центром в этой точке. Это семейство кругов  $C = \{c_t | t \in T\}$  назовём *расширенным циркулярным деревом*. Граф  $T$  будем называть *осевым графом* циркулярного дерева. А объединение  $S_{Eg} = \bigcup_{t \in Eg} c_t$  всех кругов семейства  $C$ , порождённых ребром  $E$ , как точечных множеств, будем называть *силуэтом ребра  $Eg$*  циркулярного дерева. Силуэт ребра циркулярного дерева представляет собой замкнутое связное множество точек евклидовой плоскости  $S_{Eg} \subset \mathbb{R}^2$ , имеющее в качестве границы огибающую семейства кругов  $C_{Eg}$ ,  $Eg \subset T$ .

Множество  $S$ , как объединение в многолистную фигуру силуэтов всех ребер  $S_{Eg}: Eg \subset T$  будем называть *силуэтом циркулярного дерева*.

Данное определение является обобщением определения, данного в [1] на случай

многолистных плоских множеств и множеств с самопересечениями.

**Определение 2** *Плоским силуэтом*  $\mathcal{S}$  будем называть проекцию множества  $\mathcal{F}$  видимых точек сцены, соответствующих объекту интереса.  $\mathcal{S} = Pr_P(\mathcal{F})$ , где  $P$  – плоскость наблюдения,  $\mathcal{F} \subset \mathbb{R}^3$  – результат сегментации сцены, содержащий объект интереса. Плоский силуэт  $\mathcal{S}$  может быть представлен как плоское множество  $\mathcal{S} \subset \mathbb{R}^2$  или как многолистная фигура [2].

**Определение 3** Под *иерархическим представлением* подвижного скелета человека будем понимать такое представление, в котором скелет задаётся в виде древовидной структуры, в которой положение элемента-потомка определяется в локальных координатах как вращение (в заданных пределах) относительно элемента-предка, и, в случае корня (торса), положения в пространстве.

Будем считать, что *поза*, как множество трансформаций  $V$  гибкого скелета описывается в виде совокупности параметров (положений соответствующих шарниров)  $\vec{p} = (p_1, \dots, p_k)$ ,  $p_i \in D_i$ , где  $D_i \subseteq \mathbb{R}^2$  – множество допустимых деформаций  $i$ -того шарнира. Т.е.  $V = \{v(\vec{p})\}_{\vec{p} \in D}$ , где  $D = \bigcup_{i=1}^K D_i$ ,  $D \subseteq \mathbb{R}^{2k}$ . Аналогично введём также понятие *частичной позы* для  $i$ -того сегмента. Это значение, соответствующее положению  $i$ -того шарнира в наборе параметров  $\vec{p}$ , такое, что все шарниры  $j$ , такие что  $sharnir_j < sharnir_i$ <sup>1</sup> зафиксированы, а все остальные игнорируются.

### 3. Формализация задачи

Введём следующие обозначения. Пусть  $E$  – эталон, заданный в виде гибкого объекта, деформацией которого будем добиваться "максимальной похожести" с тестовым образцом.  $V = \{v^\alpha\}_{\alpha \in A}$  – совокупность всевозможных деформаций эталона, а  $v^\alpha(E)$  – гибкий объект, получающийся в результате применения трансформации  $v^\alpha \in V$  к эталону  $E$ . Здесь  $A \subset \mathbb{R}$  – множество индексов.  $T$  – осевой граф циркуляра эталона, а  $S$  – его силуэт.  $F$  – распознаваемая фигура, сегментированная в кадре,  $F_s$  – плоский силуэт  $F$ .

#### 3.1. Калибровка

Необходимо оценить индивидуальные параметры человека для эталона  $E$ , такие, как "длина" и "ширина" сегментов, соответствующих элементам иерархического представления скелета. Для калибровки воспользуемся специальной "калибровочной" позой. К такой позе есть несколько требований:

- **Поза должна быть открытой.** Полученный плоский силуэт  $F_s$  пользователя не должен содержать самопересечений.

- **Поза должна быть читаемой.** В позе должны быть хорошо видны и различимы элементы туловища (торс, плечи, предплечья и т.д.), которые в дальнейшем будем обрабатывать.

- **Поза должна быть удобной и не воспроизводимой случайно.** Поза должна быть удобной для пользователя в исполнении и не требовать от него совершать действия, причиняющие дискомфорт. Это требование не является обязательным и зависит от задачи.

В качестве примера позы, удовлетворяющей таким требованиям, можно рассматривать так называемую позу "Ψ".

Будем полагать, что гибкий эталон  $E$  и тестовый объект  $F$  находятся в одной "калибровочной" позе. Проведём процедуру скелетизации силуэта  $F_s$ , выделения изоморфных частей скелета с эталоном  $E$  и последующую скелетную сегментацию по получившимся скелету. Для этого используем метод, аналогичный описанному в [3] (похожий подход предложен в [4]).

Таким образом, мы получили представление

$$F = \bigcup_{i=1}^K F_i \quad (1)$$

и изоморфизм  $\phi: F_i \leftrightarrow E_i$ , сопоставляющий точки скелетов.

Зная изоморфизм скелетов, можно произвести оценку длин сегментов  $l_{seg}$  в изоморфной

<sup>1</sup>Используется частичный порядок в ориентированном дереве с корнем иерархического представления гибкого скелета человека

части скелета силуэта пользователя. Так же, проведя скелетную сегментацию [5], можно провести оценки "толщины" сегментов силуэта как среднего значения радиуса кругов в циркулярном представлении ребра, порождающего сегмент [6], в расширенном циркулярном дереве,

$$a_{seg} = \frac{\sum_{c_r \in C_{seg}} r}{l_{seg}},$$

где  $C_{seg}$  – множество циркуляров, центры которых лежат на собственном ребре сегмента.

### 3.2. Слежение

Рассмотрим функцию близости  $\mu(E, F)$  эталонного и предъявляемого тестовых образцов. Это будет аналогом функции энергии в методе активных контуров. Тогда задача минимизации записывается в виде

$$v_*^\alpha = \underset{v^\alpha \in V}{\operatorname{argmin}} \mu(v^\alpha(E), F). \tag{2}$$

Задачу (2) можно переформулировать следующим образом. Необходимо найти такое  $\vec{p}_* \in D$ , что

$$\mu(\vec{p}_*, F) = \mu(v_*^\alpha(E), F) = \min_{\vec{p} \in D} \mu(v(\vec{p}), F). \tag{3}$$

Опишем пространственный гибкий объект, состоящий из твердых частей  $C_k = (l_k, O_{k,\alpha}, r_{k,\alpha})$ ,  $\alpha \in A_k$ ,  $k = 1, \dots, K$ , каждая из которых является семейством сфер с центрами в  $O_{k,\alpha}$  радиуса  $r_{k,\alpha}$  и длиной  $l_k$ .

Будем считать, что у нас уже имеется выделенный тестовый объект  $F$ , представленный в виде объединения своих сегментов  $F = \bigcup_{i=1}^K F_i$  с плоским силуэтом  $F_s = \bigcup_{i=1}^K F_i^S$ , и эталон  $E$ , также представленный как  $E = \bigcup_{i=1}^K E_i$ , и с силуэтом  $S = \bigcup_{i=1}^K S_i$ , полученным как проекция циркуляров соответствующих сегментов и изоморфизм  $\phi: F_i \leftrightarrow E_i$ , сопоставляющий точки скелетов.

Введем функцию частичной энергии  $\mu_i$  как площадь симметричной разности соответствующих сегментов:

$$\mu_i(v(\vec{p}), F) = \operatorname{Area}(F_i^S \setminus S_i) + \operatorname{Area}(S_i \setminus F_i^S). \tag{4}$$

Тогда в качестве функции полной энергии скелета как гибкого объекта можно рассматривать сумму частичных энергий по всем сегментам:

$$\mu(\vec{p}, F) = \sum_{i=1}^K \mu_i(v(\vec{p}), F). \tag{5}$$

Используя это, можно переписать задачу (3) в следующем виде, разбив её на  $K$  подзадач

$$\mu_i(v(\vec{p}_*), F) = \min_{s_i(\vec{p}) \in D_i} \mu_i(v(\vec{p}), F), i = 1, \dots, K, \tag{6}$$

последовательно<sup>1</sup> решая которые, мы получим искомый набор  $\vec{p}_*$ , который будет решением задачи (3).

При решении каждой такой задачи будут сравниваться попарно между собой отдельные сегменты: торс с торсом, плечо с плечом и т. д. То есть этап поиска начального приближения присутствует неявно.

Минимизация частичной энергии (6) для  $i$ -того шарнира выполняется за один шаг, при условии, что выполнена минимизация для всех его предков. Пусть  $T_i^F$  серединная ось  $i$ -того сегмента тестового плоского силуэта  $F_s$ . Тогда, если отрезок  $L$ , получившийся в результате проекции на плоскость наблюдения записывается в радиальной системе координат как  $(\rho, \theta)$ , то, зная длину  $l$  образа  $T_i^F$  отрезка  $L$ , углы  $\alpha_i^*$  и  $\phi_i^*$ , которыми задаётся частичная поза  $i$ -того шарнира  $p_i = (\alpha_i, \phi_i)$ , можно получить из следующих простых геометрических соотношений:

<sup>1</sup>В порядке обхода от корня дерева к листьям в дереве, соответствующем иерархическому представлению гибкого скелета человека

$$\begin{aligned}\alpha_i^* &= \theta, \quad \alpha_i^* \in [0, 2\pi) \\ \cos(\phi_i^*) &= \frac{\rho}{l}, \quad \phi_i^* \in \left[-\frac{\pi}{2}, \frac{\pi}{2}\right] \\ (\alpha_i^*, \phi_i^*) &\in [0, 2\pi) \times \left[-\frac{\pi}{2}, \frac{\pi}{2}\right] \cap D_i\end{aligned}\quad (7)$$

Второе уравнение может иметь два решения, поэтому для выбора одного из них воспользуемся информацией о глубине сцены в соответствующей точке.

Получив  $p_i^* = (\alpha_i^*, \phi_i^*)$ , которое является решением задачи (6), можно решать эту же задачу для его потомка<sup>1</sup>, если такой есть. Найдя все  $K$  таких параметров, мы получим  $\vec{p}_*$ , являющимся решением (3).

#### 4. Заключение

В статье предложен метод, позволяющий свести решение задачи минимизации (2,3) к решению последовательности  $K$  простых подзадач за счёт использования иерархического представления скелета. Так же это позволяет использовать процедуру калибровки по единственной подготовленной позе вместо подготовленной базы поз [8].

#### Список литературы

1. Мистецкий Л.М. Сравнение изображений гибких объектов на основе нормализации // GraphiCon'2007. Москва: 2007. Июнь, 23-27.
2. Мехедов И.С. Многолистная плоская фигура и её серединная ось // Изв. вузов. Математика. 2011. № 12. С. 42–53.
3. Okhlopov A., Domakhina L. Shape comparison based on skeleton isomorphism //VISAPP. 2009. PP. 237–242.
4. Yuille A.L., Zhu S. C. *Forms: A flexible object recognition and modeling system* //IJCV. 1996. T. 20. PP. 187–212.
5. Домахина Л.Г., Охлопков А.Г. Изоморфные скелеты растровых изображений. // Труды 18-ой международной конференции ГРАФИКОН-2008, Москва, 2008.
6. Домахина Л.Г. Об одном методе сегментации растровых объектов для задач преобразования формы // Труды 13 всероссийской конференции Математические методы распознавания образов (ММРО-13). 2007. С. 311–314.
7. Местецкий Л.М., Петрова Л.Г. Расчет гомеоморфизма многоугольников с изоморфными базовыми скелетами // Искусственный интеллект. 2006. No 2. С. 192–196.
8. Бакина И.Г., Цискаридзе А.К., Местецкий Л.М. Метод активного скелета в задаче распознавания формы изображений // Доклады 19-ой Международной конференции по компьютерной графике и зрению ГрафиКон'2009. Москва, 2009. No 19. С. 279–282.

---

<sup>1</sup>Используется частичный порядок в ориентированном дереве с корнем иерархического представления гибкого скелета человека

05.23.11

А.А. Тестешев к.т.н., В.Д. Тимоховец

ФГБОУ ВПО «Тюменский государственный архитектурно-строительный университет»,  
кафедра «Автомобильных дорог и аэродромов», г. Тюмень, verochka1987@mail.ru

### УПРАВЛЕНИЕ СКОРОСТНЫМИ РЕЖИМАМИ НА ДОРОГАХ В НЕБЛАГОПРИЯТНЫХ ПОГОДНЫХ УСЛОВИЯХ В ЗИМНИЙ ПЕРИОД

*В работе рассмотрен вопрос повышения безопасности дорожного движения в зимний период за счет применения системы управления скоростными режимами транспортных потоков.*

Ключевые слова: *система управления скоростными режимами; мультимодальные системы.*

Транспортно-эксплуатационные характеристики автомобильных дорог Российской Федерации, большая часть территории которой расположена между 50-й параллелью и Северным полярным кругом, существенно ухудшаются в зимний период, что делает его не только самым сложным и ответственным для субъектов дорожного хозяйства, но и для всех участников дорожного движения.

Ухудшение сцепных качеств дорожных покрытий, вызванное появлением снежно-ледяных отложений, приводит к снижению скорости движения транспортных средств и повышению дорожно-транспортной аварийности.

По экспертным оценкам, на дорогах федерального значения Уральского федерального округа, суммарный вклад в общую аварийность дорожно-транспортных происшествий (ДТП) за зимний период по сопутствующим неблагоприятным и неудовлетворительным дорожным условиям, на 8-10% больше чем в летний (рис. 1). При этом абсолютное число ДТП за зимний период меньше чем в весенне-летне-осенний период на 30-34%.

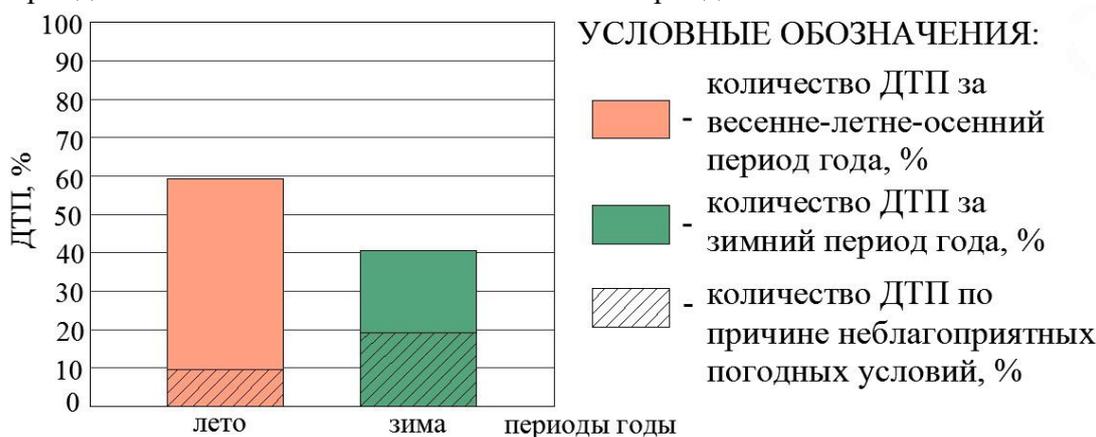


Рис. 1 – Количество ДТП с 2005 по 2012 гг. на дорогах федерального значения Уральского федерального округа

Детальный анализ официальной статистики дорожной аварийности в зимний период показал, что порядка 31% всех ДТП происходит с такими характерными нарушениями правил дорожного движения (ПДД), как «несоответствие скорости конкретным условиям» (19%) и «неправильный выбор дистанции» (18%) водителями автомобилей. Совокупный учет этих факторов свидетельствует о трудности самостоятельного выбора значительной частью водителей безопасного скоростного режима в неблагоприятных и неудовлетворительных дорожных условиях.

Тренд качественного улучшения безопасности при минимизации затрат, повышения

уровня обслуживания пользователей дорог за счет развития дорожного сервиса и систем автоматизированного управления движением с применением информационных технологий заложен в федеральные целевые программы «Повышение безопасности дорожного движения в 2013 - 2020 годах» и «Развитие транспортной системы России (2010–2015 годы)».

В тоже время, традиционный путь развития дорожного хозяйства России, связанный с увеличением ресурсов для поддержания требуемого уровня зимнего содержания дорог, при нынешнем состоянии экономики государства представляется маловероятным.

Решением задачи модернизации управления процессами зимнего содержания дорог является реализация принципа менеджмента качества «управление, основанное на фактах» в создании и развитии интегрированных мультимодальных систем, основанных на превентивном реагировании дорожных служб на неблагоприятные и опасные погодноклиматические факторы и оперативном информировании участников дорожного движения об изменениях условий движения (рис.2).

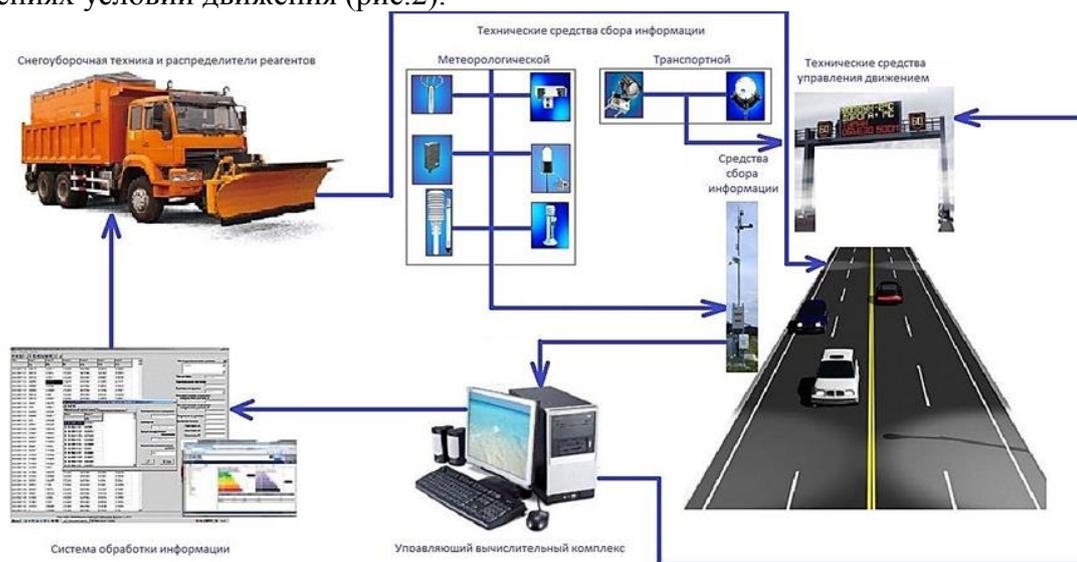


Рис. 2 – Структурные элементы системы управления и их взаимосвязь

Системы, действующие по данному принципу, успешно зарекомендовали себя в странах с похожими климатическими условиями, например США [1], Норвегии, Швеции, что подтверждает актуальность их создания и необходимость разработки научно обоснованных принципов функционирования системы и ее отдельных элементов, адаптированных к российским условиям.

Принципиальное функционирование системы управления зимним содержанием основано на использовании программно-целевого подхода и включает следующие последовательные управленческие функции: прогнозирование, планирование, нормирование, контроль, анализ, регулирование и обратную связь [2].

Первичные сведения о состоянии дорожного покрытия и погодных условий поступают от информационных ресурсов специализированного дорожного метеорологического обеспечения (СДМО), а о характеристиках транспортных потоков – через системы автоматического мониторинга транспортных потоков (АМТП) на управляющий вычислительный комплекс.

Далее в зависимости от состояния дорожного покрытия, характеристик транспортных потоков, ожидаемых погодных условий и технологических операций по зимнему содержанию дороги производится выбор стратегии производства работ, предупреждения участников дорожного движения и управляющих действий по обеспечению требуемого эксплуатационного состояния.

Оперативное управление и диспетчерский контроль выполняемых операций осуществляются глобальной навигационной спутниковой системой и установленными в дорожной технике бортовыми навигационно-связными блоками.

Эффективность принятых воздействий проверяется повторными процедурами, выполняющих роль обратной связи, делая процесс управления замкнутым относительно всех функций управления.

Как показывает зарубежный опыт, данные системы позволяют повысить безопасность движения не только за счет уменьшения времени нахождения дороги в ненормативном состоянии, но и за счет адаптации скоростных режимов под конкретные дорожные условия на время действия неблагоприятных и опасных погодных-климатических факторов. Информационное обеспечение пользователей дорог об установленных скоростных режимах движения на этот период осуществляется через дорожные знаки с переменной информацией.

Необходимость возложения дополнительных функций на субъекты дорожного хозяйства по управлению скоростными режимами на участках дорог общего пользования взамен пункта 10.1 действующих ПДД с точки зрения системного подхода обусловлена наличием у дорожников репрезентативной информации о метеорологических, транспортных и дорожных условиях, получаемой через информационные ресурсы СДМО и АМТП.

Методологической основой назначения стратегии управления скоростными режимами является алгоритм предложенный А.П. Васильевым [3], преобразованный с учетом факторов, определяющих состояние дорожного покрытия, в структурную зависимость (рис.3).



Рис. 3 – Структура назначения стратегии управления скоростными режимами

Основой выбора скоростными режимами являются математические зависимости, основанные на теории транспортных потоков и процессах взаимодействия колеса автомобиля с дорожным покрытием [4, 5].

На сегодняшний день в российской системе нормирования и стандартизации в строительстве планомерно идут процессы по созданию пакетов стандартов и нормативов по перспективным направлениям модернизации дорожного хозяйства Российской Федерации. Выполненный патентный поиск показал, что разработанные несколько десятилетий назад методики расчета скорости движения не позволяют в полной мере применить их для оперативного управления скоростными режимами в существующих условиях. Такие существенные факторы, как тягово-динамические характеристики современных транспортных средств, наличие у них систем активной и пассивной безопасности (например, наличия ABS и других ассистентов), интенсивность и состав современных транспортных потоков, характерные виды зимней скользкости и т.д. требуют необходимости учета в адаптированных к сегодняшним реалиям методиках расчета скоростных режимов.

В общем виде используемая математическая модель представляет собой функцию, учитывающую динамический габарит транспортного средства (включая длину тормозного пути) и сцепные качества покрытия при различных расчетных состояниях:

$$V = f(\underbrace{\rho; N}_1; \underbrace{\varphi; S_t}_2; \underbrace{t_{\text{покр}}; W}_3) \quad (1)$$

- где 1 – характеристики транспортного потока: плотность  $q$ , интенсивность движения  $N$ ;  
2 – параметры, характеризующие дорожные условия: коэффициент сцепления  $\varphi$ , тормозной путь  $S_t$ ;  
3 – факторы, характеризующие погодно-климатические условия: температура покрытия  $t_{\text{покр}}$ , влажность воздуха  $W$ .

Наряду с рыхлым снегом, снежным накатом и гололедом, были учтены такие расчетные состояния покрытия как гололедица, черный лед и техногенный гололед, возникающий при несвоевременной очистке проезжей части от остатков противогололедных материалов (ПГМ).

Отсутствие нормируемых значений показателей, используемых в математической модели, предопределило необходимость выполнения крупномасштабных экспериментальных исследований по формированию банка данных сцепных качеств расчетных состояний покрытий и разработки оперативных способов определения коэффициента сцепления в зимний период, характеризующих пневматику колес современных автомобилей.

В настоящее время ведутся переговоры о реализации пионерного проекта по внедрению системы управления скоростными режимами на дорогах федерального значения Тюменской области.

Реализация системы управления скоростными режимами, интегрированной в менеджмент качества зимнего содержания дорог позволит:

- выровнять скоростные режимы движения и добиться снижения эмиссии отдельных загрязнителей в окружающую среду на 2-4%;
- уменьшить себестоимость содержания за счет снижения количества распределяемых реагентов на 15-34%;
- сократить время пребывания дорожного покрытия в состоянии отличного от нормативного на 10%;
- снизить величину транспортной составляющей в себестоимости продукции и увеличить безопасность движения на 25%.

### *Список литературы*

1. Balke, K., P. Songchitruksa, H. Liu, R. Brydia, D. Jasek, and R. Benz. CONCEPTS FOR MANAGING FREEWAY OPERATIONS DURING WEATHER EVENTS. Report 0-5278-1. 2007. <http://tti.tamu.edu/documents/0-5278-1.pdf/>, Accessed February, 2007.
2. Инновационные технологии управления содержанием дорог и их метеорологическое обеспечение /А.Н. Шуваев, А.А. Тестешев, В.Д. Тимоховец, А.В. Сергеев // Актуальные вопросы проектирования автомобильных дорог: сб. науч. тр. ОАО «ГИПРОДОРНИИ». – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та. – 2013. – Вып. 4 (63). – С.198-207.
3. Васильев А.П. Эксплуатация автомобильных дорог и организация дорожного движения: учебник / А.П. Васильев, В.М. Сиденко; под. ред. А.П. Васильева.–М.: Транспорт, 1990.– 304 с.
4. Экология зимнего содержания автомобильных дорог. Обзорная информация. Вып. 3 / Вл. П. Подольский, Т.В. Самодурова, Ю.В. Федорова. – М.: ФГУП «Информавтодор», 2003. – 62 с.
5. Руководство по оценке пропускной способности автомобильных дорог. Минавтодор РСФСР. – М.: Транспорт, 1982. 88 с.

05.13.19

**И.С. Федоров, Г.П. Жигулин**

Санкт-Петербургский государственный национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики,  
факультет «Институт комплексного военного обучения»,  
кафедра мониторинга и прогнозирования информационных угроз,  
Санкт-Петербург, igor.netfantom@gmail.com

### **ХРАНЕНИЕ ИНФОРМАЦИИ В СИСТЕМЕ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ КОМПЬЮТЕРНЫХ ПРЕСТУПЛЕНИЙ И ОБРАЗОВАНИЯ ДОКАЗАТЕЛЬНОЙ БАЗЫ ПРИ ИХ СОВЕРШЕНИИ НА ОСНОВЕ КОНТРОЛИРОВАНИЯ ЭКРАНА ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ**

*Данная статья рассматривает проблемы контролирования действий сотрудника за компьютером. Проводится обзор существующих методов хранения данных о действиях сотрудника за компьютером, выявляются их недостатки, и проводится обзор способа их решения.*

Ключевые слова: экран пользователя, контролирование персонала, внутренние угрозы.

Целью данной работы является анализ способов хранения визуальной информации, записанной с экрана пользователя для предотвращения компьютерных преступлений и образования доказательной базы при их совершении.

Существующие на данный момент системы, реализующие этот принцип, имеют ряд недостатков [1]:

- ведется запись отдельно взятых изображений, а не видео потока;
- данные передаются серверу, но в случае разрыва сети работа компьютера не блокируется и сбор данных о действии сотрудника прекращается;
- программное обеспечение распространяется с закрытым кодом и может содержать угрозу для организации;
- отсутствие кроссплатформенности;
- при всех недостатках цена на данное программное обеспечение высока.

Устранение данных недостатков позволяет построить более надежную систему и обеспечить контроль над безопасностью охраняемого объекта [2,3].

После устранения этих недостатков с использованием данных, представляемых системой, у администраторов и руководства организации появляются неоспоримые доказательства несанкционированной деятельности пользователей, и только с использованием вышеупомянутых мер возможно оперативное исправление возникших проблем [4,5].

В данной статье наибольшее внимание будет уделено недостатку, связанному с записью отдельных изображений вместо видео потока. При решении данного недостатка важно учесть качество сохранённых данных и удобство их хранения.

Для определения оптимального варианта передачи и хранения данных с экрана пользователя было проведено сравнение следующих способов сжатия и передачи изображения:

- изображения JPG 1 раз в сек. (высокое и низкое качество);
- изображение GIF 1 раз в сек. (большое и маленькое число цветов в индексе);
- видео поток, сжатый с помощью популярного кодека H.263.
- видео поток, сжатый с помощью кодека VP8.

Кодек VP8 был разработан компанией On2 и сейчас поддерживается и улучшается купившей его компанией Google. Он был выбран в первую очередь из-за бесплатной

лицензии, открытого исходного кода и наибольшей производительностью среди бесплатных решений.

Кроме того кодек VP8 имеет следующие особенности [6]:

- Golden Frames — Это опорные кадры, хранящиеся в отдельном буфере и допускающие ссылку на себя спустя значительное время после их декодирования.
- Повышенная устойчивость к потере пакетов (кадры типа Recovery строятся не на базе непосредственно предшествующих кадров).
- Loop Filtering (фильтрация артефактов от DCT-кодирования, может применяться по разному к частям кадра с быстрым движением, с медленным движением, к неизменным частям).
- Multicore adaptability (возможно кодирование со множеством слабо зависимых подпотоков, позволяющее масштабировать декодирование на многоядерных архитектурах).
- Упрощено по сравнению с предыдущими кодеками On2 энтропийное кодирование и субпиксельное предсказание для ускорения декодирования.
- Realtime Quality — кодек имеет профили, оптимизированные для проведения видео-конференций в реальном времени.

По данным сетевой статистики сейчас наиболее часто среди пользователей используется одно из 3-х разрешений экрана [7]:

- 1) 1366x768 (26%)
- 2) 1280x1024 (11.4%)
- 3) 1280x800 (9.5%)

В качестве разрешения экрана для проведения тестов лучше выбрать 1280x1024, так как оно весит больше всего из представленных, а отражает ближайшие к максимальным требования к сжатию, величине канала связи и объему диска для архива.

Для исследования количества необходимого трафика для передачи видео потока с изображением экрана пользователя выше перечисленными способами, было выбрано следующее бесплатное программное обеспечение:

- 1) CamStudio Recorder v2.7.2 для записи видео потока с экрана;
- 2) VirtualDub 1.8.6 для сжатия оригинального видео потока кодеками;
- 3) MSU Video Quality Measurement Tool 3.0 для удобства покадрового сравнения полученных результатов по соотношению сигнал/шум.

Исследование проводилось в момент работы команды “tracert google.com” в консоли. Работа с консолью является типичной для рабочего компьютера, и поэтому она была выбрана для теста способов хранения данных. Так как наибольшее количество рабочего времени на экране компьютера сотрудника компании меняются не большие участки изображения, результаты данного теста будут отличаться от уже проведенных тестов кодеков при сжатии фильмов, в которых зачастую быстро меняются значительные участки изображения.

Видеозапись работы консоли велась 60 секунд со скоростью 60 кадров в секунду в не сжатом виде. Полученный фрагмент с помощью VirtualDub сжимался кодеками VP8 и H.263, а так же отдельные кадры сохранялись в форматах BMP, GIF и JPG. При сжатии видео потока кодеками были выбраны стандартные рекомендованные настройки. Полученные сжатые данные были проанализированы по соотношению сигнал/шум с помощью MSU Video Quality Measurement Tool. Из-за ограничений программного обеспечения для анализа был выбран фрагмент экрана размерами 1270 пикселей на 710 пикселей. Тем не менее, закономерности, обнаруженные в ходе эксперимента, повторяются точно так же на стандартных разрешениях экрана.

Далее был рассчитан предполагаемый объем данных, который будет накоплен за 1 год записи в рабочие дни (приблизительно 250 рабочих дней) по 8 часов в день по формуле 1.

$$D=60 \cdot V \cdot T \quad (1)$$

Где  $V$  – объем переданных данных за 1 мин со скоростью 1 кадр/сек, кБ;

$T=2000$  часов – среднее количество рабочих часов в году (8 часов. x 250 дней).

Результаты расчета по всем рассмотренным типам передачи данных приведены в таблице.

Таблица — Результаты расчета скорости передачи изображения, его размера и качества.

Тип передачи	Измеренные данные	Среднее соотношение сигнал/шум, дБ (чем больше, тем лучше)	Объем данных за год на 1 компьютер, ГБ	Объем данных за год на 100 сотрудников, ТБ	Экспертная оценка информативности и качества изображения
Видео VP8	Файл: 132кБ за 1 мин.	50,2	15	1,48	Высокая Отличное
Видео H263	Файл: 187кБ за 1 мин.	34,5	21	2,09	Высокая Отличное
JPG HIGH	1 кадр: 74кБ	47,5	508	49,62	Низкая Отличное
JPG LOW	1 кадр: 33кБ	37,6	227	22,13	Низкая Хорошее
GIF 128 цветов	1 кадр: 73кБ	42	501	48,95	Низкая Хорошее
GIF 8 цветов	1 кадр: 20кБ	30	137	13,41	Низкая Плохое

По результатам исследования можно заключить, что наиболее качественными и удобными для хранения являются способы кодирования изображения экрана пользователя в видео поток с использованием кодека VP8 и H263. Тонкой настройкой кодеков можно добиться схожих значений по качеству обоих кодеков, важным преимуществом кодека VP8 является его открытость и бесплатность, поэтому окончательный выбор остается за ним.

### Список литературы

1. Шаньгин В.Ф., «Защита компьютерной информации. Эффективные методы и средства.», М.: ДМК Пресс, 2008 – 544 с.
2. Dawn Cappelli, Andrew Moore, Randall Trzeciak, Timothy J. Shimeall. Common Sense Guide to Prevention and Detection of Insider Threats 3rd Edition – Version 3.1. – Carnegie Mellon University, 2009 – PP. 70-76
3. Chris King. «Spotlight On: Malicious Insiders and Organized Crime Activity» – Carnegie Mellon University, 2012 – 20 p.
4. Dawn M. Cappelli, Tom Caron, Randall F. Trzeciak, Andrew P. Moore. «Spotlight On: Programming Techniques Used as an Insider Attack Tool» – Carnegie Mellon University, 2008 – 11 p.
5. Л. Джеймс. Фишинг. Техника компьютерных преступлений. -М.: «ИТ Пресс», 2008. - 320 с.
6. VP8 Data Format and Decoding Guide. RFC 6386. URL: <http://datatracker.ietf.org/doc/rfc6386> (дата обращения 7.04.2013).
7. Статистика разрешения экрана пользователей сети интернет URL: <http://top.mail.ru/resolutions?id=110605> (дата обращения 7.04.2013).

05.14.04

**Л.А. Феоктистова, И.П. Галипова, Т.В. Рзаева**

Набережночелнинский институт (филиал)  
Казанского Федерального (Приволжского) государственного университета,  
Автомобильное отделение, кафедра механики и конструирования,  
Набережные Челны, okm206@mail.ru

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ТУРБУЛЕНТНОГО ТЕЧЕНИЯ В КРУГЛОЙ ТРУБЕ С НАЛОЖЕННЫМИ ПУЛЬСАЦИЯМИ РАСХОДА**

*В работе представлены методика и результаты исследования турбулентного течения в каналах теплоэнергетического оборудования с наложенными пульсациями расхода*

Ключевые слова: *турбулентное течение, пневмотрасса, пульсирующее давление.*

Нестационарные процессы часто сопровождают функционирование современных технических устройств, используемых в энергетике, авиа- и ракетостроении и других областях, оказывая существенное влияние на рабочие характеристики оборудования. По этой причине изучение нестационарных течений представляется весьма актуальной задачей.

При изучении турбулентных течений обычно используют методы и понятия теории вероятности и рассматривают мгновенные значения характеристик среды (скорости, давления, температуры) как случайные величины, а их средние значения как математические ожидания [5]. Все параметры турбулентного потока – скорость, давление, температура – меняются во времени. Детальное изучение распределения в пространстве и времени мгновенных значений всех характеристик такого течения сложно.

Первым попытку обобщить результаты исследователей и классифицировать нестационарные турбулентные течения предпринял Карр Л. [6]. Он предложил разделить их на три категории по степени влияния нестационарности:

1. Влияние нестационарности отсутствует.
2. Влияние ограничено вблизи стенки.
3. Влияние во внешней части пограничного слоя.

При использовании такого подхода можно качественно предсказать область параметров, характеризующих течения вида 1 и 2, но весьма затруднительно выделить область течений вида 3.

В работе [7] была предложена классификация нестационарных турбулентных течений, в которой границы между группами определяются по частоте и амплитуде наложенных пульсаций  $\beta$ . Но этот способ классификации не раскрывает физического механизма влияния наложенных пульсаций на микроструктуру потока и не дает возможности установить четкую границу между второй и третьей категориями пульсирующих турбулентных течений.

В связи со сложностью теоретических решений практически важных задач гидродинамики и теплообмена особую ценность получили экспериментальные исследования Дрейцер Г.А. [1], Колмогорова А.Н. [2], Конт-Белло Ж. [3], Малолетова И.Л. [4], Nikuradse J. [8]. В отличие от теоретических методов и полуэмпирических теорий турбулентности эксперимент позволяет определить искомые параметры турбулентного потока без каких-либо допущений в реальном масштабе времени. Развитие средств измерения, повышение точности систем измерений, автоматизация сбора информации позволяет проводить экспериментальные исследования структуры турбулентных потоков с достаточно высокой точностью.

С целью повышения достоверности прогнозирования параметров турбулентного течения в каналах теплоэнергетического оборудования с наложенными пульсациями расхода были произведены исследования по одновременному измерению в двух сечениях канала

мгновенных значений скорости потока по поперечному сечению, пульсационной составляющей давления на стенке, напряжения поверхностного трения, а также перепада статического давления между сечениями в широком диапазоне частот наложенных пульсаций расхода.

Влияние периодического массообмена между пневмотрассой и трактом установки изучалось на установке, схема которой приведена на рисунке 1. Результаты исследований показали, что наличие такого массообмена может внести значительные искажения при измерении среднего значения давления при наличии его пульсаций.

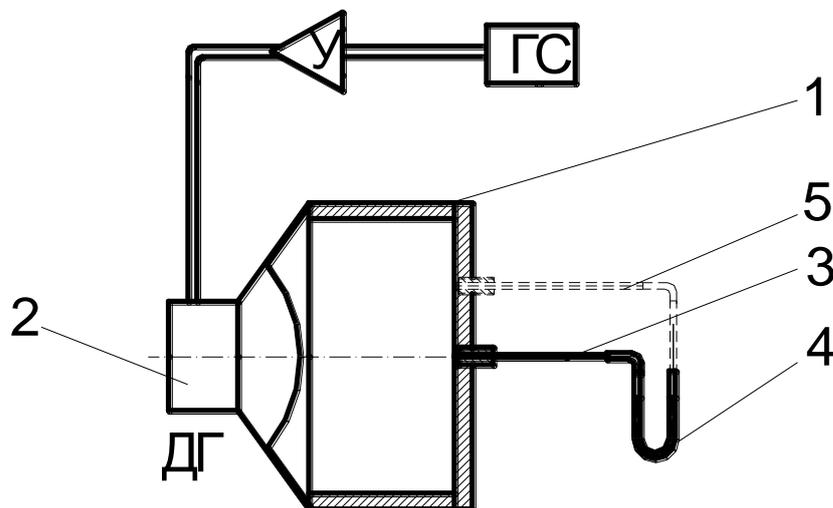


Рис. 1 - Схема установки для исследования системы измерения статического давления в нестационарных условиях. 1 – камера; 2 – динамическая головка; 3 – пневмотрасса; 4 – U-образный манометр; 5 – пневмотрасса с демпфером; У – усилитель; ГС – генератор сигнала

В герметичной рабочей камере 1 с помощью динамической головки 2 создавались гармонические пульсации давления различной частоты и амплитуды. На стенке камеры было выполнено отверстие для отбора давления диаметром 0,8 мм, которое соединялось при помощи пневмотрассы 3 с U – образным манометром 4. Управление частотой и амплитудой пульсаций давления обеспечивалось подачей на динамическую головку усиленного сигнала от генератора сигналов Г6-27. Пульсации давления регистрировались микрофоном, непосредственно введенным в камеру.

С целью определения оптимального внутреннего диаметра трубки в пневмотрассе были проведены предварительные испытания. Измерения проводились в диапазоне частот от 5 до 45 Гц при различных амплитудах пульсаций давления.

В первом случае использовали трубку 5 с внутренним диаметром 5 мм. Манометр фиксировал заметное превышение давления в рабочей камере над фактическим средним давлением. Величина превышения зависела от частоты и амплитуды пульсаций давления (рисунки 2, кривые 1-4).

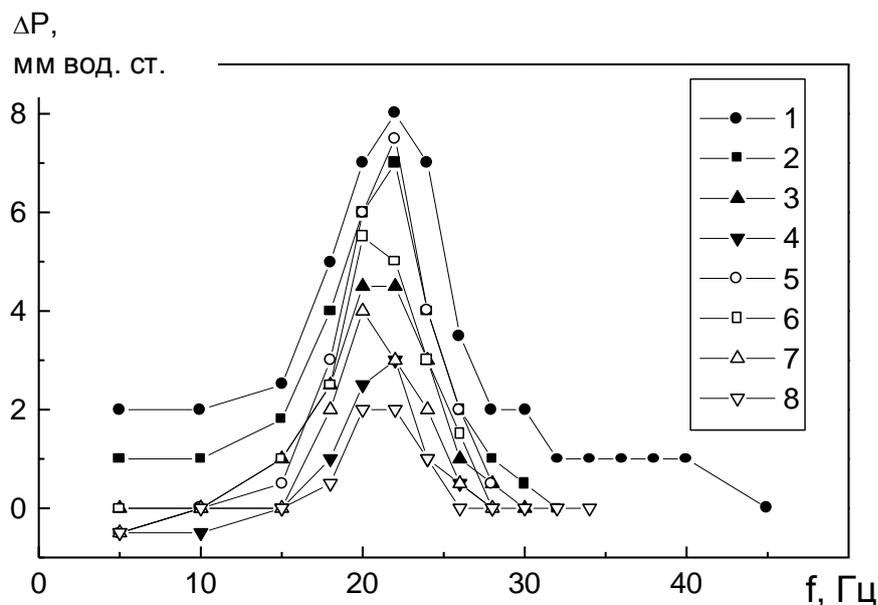


Рис. 2 - Результаты исследования системы измерения статического давления в нестационарных условиях

Во втором случае отбор давления осуществлялся через трубку-демпфер 3 и трубку 5, манометр также зафиксировал превышение давления в рабочей камере над фактическим средним давлением. Величина превышения, также как и в первом случае, зависела от частоты и амплитуды пульсаций давления (рисунок 2, кривые 5-8).

В третьем случае испытания проводились с использованием трубки-демпфера 3. Эксперимент показал, что при использовании трубки-демпфера среднее значение пульсирующего давления измерялась без искажения во всем диапазоне частот и амплитуд пульсаций давлений.

Таким образом, при отсутствии демпфера в камере было зафиксировано кажущееся повышение давления. Это связано, по-видимому, с различием гидравлического сопротивления при прямом и обратном движении воздуха в пневмотрассе при наличии периодического массообмена между камерой и пневмотрассой. Наличие демпфера практически исключает влияние этого эффекта на измерение перепада давления.

Полученные данные свидетельствуют о наличии резонансных явлений в тракте экспериментальной установки, которые обусловлены взаимодействием наложенных пульсаций расхода и собственных акустических колебаний столба воздуха в канале конечной длины (рабочем участке).

Авторы благодарят д.т.н., профессора Н.И.Михеева, д.т.н., профессора В.М.Молочникова.

**Список литературы**

1. Дрейцер Г.А., Краев В.М. Турбулентное течение газа при гидродинамической нестационарности: Монография / САА. Красноярск.- 2001. – 148 с.
2. Колмогоров А.Н. Уравнения турбулентного движения несжимаемой жидкости // изв. АН СССР, сер. Физ. – 1942 – т. 6, № 1-2 – с. 56-58.
3. Конт-Белло Ж. Турбулентное течение в каналах с параллельными стенками. М.: Мир, 1968. -176 с.
4. Малолетов И.Л. Исследование конвективного теплообмена и структуры турбулентного потока в трубах в нестационарных условиях. Дис... канд. техн. наук. М. МАИ, 1990.
5. Фомин А.В., Голубев Ю.Л. Нестационарный пограничный слой несжимаемого потока жидкости в начальном участке трубы. В кн.: Пограничные слои в сложных условиях. Новосибирск.- 1984.- С. 102-105.
6. Carr L.W.A., «Review of unsteady turbulent boundary layer experiments», IUTAM Sump. Unsteady turb. Shear flows, Toulouse, France, May 5-8, 1981, p/5-34.
7. Karr L.W. //IUTAM Symp. Unsteady Turb. Shear Flows. Toulouse, France, May 5-8, 1981. P. 5-34.
8. Nikuradse J. Gesetzmässigkeiten der turbulenten Stromung in glatten Rohren. – VDI, Forschungsheft, 1932, Bd. 356.

05.11.13

**Р.Р. Хамидова**

Дагестанский государственный технический университет,  
факультет радиоэлектроники, телекоммуникаций и мультимедийных технологий,  
кафедра биотехнических и медицинских аппаратов и систем,  
Махачкала, vip.blume@mail.ru

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОБЛЕМЫ ОРГАНИЗАЦИИ И ПРОВЕДЕНИЯ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ**

*В работе представлены результаты теоретических исследований проблемы качества пищевых продуктов. Раскрыты основные причины возникновения проблем качества продуктов питания. Разработана концепция решения проблем организации и проведения оценки качества продуктов питания.*

Ключевые слова: *безопасность пищевых продуктов, эндогенные токсические соединения, высокочувствительные и экспрессные методы.*

На всех стадиях своего развития человек был тесно связан с окружающим миром. Одним из самых важных факторов окружающей среды, влияющих на состояние здоровья, как отдельного человека, так и популяции в целом является фактор питания [1]. Пищевые продукты относятся к категории товаров, качество и безопасность которых изменяется во времени – они обладают способностью быстро портиться. Качество и безопасность продуктов питания меняются в зависимости от времени и условий их хранения. По закону все просроченные продукты питания должны быть утилизированы. Но, как известно, кто это контролирует. Большая часть просроченных продуктов продаётся или перерабатывается.

Экологическая чистота пищевых продуктов предполагает их безопасность для здоровья человека. В это понятие входят как составные элементы микробиологическая, химическая и радиационная безвредности [2]. На первый взгляд, проблема безопасности пищевых продуктов может показаться достаточно простой. Она касается контроля качества пищевых продуктов на предмет содержания в них тяжёлых металлов, радионуклидов, пестицидов, других химических загрязняющих веществ, патогенных микроорганизмов, простейших, гельминтов и биологических токсинов, которые представляют опасность для здоровья человека.

Все эти вопросы имеют отношение к гигиене питания и токсикологии пищи [3]. В то же время, безопасность пищевых продуктов затрагивает очень многие области нашей жизни: сельское хозяйство, пищевую промышленность, логистику, торговлю, сферы общественного или домашнего питания. При этом контроль безопасности пищевых продуктов имеет не только гигиенические, но и экономические аспекты. С появлением новых пищевых продуктов и технологий возникают новые риски и новые проблемы. При этом экологичность пищевых продуктов и сырья органически сочетает в себе также их пищевую, энергетическую и биологическую ценность, так как потребление пищевых продуктов, не соответствующее основным положениям современной науки о питании, часто приводит к опасным последствиям.

В целом вопросы безопасности пищевых продуктов включают в себя довольно широкий спектр проблем [4]. Основными путями загрязнения продуктов питания и продовольственного сырья являются:

- использование неразрешенных красителей, консервантов, антиокислителей или их применение в повышенных дозах;

- применение новых нетрадиционных технологий производства продуктов питания или отдельных пищевых веществ, в том числе полученных путем химического и микробиологического синтеза;
- загрязнение сельскохозяйственных культур и продуктов животноводства пестицидами, используемыми для борьбы с вредителями растений;
- нарушение гигиенических правил использования удобрений (в растениеводстве), оросительных вод, твердых и жидких отходов промышленности и животноводства, коммунальных и других сточных вод, осадков очистных сооружений и др.;
- использование в животноводстве и птицеводстве неразрешенных кормовых добавок, консервантов, стимуляторов роста, профилактических и лечебных медикаментов или применение разрешенных добавок в повышенных дозах;
- миграция в продукты питания токсических веществ из пищевого оборудования, посуды, инвентаря, тары, упаковок вследствие использования неразрешенных полимерных, резиновых и металлических материалов;
- образование в пищевых продуктах эндогенных токсических соединений в процессе теплового воздействия (например, кипячения, жарения, облучения), других способов технологической обработки;
- несоблюдение санитарных требований в технологии производства и хранения пищевых продуктов, что приводит к образованию бактериальных токсинов (микотоксины, ботулотоксины и т.д.);
- поступление в продукты питания токсических веществ, в том числе радионуклидов, из окружающей среды – атмосферного воздуха, почвы, водоемов.

Пищевые продукты имеют способность аккумулировать из окружающей среды все экологически вредные вещества и концентрируют их в больших количествах. Из окружающей среды 70 % ядов попадает в организм человека с пищей растительного и животного происхождения. С 1986 г. уровень радионуклидов в продуктах питания увеличился в 5-20 раз по сравнению с 60-ми годами. За последние 5 лет загрязнение продуктов питания нитратами и продуктами их распада возросло в 5 раз. Даже при соблюдении всех норм внесения с почву пестицидов мы не гарантированы от получения некачественных продуктов, так как в культуры не только остаточные количества препаратов, но и продукты их метаболитов, обладающих более высокой концентрацией и токсичностью. В плодах и овощах загрязнение нитратами превышает суточную дозу до 8 раз. До 10 % проб пищевых продуктов содержат тяжелые металлы и половина из них - в дозах превышающих ПДК.

Ухудшение качества животноводческого и растительного сырья по экологическим причинам изменяет технологические характеристики сырья для перерабатывающих отраслей. Вследствие этого резко снижается выход готовой продукции, увеличиваются отходы сырья, уменьшаются сроки его хранения [5]. Кроме того, в результате экологических воздействий, меняющих генетику, многие плодовые деревья и овощные культуры начинают продуцировать плоды и клубни неправильной формы, которые не подлежат механизированной мойке и чистке, длительному хранению.

Экологически безопасные продукты питания - это продукция, полученная из экологически безопасного сырья по технологиям, исключая образование и накопление в продуктах потенциально опасных для здоровья человека химических и биологических веществ и отвечающая медико-биологическим требованиям и санитарным нормам качества продуктового сырья и пищевых продуктов. Безопасность пищевых продуктов гарантируется установлением и соблюдением регламентируемого уровня содержания любых загрязнителей. Центральное звено системы обеспечения безопасности пищевых продуктов - организация контроля и мониторинга за их загрязнением. Совершенствование форм системы ведомственного (сельскохозяйственного и промышленного), государственного, общественного контроля качества и безопасности сырья и пищевых продуктов, их сертификация позволят повысить качество пищевых продуктов, приблизив их уровень к

требованиям мировых стандартов. Одно из направлений деятельности по созданию безопасных продуктов питания - разработка новых наукоемких технологий производства здоровых продуктов.

Экологическая безопасность продуктов питания, конечно же, немаловажна и без учета микробиологических и радиационных факторов, опасностей, связанных с дисбалансом питательных веществ, наличия естественных токсинов в сырье, биологической, технологической и кулинарной трансформации пищевых ингредиентов и многого другого, хотя по-своему риску для здоровья человека эти составляющие проблемы далеко не равноценны и, общепризнанно, что опасности микробиологического характера доминируют над остальными. Тем не менее, в век сплошной «химизации» пищевых производств, следует пристальнее относиться и к химической безопасности пищевых продуктов и производств. Проведенные теоретические исследования показывают, что основными путями решения проблемы обеспечения качества пищевой продукции являются:

- широчайшая пропаганда среди населения экологических и санитарно-гигиенических знаний;
- грамотное разъяснение средствами массовой информации основ знаний по рациональному питанию, кулинарной трансформации составных частей пищевых сырья и продуктов;
- тесная взаимосвязь прикладных и фундаментальных исследований в области производства и хранения продуктов питания;
- повышенное и постоянное внимание специалистов и общественных организаций к вопросам экологичности пищи и привлечение их к совершенствованию законодательства в этой области;
- внедрение передового зарубежного опыта по контролю над качеством пищевого сырья и продуктов в рыночной экономике;
- создание правовой базы, способствующей заинтересованности отечественных производителей в выпуске безвредных и качественных продуктов;
- широкое внедрение научных разработок в области рационального и лечебно-профилактического питания;
- совершенствование государственной системы контроля над уровнем безвредности пищевых сырья и продуктов;
- разработка и внедрение высокочувствительных и экспрессных методов определения токсинов, в том числе химической природы;
- тщательное исследование биологической, технологической и кулинарной трансформации химических соединений в составе пищевых продуктов, а также механизма приспособления к ним человеческого организма.

При этом особое внимание должно быть сконцентрировано на подготовке специалистов соответствующего профиля, повышении их авторитета и расширении их полномочий.

### *Список литературы*

1. *Петров К.М.* Общая экология. Взаимодействие общества и природы. Второе издание. 1998. 144с-149с.
2. Журнал «Жизнь без опасностей. Здоровье. Профилактика» №03-2009.
3. *Позняковский В.М.* Гигиенические основы питания, безопасность и экспертиза продовольственных товаров. – Новосибирск, 2002.
4. *Донченко Л.В.* Безопасность пищевых продуктов. – М., - 1999.
5. *Сергеев В.Н.* Проблемы развития пищевой промышленности // Пищевая промышленность. — 2000. — № 1. — С. 16.

05.07.05

**И.В. Храмцов, В.Я. Модорский**

ФБГОУ ВПО Пермский национальный исследовательский политехнический университет,  
Центр высокопроизводительных вычислительных систем, Пермь, modorsky@pstu.ru

### **ФОРМИРОВАНИЕ ИНЖЕНЕРНОЙ МЕТОДИКИ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЕФОРМИРОВАНИЯ ГАЗОПРОВОДА С УЧЕТОМ ПОДКРЕПЛЯЮЩЕГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ГРУНТА**

*Рассматриваются существующие методики и предлагается доработанная методика оценки напряженно-деформированного состояния (НДС) в ANSYS Workbench подводящих и отводящих шлейфов газопроводов газоперекачивающих станций с учетом подкрепляющего воздействия грунта, которое описывается гипотезой Фусса – Винклера.*

**Ключевые слова:** *напряженно-деформированное состояние, газопровод, воздействие грунта, гипотеза Фусса – Винклера, коэффициент постели.*

Оценка прочности подземных газопроводов расчетным путем затруднена, в связи с тем, что они имеют большую протяженность, состоят из прямых участков и отводов, выполненных из одинаковых или различных сталей, имеющих разную толщину. Кроме того, одной из основных проблем является сложность учета подкрепляющего воздействия грунта на трубопровод. При этом необходимо учитывать влияние глубины засыпки трубопровода. Все это приводит к необходимости использовать ресурсы высокопроизводительных вычислительных комплексов (ВВК). В данной работе предпринята попытка снизить потребные вычислительные ресурсы.

Поперечное сечение участка газопровода представлено на рис. 1.



Рис. 1 – Поперечное сечение участка газопровода.

В работе [1] грунт моделируется, как абсолютно жесткая среда, хотя в действительности он является деформируемым.

В работах [2,3] задача расчета напряженно-деформированного состояния подземного трубопровода решается посредством моделирования системы «подземный трубопровод-массив грунта». Массив грунта представлен сплошной средой. Данный подход требует больших затрат времени и вычислительных ресурсов.

В работе [4] рассматриваются подводящие шлейфы к газоперекачивающей станции. Геометрическая модель имеет большую протяженность, большое количество тройников, отводов. Данная конструкция имеет не только подземные участки трубопровода, но и участки, находящиеся над землей. В связи с этим учитывается неравномерное подкрепляющее воздействие грунта и веса грунта, зависящего от глубины засыпки. Все это требует использования мелкой сетки (размер элемента 5-15 мм), адаптации сеточной модели

в местах переходов толщин участков трубы (до 1 мм). Общее количество расчетных элементов составляет 10 млн. Следовательно, для оценки НДС газопроводов требуется использовать мощности ВВК.

В данной работе подход, предложенный в [4] доработан применительно к другой конструкции и имеющимся вычислительным ресурсам. Рассматривается участок трубопровода, находящийся на постоянной глубине равной 1,5 м. Геометрическая модель, представленная на рис. 2., состоит из 5 прямолинейных участков и 4 отводов. Простота геометрической модели и равномерность воздействия грунта позволяют использовать более крупные сетки, что в свою очередь позволяет получать решение данной задачи на персональном компьютере. Поведение грунта описывается с помощью гипотезы Фусса – Винклера. Грунт рассматривается как система опирающихся на жесткое основание и не связанных между собой пружин, сжатие которых возрастает прямо пропорционально приложенной нагрузке.

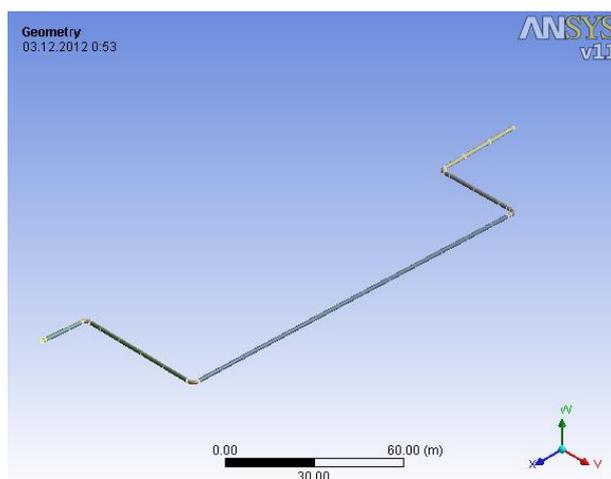


Рис. 2 – 3-D модель шлейфа газопровода

Используется линейно-упругая модель поведения материала. Связь между перемещениями, деформациями и напряжениями записывается в виде системы линейных алгебраических уравнений

$$[K]\{u\} = \{F\}$$

Решение данной системы получаем методом конечных элементов с использованием программного комплекса ANSYS Workbench.

В данной работе рассматривается участок трубопровода длиной 288,16 м. Положение трубопровода определяется по данным геодезической съемки. В качестве исходных данных используются координаты стыков между отдельными трубами. По данным координатам строится траектория трубопровода. Далее, строится 3-D модель газопровода. Внутренний диаметр газопровода составляет 1420 мм. Толщина стенки на прямолинейных участках труб составляет 18,7 мм. Толщина стенки гнутых отводов 23,2 мм. В связи с тем, что предполагается отсутствие снижения прочности в сварных швах, последовательно расположенные прямолинейные участки данной трубы для оптимизации расчета объединяются в одно тело.

Трубы изготовлены из стали №1, гнутые отводы из стали №2. Характеристики данных материалов представлены в таблице.

Таблица – Свойства материалов

Материал трубопровода	Модуль упругости, МПа	Коэффициент Пуассона	Удельный вес, кг/м <sup>3</sup>	Предел прочности, МПа	Предел текучести, МПа
№1	206 000	0.3	7850	588	461
№2	206 000	0.3	7850	620	509

Далее строится конечно-элементная сетка. При построении конечно-элементной модели используются преимущественно гексаэдрические конечные элементы типа Solid186 и Solid187. Средняя длина ребра конечного элемента принимается равной 20 мм. Количество расчетных ячеек составляет 142 тысячи. Дальнейшее измельчение сетки ведет к увеличению времени расчета и требует большего количества вычислительных ресурсов компьютера. При этом нет существенного влияния на качество результатов.

На участках контакта двух различных тел геометрической модели используется тип контакта «узел к узлу». Использование данного типа контакта обусловлено предположением о равнопрочности основного металла и сварного соединения.

Рабочим телом газопровода является природный газ. К внутренней поверхности трубопровода прикладывается рабочее давление газа 7,4 МПа.

Данная конструкция имеет значительные геометрические размеры, поэтому необходимо учитывать силу тяжести, действующую на данную конструкцию. Учет веса грунта произведем с помощью давления, действующего на верхнюю часть трубопровода. Эта нагрузка действует вертикально вниз. Плотность грунта принимаем  $2000 \text{ кг/м}^3$ . Значение действующего давления определяем по формуле:

$$P = \rho gh \approx 30000 \text{ Па}$$

Для учета подкрепляющего воздействия грунта на трубопровод применяется, так называемое, «эластичное закрепление». Его параметром является коэффициент постели. Принимаем, что насыпным грунтом является суглинок коричневый, твердый, песчанистый тяжелый, с 20% содержанием гальки. Коэффициент постели для данного грунта принимаем равным  $16.7 \cdot 10^6 \text{ Н/м}^3$ , в соответствии с [5].

На концах участка трубопровода имеются тройники с бетонным основанием. Поэтому при проведении расчетов концы труб считаются жесткозакрепленными.

Результаты расчетов НДС трубопровода представлены на рис. 3.

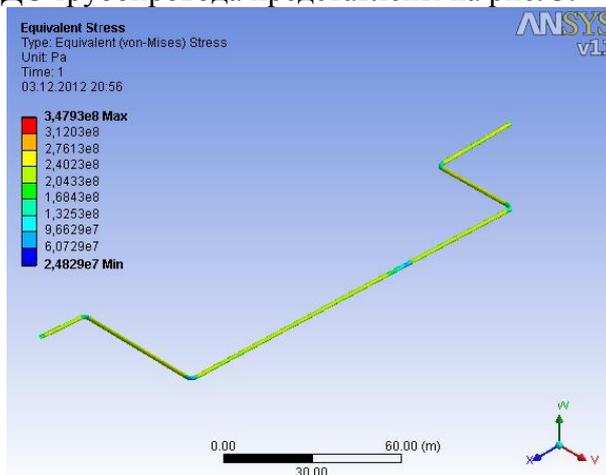


Рис. 3 – Эквивалентные напряжения в шлейфе газопровода, Па.

Как показано на рис. 3., максимальные эквивалентные напряжения располагаются на конце трубопровода. Максимальные напряжения составляют 348 МПа, что меньше предела текучести. На остальных участках трубопровода напряжения не превышают 300 МПа.

Выводы.

Представлена методика определения НДС в ANSYS Workbench подводящих газопроводов с использованием коэффициента постели для моделирования подкрепляющей способности грунта.

Полученная методика позволяет производить оценку НДС газопроводов с достаточной точностью и уменьшить требования к временным и системным ресурсам.

Погрешность определения напряжений, полученных по данной методике на персональном компьютере и при решении задачи на ВБК не превышает 5%.

По результатам исследований можно сделать вывод, что данная конструкция обладает достаточной прочностью. Напряжения не превышают предела текучести. Так же выполняется условие прочности по деформациям и перемещениям.

#### ***Список литературы***

1. *Таткаева Г.Г.* Численное моделирование напряженно-деформированного состояния газовой обвязки // Вестник Павлодарского государственного университета, серия Энергетическая. – 2010. - №2. – С. 129-134
2. *Яваров А.В.* Численное моделирование сопротивления массива грунта перемещениям подземного трубопровода // Электронный научный журнал "Нефтегазовое дело". 2012. №3. С. 360-374. URL:[http://www.ogbus.ru/authors/Yavarov/Yavarov\\_1.pdf](http://www.ogbus.ru/authors/Yavarov/Yavarov_1.pdf)
3. *Алешин В.В., Селезнев В.Е.* и др. Численный анализ прочности подземных трубопроводов. М.: КомКнига, 2007. 483 с.
4. Решение инженерных задач на высокопроизводительном вычислительном комплексе Пермского национального исследовательского политехнического университета / под ред. В.Я. Модорского. – Пермь, 2013. – 325 с.
5. *Фесик С.П.* Справочник по сопротивлению материалов. – 2-е изд., перераб. и доп. – К. : Будівельник, 1982. – 280 с.

05.13.12

**Д.Э. Цыганков, С.В. Рябов**

Ульяновский государственный технический университет,  
экономико-математический факультет,  
кафедра «Прикладная математика и информатика»,  
Ульяновск, d.tsygankov@ulstu.ru, ryabovserg@gmail.com

**ФОРМАЛЬНОЕ ОПИСАНИЕ КЛАССА ТЕХНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ  
ФУНКЦИОНАЛЬНО АДАПТИРОВАННОЙ САПР  
«АНТЕННЫ РУПОРНЫЕ ВОЛНОВОДНЫЕ»**

*В статье рассмотрен пример формальной модели класса технических объектов, разработанной для построения системы проектирования на основе технологии функционально адаптивного представления. Развиваемая авторами концепция функционально адаптивного представления направлена на решение таких задач, как достижение интероперабельности, фиксация, сохранение и извлечение логики построения проектных решений.*

Ключевые слова: САПР, формальная модель, функционально адаптивное представление, устройства СВЧ.

Достижение интероперабельности остается серьезной проблемой, создающей трудности для полноценного обмена результатами проектной деятельности между различными САПР. Предлагаемые на данный момент подходы к решению данной проблемы не могут быть реализованы по нескольким причинам: все автоматизированные системы твердотельного проектирования никогда не будут иметь в точности одинаковый набор конструктивных элементов, так как потеряют свои конкурентные преимущества, так же как, невозможно в рыночных отношениях заставить всех пользоваться только одной и той же САПР [1]. Представление решений в функционально адаптированной форме или в виде функционально адаптированных САПР является подходом, позволяющим уйти не только от проблемы интероперабельности в системах трехмерного проектирования, но и обеспечить сохранение структурно-логической целостности проектных решений, описываемых как совокупность методов, необходимых для их построения (например, таких как геометрические, математические операции, выбор нормализованных значений и пр.) [2, 3].

Функционально адаптированные системы автоматизированного проектирования (ФА САПР) – это системы проектирования технического объекта (или класса технических объектов), набор функциональности которых позволяет проектирование такого объекта, не требуя выхода за рамки имеющейся функциональности, при этом обеспечивая модифицируемость (адаптивность) решения в данных рамках [2].

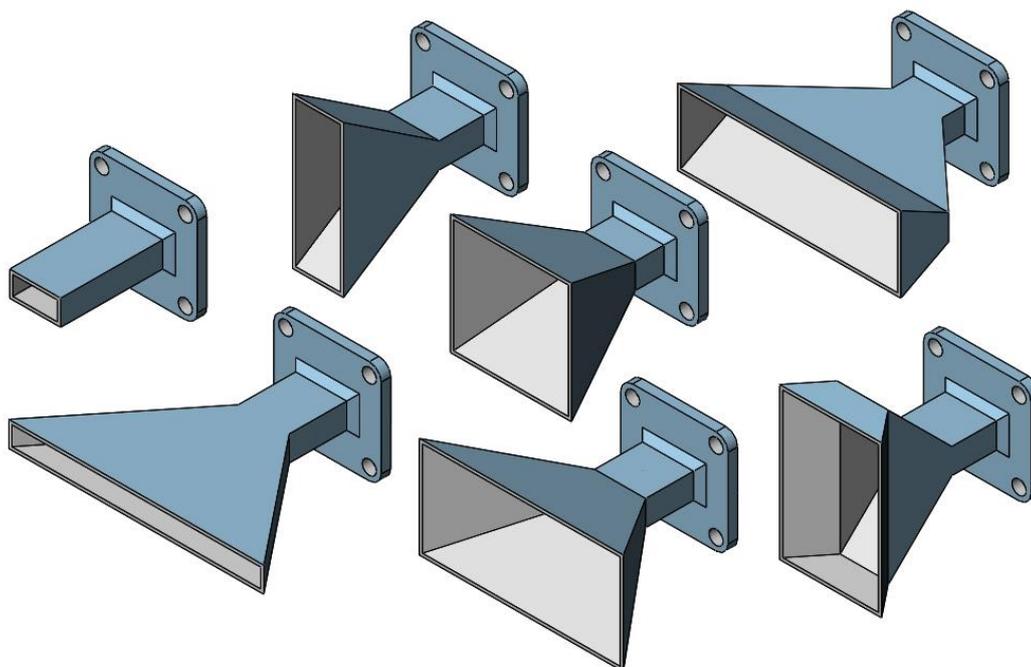


Рис. 1 – Класс технических объектов «Антенны рупорные волноводные»

Класс технических объектов «Антенны рупорные волноводные» включает в себя следующие компоненты: открытый конец волновода, рупоры плоскостные: Н-секториальный и Е-секториальный, рупоры пирамидальные: остроконечный и клиновидный, а так же рупоры комбинированные. Объекты, входящие в состав данного класса представлены на рис. 1.

Данные объекты объединяются в класс по двум причинам: во-первых, все они являются волноводными антеннами (излучающими устройствами СВЧ), а во-вторых, имеют идентичное строение: у них всех имеются такие части, как фланец, участок волновода (длина которого может быть равна нулю) и раскрыв рупора. Следовательно, объединение элементов в класс обусловлено не только одинаковым набором функциональности, необходимым для их проектирования, но и физическим смыслом.

Для построения трехмерных моделей объектов, составляющих рассматриваемый класс, используются следующие операции: построение точки, создание прямой, создание замкнутого контура, преобразование контура в поверхность, построение тела по сечениям, объединение и вычитания трехмерных тел, а так же построение окружности и скругление. Таким образом, выделенная функциональность является одновременно необходимой и достаточной для построения 3D-моделей компонентов класса «Антенны рупорные волноводные».

Формирование ФА САПР класса технических объектов начинается с целостного анализа процесса проектирования компонентов, составляющих класс. При этом в рассматриваемых объектах, могут быть, как различные операции (или их количество), так и порядок выполнения, а следовательно, оправдано выделять отдельный функционал для каждого компонента.

Анализ объектов, составляющих класс, сводится, прежде всего, к выявлению проектных параметров. Проектными параметрами называется ряд параметров, совокупность которых позволяет однозначно определить трехмерный информационный образ рассматриваемого технического объекта [2].

Геометрический образ элемента может однозначно определяться лишь полной совокупностью проектных параметров, так как они имеют определенную связь между собой: они могут дополнять, исключать, или быть следствием друг друга.

Так, для рупора плоскостного Е-секториального проектными параметрами являются: размеры поперечного сечения волновода, тип фланца, длина участка волновода, длина рупора в плоскости Е, ширина раскрыва рупора в плоскости Е, толщина стенок, а так же

материал.

После выделения ряда проектных параметров, ставится вопрос о типе принимаемых ими значений. Тип значений параметров влияет на способ их ввода. При условии соответствия значений параметров дискретному ряду, пользователь может лишь выбрать одно или несколько из предлагаемых значений. В случае же свободных значений параметров, пользователем интерактивно вводятся эти значения, удовлетворяющие введенным на них ограничениям (максимальное, минимальное, либо недопустимое значения).

Компоненты класса «Антенны волноводные» описываются значениями дискретного ряда в соответствии с ГОСТ 20900-75 и ГОСТ 13317-89.

В таблице представлены проектные параметры элемента «Рупор волноводный E-секториальный», их буквенное обозначение и тип ввода.

Таблица – Проектные параметры рупора E-секториального

Параметр	Обозначение	Тип ввода
Размеры поперечного сечения волновода	$a \times b$	Выбор нормализованных значений параметров
Толщина стенок	$t$	
Тип фланца	$F$	
Материал	$m$	
Длина участка волновода	$L$	Интерактивный ввод значений параметров
Длина рупора в плоскости E	$r_E$	
Ширина раскрыва рупора в плоскости E	$d_E$	

На основании выделенных проектных параметров, формируется формальная модель компонентов класса. Формальная модель представляет собой описание объекта на языке теории множеств [4].

Формальная модель рупора E-секториального имеет следующий вид:

$$PrP^{Pyn.E} = \{(nn_1, nn_1), (nn_2, nn_2), (nn_3, nn_3), (nn_4, nn_4), (nn_5, nn_5), (nn_6, nn_6), (nn_7, nn_7), (nn_8, nn_8)\},$$

где:

$PrP^{Pyn.E}$  – множество проектных процедур, выполняющих построение 3D-модели элемента «Рупор волноводный E-секториальный»;

$nn_i$  – порядковый номер  $i$ -той проектной процедуры ( $i = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7$ );

$nn_1$  – проектная процедура выбора значений пары параметров  $a \times b$ ;

$nn_2$  – проектная процедура выбора значения параметра  $F$ ;

$nn_3$  – проектная процедура выбора значения параметра  $t$ ;

$nn_4$  – проектная процедура выбора значения параметра  $m$ ;

$nn_5$  – проектная процедура интерактивного ввода значения параметра  $L$ ;

$nn_6$  – проектная процедура интерактивного ввода значения параметра  $r_E$ ;

$nn_7$  – проектная процедура интерактивного ввода значения параметра  $d_E$ ;

$nn_8$  – проектная процедура построения трехмерного информационного образа рупора волноводного E-секториального.

Проектная процедура построения трехмерного информационного образа представляет собой последовательность проектных операций, являющимися функциями от значения проектных параметров проектируемого объекта, которые выполняет ФА САПР. Данная проектная процедура содержит как сами проектные операции, так и порядковый номер их выполнения.

Формальные модели формируются для каждой объекта, входящего в состав класса. Модели, созданные для всех компонентов, объединяются в одну формальную модель, описывающую весь класс технических объектов. Именно она представляют собой основания для последующей программной реализации ФА САПР.

Программная реализация представляет собой код проектных процедур (и входящих в их состав проектных операций), и их дальнейшее выстраивание в порядке, необходимом для каждого конкретного компонента, входящего в состав класса.

Исследование выполнено при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации, соглашение 14.В37.21.1142.

### *Список литературы*

1. *Hamilton P.* Азбука технологий моделирования в MCAD-системах. Часть III. Как технологии MCAD влияют на процесс разработки изделия // *CAD/CAM/CAE Observer*. – 2008. – №2 (38). – С. 34–36.
2. *Горбачев И.В., Похилько А.Ф.* Структура формального представления процесса проектирования в функционально адаптированной САПР // *Инфокоммуникационные технологии*. Том 8, №1, 2010 – С. 75–78.
3. *Горбачев И.В., Похилько А.Ф.* Представление процессов проектирования в функционально адаптируемой форме для хранения классов проектных решений // *Программные продукты и системы*. – Тверь: ЗАО НИИ "Центрпрограммсистем" №1 (101), 2013. – С. 77–82.
4. *Горбачев И.В., Похилько А.Ф.* Технология представления модели в функционально адаптированной САПР // *Автоматизация процессов управления*, 2008, №3 (13). – С. 39–43.
5. *Горбачев И.В., Похилько А.Ф.* Информационная структура представления проектных процедур в функционально адаптированной форме // *Автоматизация процессов управления*, 2010, №3. – С. 72–75.
6. *Похилько А.Ф.* Формальная система фиксации и обобщения процессов проектной деятельности // *Автоматизация процессов управления*, 2010, №4. – С. 50–56.

05.11.16

А.С. Шайкин, Е.В. Шайкина

Московский государственный университет приборостроения и информатики,  
экономический факультет, кафедра ПР-1,  
Москва, shaswk@gmail.com; tamarlakova@mail.ru

### **ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ОТЛАДКИ КОМПОНЕНТОВ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ, СОДЕРЖАЩИХ ДАТЧИКИ ДВИЖЕНИЯ И ПОЛОЖЕНИЯ В ПРОСТРАНСТВЕ**

*Статья посвящена применению в портативных устройствах МЭМС датчиков движения и положения в пространстве как с целью выполнения основных функций устройства, так и для повышения помехозащищенности информационно-измерительной системы.*

Ключевые слова: *микроэлектронные механические системы; гироскоп; акселерометр; защита от помех; автоматизация.*

Измерение параметров движения и положения в пространстве – одна из наиболее распространенных задач в современном приборостроении. При этом, принцип измерения часто зависит не только от внешних условий, но и от допустимого размера измерительной системы. Создание миниатюрных измерительных систем давно уже отделилось в особое направление, реализуемое при помощи МЭМС датчиков.

Микроэлектромеханические системы (МЭМС) – технологии и устройства, объединяющие в себе микроэлектронные и микромеханические компоненты. Данная технология используется для создания на подложке кремния таких приборов как акселерометр, гироскоп, микрофон, магнитометр и прочих устройств, требующих наличия механических элементов. Ведущими производителями МЭМС датчиков являются такие фирмы, как Analog Devices, Bosh, Fujitsu, Honeywell, Murata, InvenSense и STMicroelectronics [1].

Широкое применение МЭМС датчиков и отсутствие всей необходимой информации на многие модели обусловило актуальность создания комплекса для исследования их характеристик и работоспособности в тяжелых условиях. Целью внедрения данного комплекса является сокращение сроков проектирования и снижение стоимости исследований и испытаний при создании устройств, использующих данные датчики.

В настоящее время на кафедре ПР-1 МГУПИ ведется исследование МЭМС датчиков движения и положения в пространстве для использования их в проектах аппаратно-программного комплекса суточного монитора артериального давления (СМАД) и системы автоматической ориентации станции тропосферной связи.

СМАД – это медицинский прибор, используемый для исследования сердечной деятельности. Он представляет собой специализированный тонометр, который закрепляется на теле пациента, и, в автоматическом режиме, совершает измерения через определенный период в течении суток. После чего прибор передается лечащему врачу. Специальное программное обеспечение считывает показания артериального давления из памяти тонометра, проводит их математическую обработку, вычисляет необходимые медицинские индексы и ставит предварительный диагноз.

Для измерений был выбран осциллометрический метод, который заключается в оценке микропульсаций и постоянной составляющей давления в манжете.

По мнению специалистов кардиологического отделения 11 городской клинической больницы города Москвы, основной сложностью данного прибора является то, что исследования необходимо проводить не только стационарно, но и амбулаторно. При этом прибор должен совершать измерения под воздействием вибрационных помех и ускорений или уметь откладывать измерение, если в данный момент невозможно получить правильный

результат. Также активное состояние человека оказывает влияние на сердечную деятельность, но оно не всегда отражено в дневнике, который обязан вести пациент. Исходя из этого возникла необходимость в исследовании влияния движения прибора на величину давления в манжете в конкретный момент времени и влияния положения пациента (стоя, лежа) на величину его артериального давления, а также модернизации СМАД путем добавления датчиков движения и положения.

В современных аналогах провод и воздушная трубка, огибая шею пациента подводятся к манжете. Это снижает удобство использования прибора и ведет к возникновению помех при движениях. Чтобы этого избежать, в устройстве был использован корпус, закрепляемый на манжете, что позволяет максимально сократить длину воздушной трубки, уменьшив таким образом помехи, а также включить в состав прибора МЭМС датчики для оценки движения и положения руки пациента, однако предварительно нужно провести выбор и исследование этих датчиков [2].

В рамках второго проекта датчики движения и положения в пространстве необходимы для автоматического наведения антенны станции тропосферной связи на ответную антенну.

Тропосферная связь широко использовалась в виде крупных стационарных станций до 90х годов XX века, после чего была большей частью заменена спутниковой связью, но при этом нашла свое применение в виде мобильных станций, позволяющих быстро организовать сеанс связи вне зоны покрытия других систем передачи информации. Использование таких станций тропосферной связи создало новую проблему быстрого и точного наведения антенны станции на ответный антенный пост.

Разрабатываемая система автоматической ориентации станции тропосферной станции представляет собой автоматическое дистанционно управляемое опорно-поворотное устройство, обеспечивающее поворот антенны на ответный антенный пост для обеспечения максимального уровня приема и передачи радиосигнала. В основе построения системы лежит модульный принцип, при котором она разделена на отдельные функциональные модули, подключаемые друг к другу для решения конкретных задач. В состав данной системы входят управляющий блок, блок управления двигателями, датчик угла поворота, инклинометр, GNSS приемники, концевые датчики, лазерный дальномер и другие. Все блоки соединены друг с другом сетью на основе интерфейса RS-485 с использованием протокола MODBUS RTU. Данный подход позволяет пользователю самому выбрать необходимые блоки в зависимости от поставленных задач. Поворот по двум осям: азимут и угол места осуществляется при помощи актуаторов, управляемых посредством ШИМ модуляции микроконтроллером блока управления приводами. Определение положения станции в пространстве заключается в определении точных координат на местности, ее текущей ориентации по азимуту и углу места. Для вычисления необходимого поворота используются различные методы и реализующие их блоки, например, блоки GNSS приемников, дальномер и другие. Кроме этого для обеспечения приема и передачи информации требуется выравнивание станции относительно горизонта, для чего предусмотрен блок с МЭМС инклинометром или акселерометром.

Тропосферная станция должна работать в широком диапазоне климатических условий и иметь защиту от разряда молнии, следовательно, используемые датчики также должны отвечать этим критериям. Кроме того, сильное излучение антенны не должно вносить погрешность в измеряемые параметры.

Исходя из этого было решено создать стенд для исследования МЭМС датчиков движения и положения в пространстве.

Согласно специфике обоих проектов были сформулированы основные требования, предъявляемые к стенду. Он должен быть защищен от электромагнитных помех, иметь защиту от разряда молнии, работать на всем диапазоне условий работы станции тропосферной связи, иметь минимальные габариты и массу для закрепления на манжете совместно с СМАД [3].

Оба проекта разрабатывались с применением методов полунатурного моделирования, при

котором в аппаратном виде создаются блоки, реализующие основной функционал устройства, отладка алгоритмов управления и обработки данных ведется в специализированном программном обеспечении на персональном компьютере. Применение данного метода разработки в стенде позволяет с минимальными затратами осуществить связь блоков в созданном программном обеспечении [4].

Первоначальный выбор датчиков проводился на основе теоретической оценки диапазона измеряемых величин, частоты измерений, а также требуемых значений климатических условий. В стенде предусмотрена возможность подключения плат расширений с альтернативными датчиками через разъемы, к которым подведены линии от интерфейсов USART, входы внешних прерываний контроллера и линии питания. Передача данных возможна через интерфейсы RS-232 для подключения к компьютеру или 485 для подключения к внутренней сети тропосферной станции.

Для стенда был выбран заземляемый металлический корпус для обеспечения экранирования от электромагнитных помех.

Защита от разряда молнии реализована при помощи газовых разрядников, TVS диодов и гальванической развязки всех интерфейсов.

Печатная плата оттрассирована на 2х слоях. Интерфейсы и схема защиты от разряда молнии отдалена от остальной части схемы.

Программная часть виртуального прибора создана в среде аппаратно-программного моделирования labview. Программа обеспечивает двустороннюю связь с аппаратными блоками для управления и считывания показаний, отображает считанные данные в наглядном виде на графиках, обеспечивает первоначальную обработку данных и их сохранение в популярных форматах для экспорта в сторонние системы статистической обработки информации.

Далее приведены наиболее наглядные примеры данных, полученных при помощи созданного стенда на СМАД.

На рисунке 1 представлены показания, снятые с лежащего человека в состоянии покоя. На графике показаний гироскопа точки по всем трем осям находятся в непосредственной близости к нулю, что подтверждает отсутствие вращательных движений человека. Графики трех осей акселерометра представляют собой прямые, параллельные оси времени, что подтверждает его неподвижное положение. При этом видно, что направление силы тяжести практически совпадает с направлением оси Z. Это говорит о горизонтальном положении руки, что с высокой долей вероятности свидетельствует о лежащем положении человека.

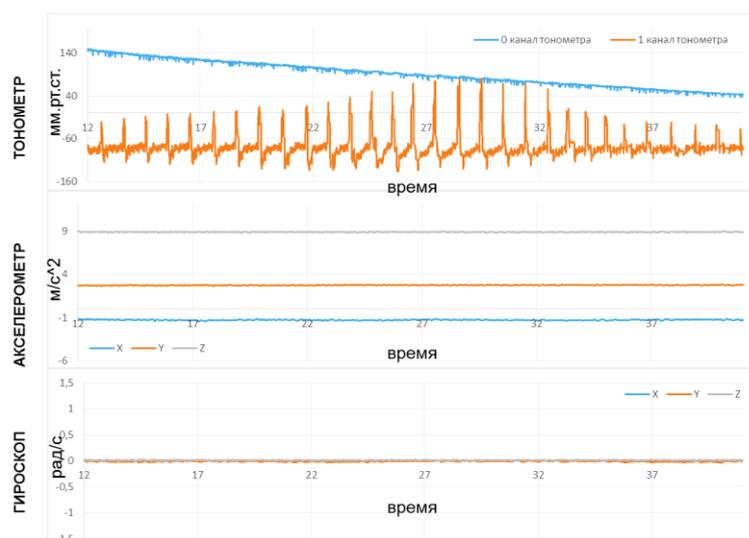


Рис. 1 – Показания, полученные в состоянии покоя

Рисунок 2 соответствует ситуации, когда человек медленно шел по круговой траектории. Здесь сила тяжести совпадает с осью Y акселерометра, что свидетельствует о его

вертикальном положении. Большая амплитуда колебаний графиков акселерометра и гироскопа говорят врачу о том, что нестабильная осциллограмма давления не была вызвана плохой работой сердца.

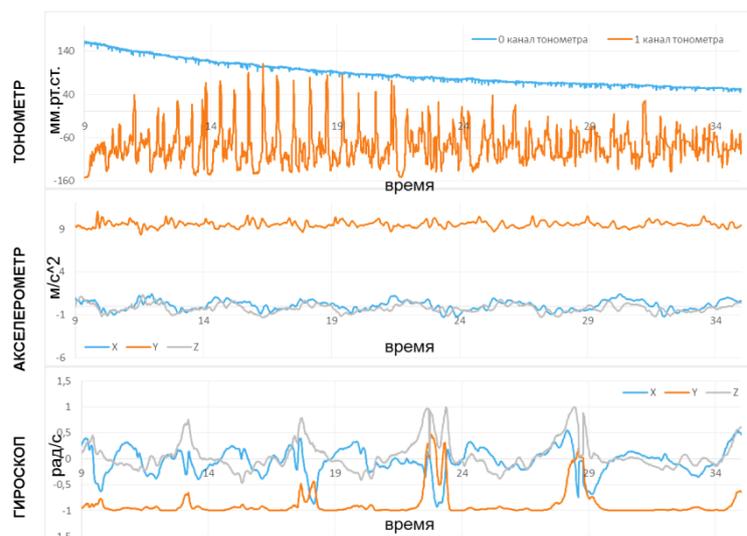


Рис. 2 – Показания, сняты при ходьбе пациента

На рисунке 3 представлен график, полученный при езде на пассажирском сидении автомобиля. Резкие скачки показаний гироскопа на временном промежутке от 26 до 28 секунд говорят о том, что пики микропульсаций давления вызваны внешней помехой и могут быть отфильтрованы. При этом тонометр может вычислить давление, но должен добавить к нему предупреждение о меньшем уровне достоверности.

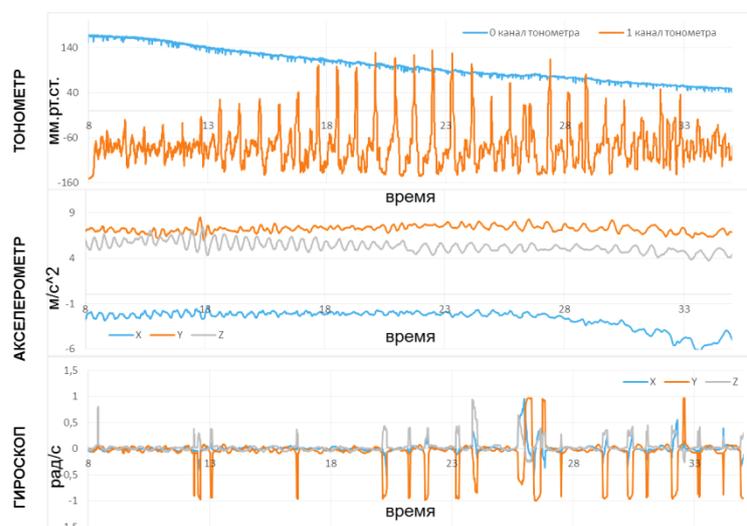


Рис 3. – Показания, снятые при езде на автомобиле

На данный момент проходят исследование датчиков на электромагнитную совместимость, работоспособность при требуемых климатических факторах для применения их в станции тропосферной связи.

**Список литературы**

1. *Крекотень, Ф.В.* Современные МЭМС гироскопы и акселерометры / Ф.В. Крекотень // Петербургский журнал электроники – СПб.: «РНИИ «Электронстандарт», 2011. – №1. С. 81-97.
2. *Шайкин А.С.*, Разработка электронных устройств с использованием комплекса полунатурного моделирования / А.С. Шайкин, Е.В. Шайкина // Наукоедение. – 2013. – №6 – Режим доступа: <http://naukovedenie.ru/PDF/203TVN613.pdf> (дата обращения 06.02.14).
3. *Шайкин А.С.* Устройство для исследования характеристик МЭМС датчиков движения и положения в пространстве / А.С. Шайкин, Е.В. Шайкина // Сборник трудов XXII международного международного научно-технического семинара «Современные технологии в задачах управления, автоматизации и обработки информации» – М.: Изд-во МГУПИ, 2013. – С. 185-186.
4. *Gomez, M.* Hardware-in-the-Loop Simulation / M. Gomez // Embedded. – 2001. – Режим доступа: <http://www.embedded.com/design/prototyping-and-development/4024865/Hardware-in-the-Loop-Simulation> (дата обращения 14.12.13).

05.17.08

**П.П. Юрыгин, И.С. Гуданов, Г.М. Гончаров, А.А. Ломов, Ю.Б. Лаврентьев**

Ярославский государственный технический университет,  
машиностроительный факультет, кафедра технологических машин и оборудования  
Ярославль, yuryginpp@gmail.com

### **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СЛОИСТОГО ТЕЧЕНИЯ ВЯЗКОУПРУГИХ ЖИДКОСТЕЙ В ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ КАНАЛАХ ЭКСТРУЗИОННОЙ ГОЛОВКИ**

*В работе представлены данные по экспериментальному исследованию процесса соэкструзии двух резиновых смесей в каналах головки сконструированного экструзионного агрегата. Выполнено сравнение результатов натурного и теоретического исследований.*

Ключевые слова: *соэкструзия, эксперимент, стратифицированное течение, вязкоупругая жидкость, кабельная изоляция, резиновая смесь.*

В последние годы в промышленности переработки полимеров большое внимание уделяется интенсификации существующих процессов и производств, при этом для сохранения конкурентоспособности также решаются вопросы обеспечения качества производимых изделий. Для придания профильному изделию необходимых эксплуатационных характеристик последнее нередко имеет многослойное исполнение.

Индустрия переработки полимерных материалов базируется по большей части на двух основных типах производств – литье под давление и экструзии [1]. Под экструзией в широком смысле слова следует понимать непрерывный процесс формования длинномерных изделий, заключающийся в придании материалу требуемой формы в результате продавливания его через профилирующий канал. Для производства агрегированных профилей применима симплексная экструзия (ламинирование) и мультиплексная экструзия (соэкструзия).

Соэкструзия в силу своей универсальности заслуживает отдельного рассмотрения. Именно соэкструзия дает возможность формовать погонажные профили во всем их многообразии: профильные уплотнения, жгуты, шланги, трубки и кабельную изоляцию.

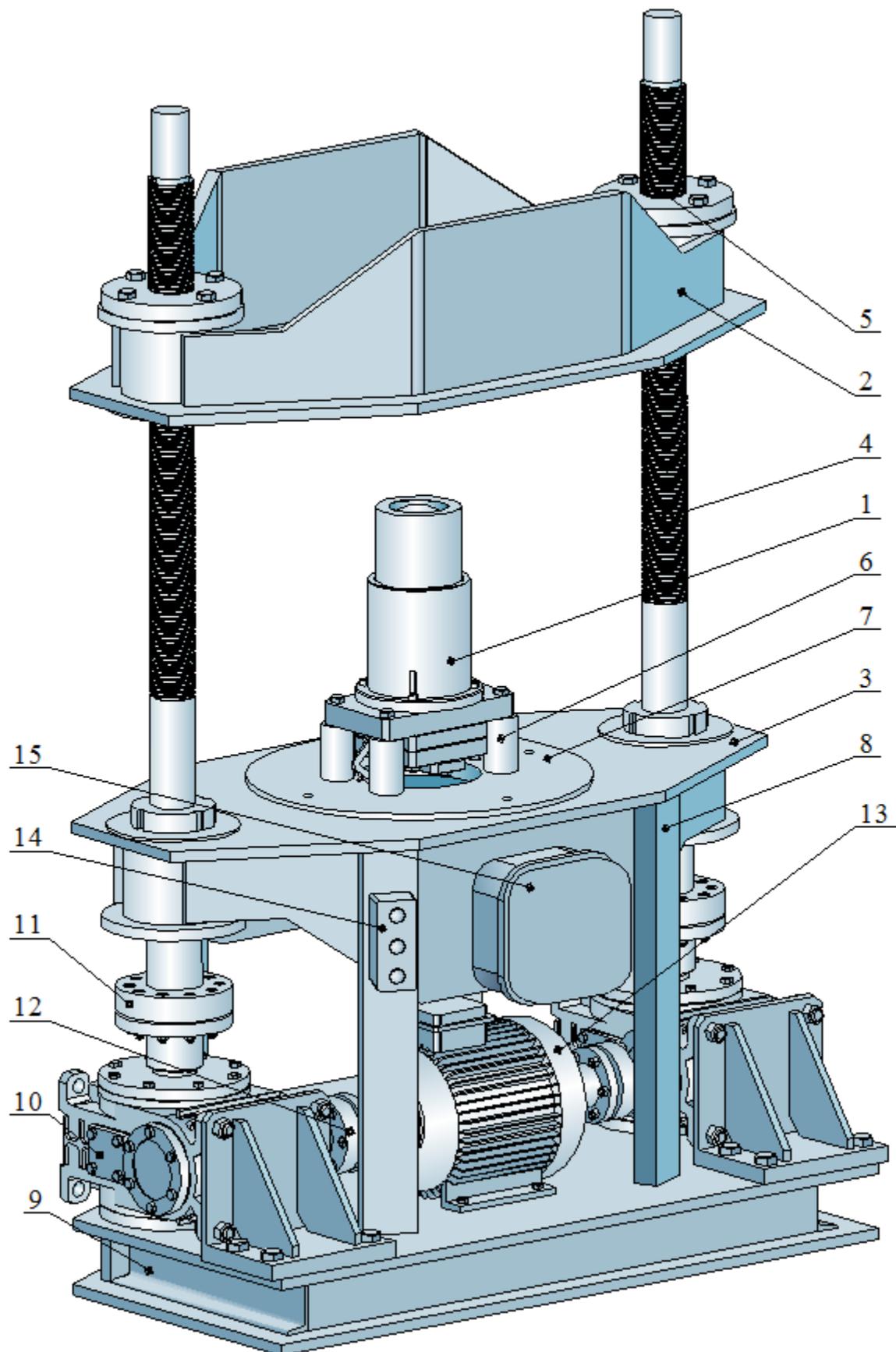
Исследовательские работы по изучению процесса стратифицированного течения вязкоупругих жидкостей показывают, что характер деформирования совместного потока в формующих элементах и выходной струе определяется совокупностью факторов, которые можно разделить на три группы [2]:

- режимные параметры: расход массы и его стабильность, темперирование экструдеров и формующей головки;
- реологические и теплофизические свойства обрабатываемых сред;
- геометрические характеристики формующей оснастки.

Переработке полимеров экструзией посвящено большое количество исследовательских работ как зарубежных, так и российских ученых. Однако основы технологии соэкструзии пока еще не получили требуемой научной интерпретации.

Таким образом, целью данной работы является экспериментальное исследование стратифицированного течения резиновых смесей в экструзионной головке с цилиндрическими каналами, а также сравнение результатов эксперимента с теоретическими расчетами на основе созданного ранее средства численного расчёта [3, 4].

Для проведения лабораторного исследования была сконструирована установка на базе двухколонного винтового пресса для выдавливания двух резиновых смесей через формующую головку с цилиндрическими каналами (рис. 1).

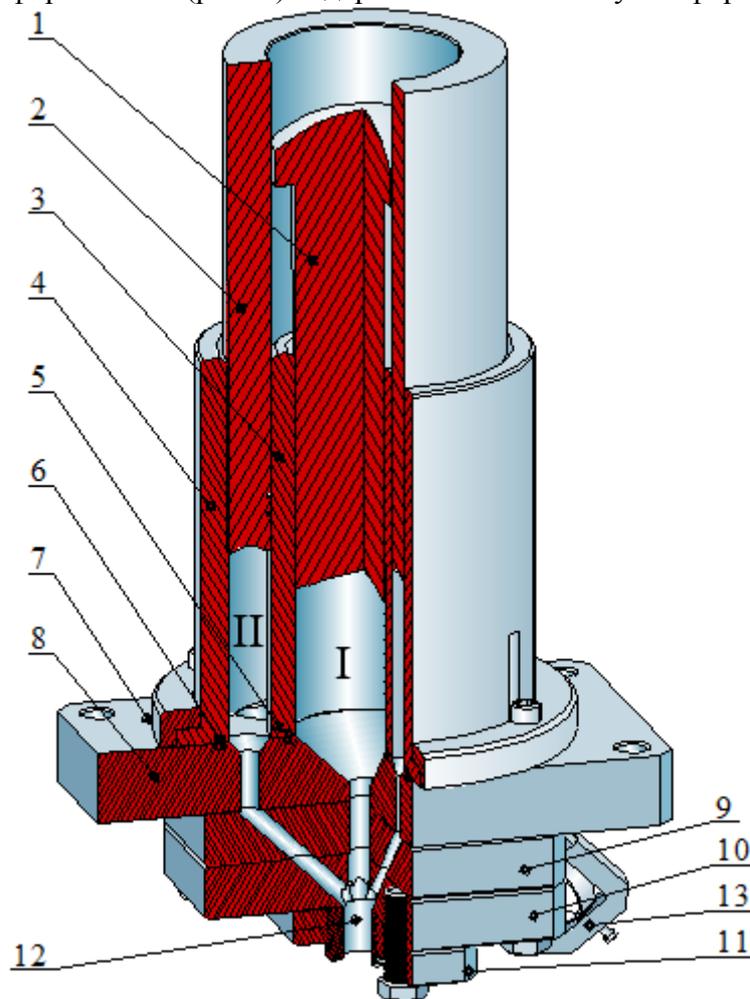


1 – узел совместного формования; 2, 3 – траверсы; 4 – колонны; 5 – гайка; 6 – опоры;  
 7 – опорный стол; 8 – стойки; 9 – рамы; 10 – редуктор; 11, 12 – муфты;  
 13 – электродвигатель; 14 – пускатель; 15 – электроцит

Рис. 1 – Экспериментальная установка для соэкструзии резиновых смесей

Основными элементами экспериментальной установки являются узел совместного формования 1, который с помощью опор 6 приваривается к опорному столу 7 нижней траверсы 3 винтового пресса, и верхняя траверса 2, осуществляющая поступательное движение вверх/вниз по направляющим колоннам 4. Привод установки состоит из электродвигателя 13 соединенного муфтами 12 с двумя редукторами 10. Запуск и остановка агрегата осуществляются при помощи пускателя 14, подключенного к электрощиту 15.

Узел совместного формования (рис. 2) содержит нагнетательную и формирующую зоны.



I – зона нагнетания материала 1; II – зона нагнетания материала 2;  
 1, 2 – внутренний и наружный плунжеры; 3, 4 – внутренний и наружный цилиндры;  
 5, 6 – кольца центрирующие; 7 – фланец; 8 – плита опорная; 9, 10, 11 – пластины;  
 12 – фильера; 13 – плунжерная пара

Рис. 2 – Узел совместного формования лабораторной установки

Нагнетательную зону образуют внутренний 3 и наружный 4 цилиндры, где происходит поступательное перемещение двух плунжеров 1 и 2. Крепление нагнетательной зоны к опорной плите осуществляется с помощью фланца 7 и четырех винтов с потайными головками. Формующая зона образована набором пластин 9, 10 и 11, а также сменными цилиндрическими фильерами 12.

Принцип работы экспериментальной установки: резиновые смеси, загруженные зоны нагнетания I и II, перемещаются под действием вытесняющего усилия верхней траверсы винтового пресса в каналы индивидуального течения головки. После прохождения индивидуальных оформляющих каналов материалы попадают в область стратифицированного течения, образуемого фильерой с круглым поперечным сечением.

Рассмотрим данные, полученные в результате проведения серии экспериментальных исследований течения резиновых смесей в каналах формирующей головки для получения цилиндрических заготовок. В данном исследовании использовались резиновые смеси 4860 и

6620 производства ОАО «Ярославский завод резиновых технических изделий», реологические характеристики которых были заранее определены современными методами капиллярной вискозиметрии. При этом более вязкий материал закладывался во внутренний канал, а менее вязкий во внешний канал. Такое сочетание обеспечит выполнение роли смазки для материала, контактирующего с поверхностью фильеры в области совместного деформирования, и снизит усилия на винтовом прессе, необходимые для соэкструзии материалов.

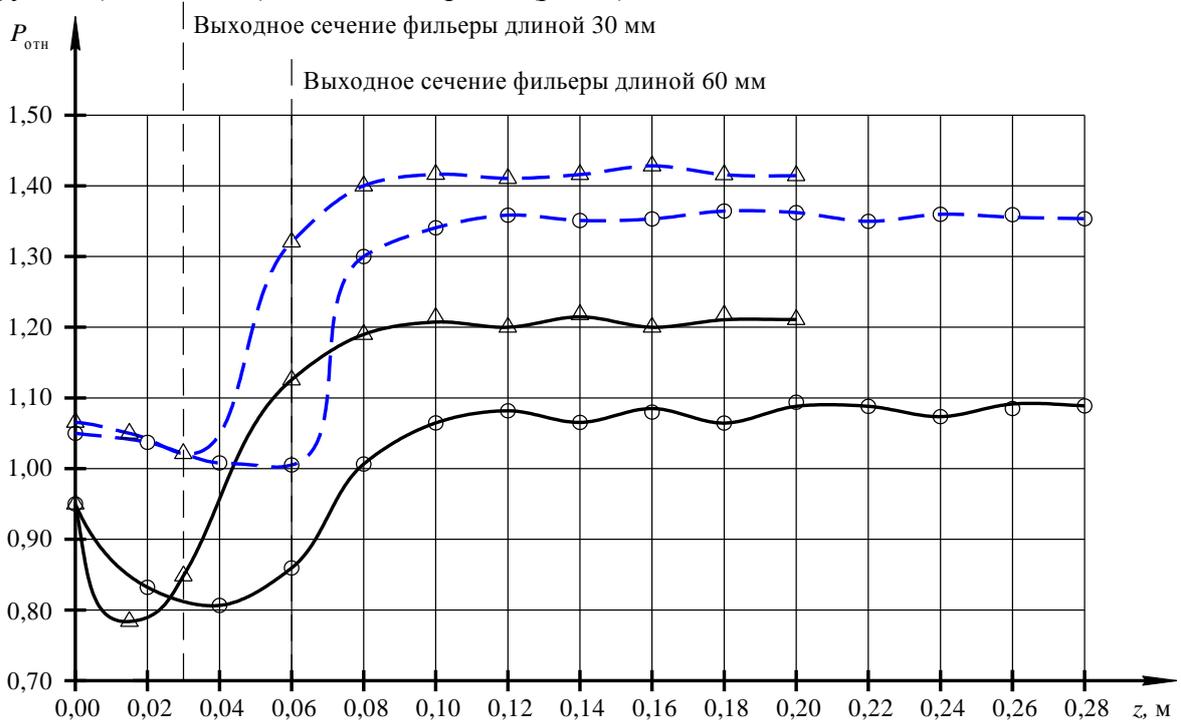
Анализ деформационной картины течения в ходе экспериментального исследования процесса соэкструзии осуществим за счет оценки деформации поверхности раздела материалов и наружной поверхности полученного двухслойного экструдата. С данной целью были получены оцифрованные изображения поперечных срезов экструдированных заготовок, что обеспечило точность измерения размеров до  $10^{-5}$  м.

Для количественной оценки деформации каждого из слоёв по оцифрованным срезам были использованы следующие параметры:

- периметр смачивания поверхности раздела материалов  $P_{1i}$ , представляющий собой линию контакта двух резиновых смесей;
- периметр смачивания наружной поверхности  $P_{2i}$ , представляющий собой линию контакта наружного слоя экструдата и воздуха.

Отклонение данных параметров от заданных оценивается по величинам относительных периметров смачивания:  $P_{1отн} = P_{1i}/P_{1зад}$ ,  $P_{1зад} = 2\pi r_{вн} = 62,83$  мм,  $P_{2отн} = P_{2i}/P_{2зад}$ ,  $P_{2зад} = 2\pi r_{нар} = 75,4$  мм.

Сравнительный анализ формообразования экструдированных заготовок в ходе проведенных экспериментов с различной длиной зоны совместного течения осуществим за счет построения графиков зависимости степени деформирования граничных поверхностей экструдата ( $P_{1отн}$  и  $P_{2отн}$ ) от длины образца (рис. 2).



$\Delta$  – длина фильеры 30 мм,  $\odot$  – длина фильеры 60 мм, — граница раздела материалов, - - - - наружная поверхность экструдата

Рис. 2 – Эволюция деформации граничных поверхностей экструдата ( $P_{отн}$ ) при соэкструзии на экспериментальной установке

Принимая во внимание, что заданные размерные характеристики достигаются при величине относительного периметра смачивания равной 1 ( $P_{i отн} = 1$ ), можно оценить степень отклонения размеров каждого слоя в рассматриваемых образцах. Минимальное отклонение

$P_{отн}$  характерно для первого сечения ( $z=0$ ), где отдельные потоки резиновых смесей только начинают совместное течение. По мере продвижения материалов в зоне совместного формования происходит передавливание внутреннего слоя наружным, что можно объяснить геометрическими особенностями конструкции головки (внешние формирующие каналы расположены под углом  $45^\circ$  к внутреннему каналу). После выхода из фильеры происходит резкое увеличение размеров экструдата, при этом максимальное значение  $P_{отн}$  для наружного слоя составляет 1,42, а для внутреннего – 1,22.

Подобные деформации свидетельствуют об определяющем влиянии постэкструзионного разбухания на формирование длиномерных агрегированных заготовок. В промышленности переработки полимеров снижение релаксации напряжений на качество экструдата достигается использованием протягивающих устройств, тщательным поддержанием оптимального температурного режима, подбором режимных параметров процесса и другими средствами, соблюдение которых при лабораторном эксперименте затруднительно.

Сравнение результирующей деформационной картины течения резиновых смесей в головке с фильерами различной длины показывает, что увеличение длины области совместного течения приводит к уменьшению степени постэкструзионного разбухания перерабатываемых материалов. Это объясняется увеличением времени релаксации упругих напряжений в перерабатываемом материале в процессе течения по формирующим каналам. При этом в рамках проведенного эксперимента увеличение длины фильеры в 2 раза привело к уменьшению отклонения размерных характеристик от заданных значений ( $P_{отн}$ ) в зоне стратификации на 1-6%, а после выхода из фильеры – на 4-18 % (когда заготовка подвержена сильному постэкструзионному разбуханию).

Для численного анализа процесса соэкструзии в головке экспериментальной установки необходимо смоделировать расчетную область, дискретизировать ее конечными элементами, осуществить расчет согласно предложенному в работах [3, 4] алгоритму и визуализировать выходные данные.

В ходе процесса дискретизации область расчета была разбита тетраэдрическими элементами. Общее количество элементов для узла формования с 30 мм длиной зоны стратификации составило 10312 элементов, а для узла формования с 60 мм длиной – 10849 элементов. В процессе разбиения конечно-элементная сетка сгущалась в местах резкого изменения геометрии каналов и особенно в области стратифицированного течения резиновых смесей.

Далее был осуществлен численный расчет и получены распределения гидродинамических и деформационных параметров, позволяющих оценить степень соответствия данных теоретического исследования результатам экспериментов. Так, на рисунке 4 представлена область стратифицированного течения и часть потока со свободной поверхностью на выходе из фильеры. Отметим, что положение граничной поверхности, полученное в результате численного исследования, повторяет основные закономерности экспериментального размерообразования экструдата. Анализ полученных скоростей сдвига показывает концентрацию максимальных значений ( $10,320 \text{ с}^{-1}$ ) в пристеночной зоне, а также в выходном сечении канала. Данный параметр носит вихреобразный характер распределения вблизи выходного сечения зоны стратификации. Последствием такой гидродинамической картины является значительное увеличение размеров свободной поверхности экструдированной заготовки.

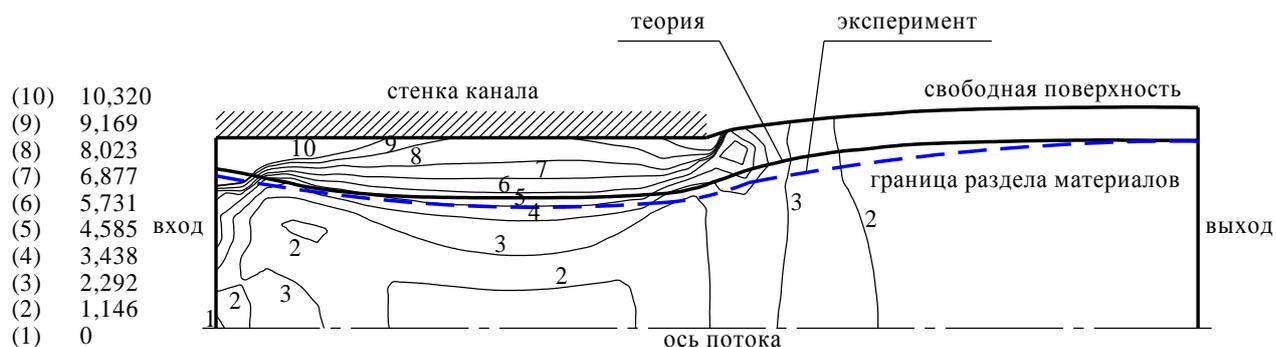


Рис. 4 – Распределение скоростей сдвига в области стратифицированного течения длиной 30 мм

Проведенный анализ сходимости данных численного расчета и эксперимента доказывают адекватность применимости разработанной математической модели к расчёту гидродинамических и деформационных характеристик процесса стратифицированного течения резиновых смесей в дуплексных головках для выпуска заготовок цилиндрического и кольцевого профилей.

### Список литературы

1. Раувендааль К., Харрис Х., М. Д. Пилар Норьегга Е. Выявление и устранение проблем в экструзии. – СПб.: Профессия, 2008. – 344 с.
2. Хан Ч. Д. Реология в процессах переработки полимеров. – М.: Химия, 1979. – 366 с.
3. Юрыгин П.П., Гуданов И.С., Гончаров Г.М., Ломов А.А. Математическое моделирование созкструзии длинномерных кольцевых изделий из резиновых смесей // Научно-технический вестник Поволжья. – Казань. – 2013. – № 2. – С. 267-271.
4. Юрыгин П.П., Гуданов И.С., Гончаров Г.М., Ломов А.А. Метод численного расчёта стратифицированного течения вязкоупругих жидкостей в цилиндрических каналах // Научно-технический вестник Поволжья, 2013. – №2. – С. 272-278.

**АННОТАЦИИ  
ABSTRACTS**

В.С. Минкин, Б.Н. Иванов, Р.Х. Зиятдинов,  
Р.Н. Костромин  
СТРОЕНИЕ РАЗВЕТВЛЕННЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ  
ЖИДКИХ ТИОКОЛОВ

*Ключевые слова: жидкие тиоктолы, степень разветвленности и превращения, ядерный магнитный резонанс.*

*Проведен статистический анализ спектров ЯМР  $^{13}\text{C}$  и  $^1\text{H}$  промышленных и лабораторных образцов тиоколов. Показано, что по интегральным интенсивностям спектров ЯМР  $^{13}\text{C}$  можно определять количественно степень разветвленности промышленных жидких тиоколов. По спектрам ЯМР  $^{13}\text{C}$  был проведен количественный анализ степени разветвленности жидких тиоколов.*

В.В. Браништи  
О ПАРАМЕТРИЧЕСКОМ ОЦЕНИВАНИИ  
ФУНКЦИИ ПЛОТНОСТИ ВЕРОЯТНОСТИ

*Ключевые слова: функция плотности вероятности, ортонормированные системы, метод наименьших квадратов.*

*В работе рассматривается задача параметрического оценивания неизвестной функции плотности вероятности по выборке значений случайной величины. Оценка функции плотности вероятности строится в виде линейной комбинации ортонормированных функций. Находятся выборочные оценки количества ортонормированных функций и коэффициентов. Выполняется сравнение эффективности аппроксимации при различных ортонормированных системах.*

А.И. Варавва, А.В. Татосов  
ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ  
ТЕРМОКАПИЛЛЯРНЫХ ТЕЧЕНИЙ

*Ключевые слова: течение жидкости, температура, поверхностное натяжение.*

*Предложен численный метод расчета термокапиллярных течений. Метод основан на введении в уравнение движения сил, обусловленных касательными напряжениями, которые возникают на межфазных поверхностях. Приведен пример расчета течения, возникающего в неравномерно нагретом слое жидкости.*

В.В. Дружинин  
РЕШЕТО ТИПА ЭРАТОСФЕНА ДЛЯ ПРОСТЫХ  
ЧИСЕЛ-БЛИЗНЕЦОВ

*Ключевые слова: простые числа-близнецы, решето Эратосфена, распределение.*

*Вопрос о конечном или бесконечном числе простых чисел-близнецов рассматривается с точки зрения решета типа Эратосфена для этих чисел. Аналитически и по численным экспериментам*

V.S. Minkin, B.N. Ivanov, R.H. Ziyatdinov,  
R.N. Kostromin  
THE STRUCTURE OF BRANCHED INDUSTRIAL  
LIQUID THIOKOLS

*Keywords: liquid thiokols, degree of branching and conversion, nuclear magnetic resonance.*

*A statistical analysis of the NMR spectra of  $^{13}\text{C}$  and  $^1\text{H}$  industrial and laboratory samples thiokols. It is shown that the integral intensities of  $^{13}\text{C}$  NMR spectra can quantify the degree of branching of industrial liquid thiokols.  $^{13}\text{C}$  NMR spectra was carried out quantitative analysis of the degree of branching of liquid thiokols.*

V.V. Branishti  
ON PARAMETRIC ESTIMATION OF PROBABILITY  
DENSITY FUNCTION

*Keywords: probability density function, orthonormal systems, least-squares method.*

*The task of parametric estimating of probability density function on sample of random variable values is considered in this paper. The density function estimation has form of linear combination of orthonormal functions. It is found sample estimate of orthonormal functions number and coefficients. Approximation efficiency is compared on different orthonormal systems.*

A.I. Varavva, A.V. Tatosov  
NUMERICAL MODELING OF  
THERMOCAPILLARY FLOW

*Keywords: fluid flow, temperature, surface tension.*

*A numerical method for calculating the thermocapillary flows proposed. The method is based on the introduction into the equation of motion forces due to shear stresses that occur at interfaces. An example of calculating the flow occurring in a nonuniformly heated fluid layer given.*

V.V. Druzhinin  
THE ERATOSTHENES SIEVE FOR PRIME PAIR  
NUMBERS

*Key words: prime pair numbers, the Eratosthenes sieve, partition.*

*The problem of the finite or infinite number of prime-pair number is studied with relation to the Eratosthenes sieve for these numbers. The article presents that the number of such pairs is infinite and that was proved*

получено указание о том, что число таких пар бесконечно.

Н.С. Захаров, Г.В. Абакумов, А.Н. Ракитин  
ВЗАИМОСВЯЗЬ МЕЖДУ КЛИМАТИЧЕСКИМИ  
ФАКТОРАМИ

Ключевые слова: климат, климатические факторы, корреляция, гармонические модели.

В статье рассматривается вопрос взаимосвязи климатических факторов. На основе данных о средних месячных значениях показателей климатических факторов оценена значимость их сезонных изменений, рассмотрены корреляционные связи между ними. Установлено, что все рассматриваемые факторы, за исключением доли дней с осадками, имеют статистически значимую линейную корреляционную связь с температурой воздуха.

В.В. Рыбин

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЙ ПОДХОД К АНАЛИЗУ  
ТЕРМИЧЕСКОГО РАЗЛОЖЕНИЯ ЭТАНОЛА

Ключевые слова: синтез углеродных нанотрубок, термодинамика пиролиза, свободная энергия Гиббса.

В работе рассматривается пиролиз этанола – один из перспективных методов синтеза углеродных нанотрубок. Представленный подход позволяет выявить оптимальные условия пиролиза – состав парогазовой смеси, температуру и давление для максимального выхода углерода.

С.В. Рыков

ФУНДАМЕНТАЛЬНОЕ УРАВНЕНИЕ СОСТОЯНИЯ,  
УЧИТЫВАЮЩЕЕ АСИММЕТРИЮ ЖИДКОСТИ

Ключевые слова: уравнение состояния, изохорная теплоемкость, изобарная теплоемкость, свободная энергия, масштабные функции.

Впервые на основе феноменологической теории критических явлений обоснована структура фундаментального уравнения состояния, удовлетворяющего требованиям современной физики критических явлений. Установлено, что предложенное фундаментальное уравнение с удовлетворительной точностью передает надежные экспериментальные калорические и термические данные жидкости и газа в регулярной и метастабильной областях термодинамической поверхности.

С.А. Соловьева

К ВОПРОСУ О РЕШЕНИИ ИНТЕГРАЛЬНЫХ  
УРАВНЕНИЙ ФРЕДГОЛЬМА ВТОРОГО РОДА

Ключевые слова: интегральное уравнение Фредгольма второго рода, пространство гладких функций, приближенное решение, метод коллокации, интерполяционные полиномы Эрмита–Фейера.

В работе предложен и обоснован специальный прямой метод приближенного решения интегральных уравнений второго рода в пространстве гладких функций, основанный на интерполяционных полиномах Эрмита–Фейера.

analytically and with the help numeral experiment.

N.S. Zakharov, G.V. Abakumov, A.N. Rakitin  
CLIMATIC FACTORS CORRELATION

Keywords: climate, climatic factors, correlation, harmonic models.

In the article, the subject of climatic factors correlation is considered. On the basis of the data of the monthly average values of climatic factors indicators, the significance of their seasonal changes is estimated and their correlation is examined. It is ascertained that all factors considered, except for the share of days with precipitations, have statistically significant linear correlation with air temperature.

V.V. Rybin

THERMODYNAMIC APPROACH TO THE  
ETHANOL THERMAL DECOMPOSITION  
ANALYSIS

Keywords: carbon nanotubes synthesis, pyrolysis thermodynamics, Gibbs free energy.

In this paper, an ethanol pyrolysis – one of the perspective carbon nanotubes synthesis methods, has been considered. This approach allows to discover the pyrolysis optimal conditions – gas mixture content, temperature and pressure for maximum carbon yield.

S.V. Rykov

THE FUNDAMENTAL EQUATION OF STATE  
CONSIDERING ASYMMETRY OF FLUID

Keywords: equation of state, isochoric heat capacity, isobaric heat capacity, free energy, scaling functions.

For the first time on the basis of phenomenological theory of critical phenomena and substantiates the structure of the fundamental equation of state satisfying the requirements of the modern physics of critical phenomena. It is established that the fundamental equation with satisfactory accuracy passes reliable experimental caloric and thermal data of liquid and gas in regular and metastable regions thermodynamic surface.

S.A. Solov'eva

ON THE QUESTION OF SOLUTION OF FREDHOLM  
INTEGRAL EQUATIONS OF THE SECOND KIND

Keywords: Fredholm integral equation of the second kind, space of smooth functions, approximate solution, collocation method, Hermite–Fejer interpolation polynomials.

In this paper we propose and justify special direct method for the approximate solution of integral equations of the second kind based on Hermite–Fejer interpolation polynomials in the space of smooth functions.

С.Н. Тимергалиев, А.Н. Углов, Г.А. Якупова  
ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗРЕШИМОСТИ  
ПРОСТРАНСТВЕННЫХ КРАЕВЫХ ЗАДАЧ ДЛЯ  
ШАРА ЛИНЕЙНОЙ ТЕОРИИ УПРУГОСТИ

*Ключевые слова: уравнения равновесия, упругий шар, интегральное представление, система сингулярных интегральных уравнений, символ оператора.*

*В работе для изучения разрешимости линейных краевых задач для изотропного однородного упругого шара применяется метод, основанный на использовании интегральных представлений для компонент перемещений. Задача сводится к системе сингулярных интегральных уравнений по шару, разрешимость которой устанавливается с привлечением символа сингулярного оператора.*

S.N. Timergaliev, A.N. Uglov, G.A. Yakupova  
INVESTIGATION OF SPATIAL BOUNDARY  
PROBLEMS SOLVABILITY FOR BALL IN LINEAR  
ELASTICITY THEORY

*Keywords: equilibrium equations, elastic ball, integral representation, the system of singular integral equations, the symbol of the operator.*

*In this paper for the study of linear boundary problems solvability for homogeneous isotropic elastic ball the method, based on the use of integral representations for the displacement components, is used. The problem is reduced to a system of singular integral equations on a ball whose solubility is established with the involvement of the symbol of a singular operator.*

Т.Ю. Тришина  
МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ЛОКАЛЬНОГО  
ПЛАСТИЧЕСКОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ  
ЦИЛИНДРИЧЕСКОГО СЛОЯ С  
ПРОГНОЗИРУЕМЫМИ МЕХАНИЧЕСКИМИ И  
СТРУКТУРНЫМИ СВОЙСТВАМИ МАТЕРИАЛА

*Ключевые слова: напряжение, деформация, температура нагрева, подача инструмента.*

*В работе представлены результаты моделирования процесса локального пластического деформирования цилиндрического слоя с прогнозируемыми механическими и структурными свойствами. Исследование проведено с использованием конечно-элементного комплекса ANSYS. На основе результатов моделирования, предложены рекомендации по выбору параметров подачи инструмента и температуры нагрева исходной заготовки.*

T.U. Trishina  
MODELING OF LOCAL METAL FORMING  
PROCESS OF CYLINDRICAL LAYER WITH  
PREDICTED MECHANICAL AND STRUCTURAL  
MATERIAL PROPERTIES

*Keywords: stress, strain, heating temperature, advance of tool.*

*This paper presents the result of modeling of local metal forming process of cylindrical layer with predicted mechanical and structural material properties. Investigation was conducted with using a finite element software package ANSYS. By using results of modeling we may propose recommendations for selection parameters of advance of tool and heating temperature of original intermediate.*

М.В. Акулова, Б.Р. Исакулов, М.Д. Джумабаев,  
А.М. Сартова  
КОМПЛЕКСНАЯ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКАЯ  
АКТИВАЦИЯ ЗОЛОШЛАМОВЫХ ВЯЖУЩИХ ДЛЯ  
ПОЛУЧЕНИЯ ЛЕГКИХ АРБОЛИТОБЕТОНОВ

*Ключевые слова: активация, зола-унос, вяжущее, электрическое поле, прочность при сжатии.*

*В экспериментальных исследованиях описаны полученные результаты комплексной электромеханической активации и исследование свойств золошламовых вяжущих с различными отходами промышленности республик Центральной Азии.*

M.V. Akulova, B.R. Isakulov, M.D. Dzhumabaev,  
A.M. Sartova  
COMPLEX ELECTROMECHANICAL ACTIVATION  
GOLD SLURRY BINDER FOR THE PRODUCTION  
OF LIGHT ARBOLITE CONCRETE

*Keywords: activation, fly ash, binder, the electric field strength in compression.*

*In experimental studies have described the results of complex electromechanical activation and study the properties of the slurry gold binders with various industrial wastes of Central Asia. For a complete study of the mechanism of activation of complex electromechanical binder adopted a sequential approach to the study of two-component mortar binder.*

В.М. Артюшенко, В.И. Воловач, К.Л. Самаров  
КОНСТРУИРОВАНИЕ ДВУХМЕРНЫХ  
КОРРЕЛИРОВАННЫХ МОДЕЛЕЙ  
НЕГАУССОВСКИХ ПОМЕХ

*Ключевые слова: многомерные ПРВ, метод смешивания случайных процессов, марковские процессы, одномерная ПРВ, корреляционная функция, эллиптические симметричные двумерные ПРВ, негауссовские помехи.*

V.M. Artyushenko, V.I. Volovach, K.L. Samarov  
DESIGNING OF THE TWO-DIMENSIONAL  
CORRELATED MODELS OF NOT GAUSSIAN  
HINDRANCES

*Keywords multidimensional PRV, method of mixing of casual processes, Markov processes, one-dimensional PRV, correlation function, elliptic symmetric two-dimensional PRV, not Gaussian hindrances.*

Показано, что для описания случайных процессов может использоваться метод многомерных ПРВ, в частности метод смешивания случайных процессов. Для получения многомерных ПРВ, в свою очередь, могут быть использованы непрерывнозначные марковские процессы, рассмотренные в статье. Показано, что в ряде случаев используется упрощенное вероятностное описание случайных процессов, например, с использованием одномерной ПРВ и корреляционной функции. Отмечено, что для описания узкополосных коррелированных негауссовских помех могут быть использованы эллиптически симметричные двухмерные ПРВ.

It is shown that for the description of casual processes the method of multidimensional PRV, in particular a method of mixing of casual processes can be used. For receiving multidimensional PRV, in turn, the continuously-place Markov processes considered in article can be used. It is shown that in some cases the simplified probabilistic description of casual processes, for example, with use of one-dimensional PRV and correlation function is used. It is noted that for the description of the narrow-band correlated not Gaussian hindrances elliptically symmetric two-dimensional PRV can be used.

Э.И. Бегагоин, А.Г. Русаков

#### ОЦЕНКА ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕКУПЕРАТИВНОГО ТОРМОЖЕНИЯ

Ключевые слова: Энергоэффективность, электрификация, рекуперативное торможение, коэффициент рекуперации, электровозы.

E.I. Begagoin, A.G. Rusakov

#### ESTIMATION OF ENERGETIC EFFICIENCY OF REGENERATIVE BRAKING

Keywords: Energy efficiency, electrification, regenerative braking, recovery rate, electric locomotives.

В данной статье рассмотрена методика расчета энергетической эффективности рекуперативного торможения на железнодорожном участке с последующим составлением энергетического паспорта.

In this article the method of calculation of power efficiency of recuperative braking on a railway site with the subsequent drawing up energy passport.

В.Ф. Беккер

#### ВВЕДЕНИЕ ДВУХУРОВНЕВОГО МАСШТАБА ГЕОМЕТРИЧЕСКОГО ПОДОБИЯ В ОПИСАНИЕ ГИДРОДИНАМИКИ ТРЕХФАЗНОГО ПСЕВДООЖИЖЕНИЯ

Ключевые слова: трехфазное псевдоожигение, газожидкостная структура, геометрическое подобие, двухуровневый масштаб, подвижная насадка.

V.F. Becker

#### INTRODUCTION DUPLEX SCALE GEOMETRIC SIMILARITY IN THE DESCRIPTION HYDRODYNAMICS THREEPHASE FLUIDIZED

Keywords: three-phase fluidization, gas-liquid structure, geometric similarity, two-level scale, the movable nozzle.

Предложено на основе теории локально-изотропной турбулентности и результатов экспериментальных исследований физической модели ввести двухуровневый масштаб геометрического подобия в полумпирическое автомодельное описание гидродинамики организуемого в аппаратах с подвижной насадкой трехфазного псевдоожигенного слоя.

Proposed based on the theory of locally isotropic turbulence and the results of experimental studies of the physical model to introduce a two-tiered scale geometric similarity in the semi-empirical self-organized description of hydrodynamics in devices with movable head three phase fluidized bed.

Н.Н. Беспалов, М.В. Ильин, С.С. Капитонов, А.В. Капитонова

#### МЕТОДИКА ПОДБОРА СИЛОВЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРОВ ДЛЯ ГРУППОВЫХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫХ ЦЕПЕЙ УСТРОЙСТВ СИЛОВОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ

Ключевые слова: силовой полупроводниковый прибор, устройства силовой электроники, параметры, характеристики, снабберная цепь.

N.N. Bepalov, M.V. Ilyin, S.S. Kapitonov, A.V. Kapitonova

#### METHOD OF SELECTION OF POWER SEMICONDUCTOR DEVICES FOR SERIES GROUP CIRCUIT FOR POWER ELECTRONICS DEVICES

Keywords: power semiconductor device, power electronics devices, parameters, characteristics, snubber circuit.

В статье рассматривается методика подбора силовых полупроводниковых приборов для формирования групповых последовательных цепей устройств силовой электроники. Предложено осуществлять подбор по комплексу параметров с помощью разработанного аппаратно-программного комплекса. Представлены также результаты расчёта значений ёмкостей конденсаторов снабберных цепей приборов при групповом соединении.

The article considers method of selection of power semiconductor devices for forming series group circuit of power electronics devices. Requested to carry out the selection of the complex parameters using the developed hardware and software package. The results of calculating the values of the snubber circuit, pre-selected using the developed method.

Н.Н. Беспалов, А.Е. Лысенков

**ПОДХОД К СОЗДАНИЮ ЭЛЕКТРОТЕПЛОЙ  
МОДЕЛИ СИЛОВЫХ МДП-ТРАНЗИСТОРОВ**

*Ключевые слова: МДП-транзистор, электротепловая модель, термочувствительные параметры, моделирование.*

*В статье рассматривается новый подход к созданию электротепловой модели мощного МДП-транзистора с индуцированным каналом, эксплуатируемого в ключевом режиме.*

N.N. Bepalov, A.E. Lysenkov

**THE METHOD OF CREATING THERMAL-  
ELECTRICAL MODEL OF POWER MOSFET**

*Keywords: MOSFET, thermal-electrical model, temperature sensitive parameters, simulation.*

*The article considers new method of creating thermal-electrical model of power MOSFETs used in switch-mode.*

Л.М. Болдырева, И.В. Лашина

**АНАЛИЗ БЕСКОНТАКТНЫХ СПОСОБОВ  
ПОЛУЧЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ О ПОВЕРХНОСТИ  
ТЕЛА ЧЕЛОВЕКА**

*Ключевые слова: поясные изделия, методы проектирования поясной одежды, системы автоматизированного проектирования.*

*Проведен анализ бесконтактных способов получения информации о поверхности тела человека с целью выявления наиболее приемлемых способов снятия размерных признаков, которые дают наименьшие погрешности, что, в свою очередь, отражается на последующих этапах проектирования поясных изделий.*

L.M. Boldyreva, I.V. Lashina

**PROXIMITY ANALYSIS OBTAINING  
INFORMATION ON THE HUMAN BODY SURFACE**

*Keywords: belt product design methods waist clothing, computer-aided design.*

*The analysis of contactless methods of obtaining information about the surface of the human body in order to identify the most appropriate ways to relieve measurable traits that give the smallest error, which, in turn, is reflected in the subsequent stages of the design of the waist products.*

О.В. Васильева, Г.П. Жигулин

**СПОСОБ ФОРМИРОВАНИЯ МОДЕЛИ УГРОЗ И  
НАРУШИТЕЛЕЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ  
БЕЗОПАСНОСТИ ЧАСТНОЙ ОБЛАЧНОЙ  
ИНФРАСТРУКТУРЫ**

*Ключевые слова: модель угроз и нарушителей, частное облако, информационное хранилище данных, центр обработки данных.*

*В статье описывается способ построения модели угроз и нарушителей информационной безопасности информационного хранилища данных развернутого в частном облаке. Установлены компоненты центра обработки данных частного облака. Определены угрозы, уязвимости и их последствия на уровнях информационной инфраструктуры информационного хранилища данных реализованного посредством частного облака.*

O.V. Vasileva, G.P. Zhigulin

**THE METHOD FOR FORMING A THREAT MODEL  
AND VIOLATORS INFORMATION SECURITY  
PRIVATE CLOUD INFRASTRUCTURE**

*Keywords: model threats and intruders, a private cloud, data warehouse data, data processing center.*

*The article describes a method for constructing models of threats and information security intruders data warehouse data deployed in a private cloud. Components of data center private cloud are installed. Identified threats, vulnerabilities and their effects on the levels of information infrastructure information data warehouse implemented by the private cloud.*

В.И. Воловач, А.В. Савенко

**ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ И РАБОТЫ  
ТУРНИКЕТНЫХ ДАТЧИКОВ  
РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ ОБНАРУЖЕНИЯ**

*Ключевые слова: турникетный датчик, режим активной радиолокации, режим полуактивной радиолокации, зондирующий сигнал, доплеровское смещение частоты, зона обнаружения.*

*Рассмотрены особенности построения и работы турникетных датчиков радиотехнических систем обнаружения ближней дальности. Рассмотрены особенности нахождения доплеровского смещения частоты в турникетных датчиках названных систем обнаружения. Показаны особенности формирования зоны обнаружения турникетных датчиков.*

V.I. Volovach, A.V. Savenko

**FEATURES OF CONSTRUCTION AND OPERATION  
OF TURNSTILE SENSORS OF RADIO  
ENGINEERING SYSTEMS OF DETECTION**

*Keywords: the turnstile sensor, mode of an active radar-location, the mode of a semi-active radar-location probing a signal, Doppler shift of frequency, detection zone.*

*Features of construction and operation of turnstile sensors of radio engineering systems of detection of near range are considered. Features of finding of Doppler shift of frequency in turnstile sensors of the called systems of detection are considered. Features of formation of a zone of detection of turnstile sensors are shown.*

Н.Ф. Гибадуллин

ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ПРОДУКТИВНОСТИ  
ЛЕСОВ НА ПРИМЕРЕ ЛЕСОВ ЗАКАМЬЯ*Дана экологическая оценка лесов Альметьевского  
лесничества РТ (Белебеевско-Бугульминской  
возвышенности).*

С.П. Ильясов, А.В. Корнилов, Д.В. Свяжин

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ  
ИЗЫТОЧНОСТИ КАК СРЕДСТВА ПОВЫШЕНИЯ  
НАДЕЖНОСТИ РЕЗЕРВНОЙ СИСТЕМЫ  
ОРИЕНТАЦИИ ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА*Ключевые слова: надежность, бесплатформенная  
система ориентации, резервирование, встроенная  
система контроля.**В работе представлены пути повышения надежности  
бесплатформенной инерциальной системы  
ориентации за счет аппаратного и информационного  
резервирования, а также применения встроенной  
системы контроля.*А.В. Ключников, А.В. Кузнецов, Н.А. Кузьминых,  
А.В. ЛысыхСОЗДАНИЕ КОМПЬЮТЕРНОЙ СИСТЕМЫ  
КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ СОСТАВНЫХ БЛОКОВ  
ПИТАНИЯ*Ключевые слова: химический источник тока, блок  
питания, периодические испытания, автоматизация,  
измерения.**Обсуждён вопрос разработки и использования  
автоматизированной системы контроля параметров  
химических источников тока, используемых при  
проектировании и изготовлении многоканальных  
блоков питания. Приведены основные технические  
характеристики системы.*

Т.М. Кокина, Р.Н. Тазмеева

ВЫБОР ДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ  
ИССЛЕДОВАНИЯ КРУТИЛЬНЫХ КОЛЕБАНИЙ  
МЕХАНИЗМА ВЫПУСКНЫХ ВАЛОВ  
ПНЕВМОПРЯДИЛЬНЫХ МАШИН*Ключевые слова: пневмопрядильная машина, механизм  
выпускных валов.**В статье обосновывается выбор динамической  
модели механизма на основании анализа инерционно-  
жесткостных характеристик приводов  
пневмомеханической прядильной машины.*М.А. Куликов, С.Г. Козлов, О.Р. Середкина  
ОТЛОЖЕНИЕ НЕРАСТВОРИМЫХ СОЛЕЙ НА  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ОБОРУДОВАНИИ  
ПРОИЗВОДСТВА ХЛОРИДА КАЛИЯ*Ключевые слова: процесс солеотложения,  
сильвинитовая обогатительная фабрика,  
комплексоны и комплексонаты, цинковый комплекс  
ОЭДФ, расходная норма реагента.**В статье рассмотрены причины отложения  
нерастворимых солей на технологическом  
оборудовании калийного производства применительно*

N.F. Gibadullin

EVALUATE THE ECOLOGICAL PRODUCTIVITY  
OF FORESTS FOR EXAMPLE FORESTS ZAKAMJA  
Gives ecological assessment of forest Almetievsk forestry  
RT (Belebeyvsko-Bugulminskaya hill).S.P. Ilyasov, A.V. Kornilov, D.V. Svyazhin  
APPLICATION OF FUNCTIONAL REDUNDANCY  
LEVERAGE FOR RELIABILITY IMPROVEMENT  
OF INTEGRATED STANDBY INSTRUMENT  
SYSTEM*Key words: Reliability, strapdown inertial orientation  
system, redundancy, built-in control system.**Methods for reliability improvement of strapdown  
inertial orientation system using hardware and  
information redundancy and built-in control system are  
presented in this article.*A.V. Klyuchnikov, A.V. Kuznetsov, N.A. Kuzminykh,  
A.V. LysyhCOMPUTER-AIDED SYSTEM DEVELOPMENT FOR  
CONTROL THE PARAMETERS OF COMPOSITE  
POWER SUPPLY DEVICES*Keywords: chemical current source, power supply  
device, periodical tests, automation, measuring**The question on design and use of an automated system  
for chemical current sources' control. The sources use in  
design and production multichannel supply devises.  
System's main technical characteristics are described in  
the article.*

T.M. Kokina, R.N. Tazmeeva

SELECTION OF THE DYNAMIC RESEARCH  
PATTERN FOR THE EXIT SHAFT MECHANISM  
TORSIONAL OSCILLATION OF THE PNEUMO  
SPINNING FRAME*Pneumo spinning frame, mechanism torsional oscilation.**In the article the selection of the dynamic research  
pattern of the mechanism is grounded on the basis of the  
analysis of the accelerative-rigid characteristics of the  
pneumo spinning frame drive.*M.A. Kulikov, S.G. Kozlov, O.R. Seredkina  
DEPOSITION OF INSOLUBLE SALTS ON THE  
PROCESS EQUIPMENT PRODUCTION OF  
POTASSIUM CHLORIDE*Keywords: process scaling, sylvinite concentrator,  
chelators and complexonates, zinc complex HEDP, the  
expenditure rate of reagent.**The article examines the causes of deposition of  
insoluble salts on the process equipment potash  
production in relation to the conditions of sylvinite  
concentrator OJSC "Uralkali". To reduce the intensity of*

к условиям сальвинитовой обогатительной фабрики ОАО «Уралкалий». Для снижения интенсивности процесса солеотложения предложен цинковый комплекс ОЭДФ. Выданы рекомендации для определения оптимального расхода реагента.

Г.И. Лавров, И.Г. Лавров

АВТОМАТИЗАЦИЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УРОВНЯ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ В  
СКВАЖИНЕ ДЛЯ ТРЕХМЕРНЫХ ЦИФРОВЫХ  
ГЕОЛОГИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ

*Ключевые слова:* трехмерное моделирование,  
водонефтяной контакт, алгоритм.

Разработаны алгоритмы, позволяющие автоматизировать построение поверхности водонефтяного контакта в скважинах для цифровых трехмерных геологических моделей. Составлена программа для определения и корректировки уровня технологических параметров в скважине. Программа апробирована при построении геологической модели трех пластов с фондом скважин более 1000.

А.И. Ляшенко, А.А. Матушкин

МОДЕЛИРОВАНИЕ КИНЕМАТИЧЕСКИХ  
ХАРАКТЕРИСТИК УСТРОЙСТВА ДОСТАВКИ  
ПОЛЕЗНОЙ НАГРУЗКИ С УЧЁТОМ ЕГО УПРУГИХ  
СВОЙСТВ

*Ключевые слова:* Устройство разделения,  
кинематические характеристики, упругие свойства  
тела.

В статье описана методика численного расчёта кинематических характеристик устройства доставки с отцепляющимся грузом, приводится сравнение полученных кинематических характеристик с учётом и без учёта упругих свойств элементов конструкции, а также параметров отделяющегося груза. Оценивается влияние различных способов имитации соединения груза с устройством доставки полезной нагрузки. На основе приведённых результатов приводятся рекомендации по кинематическому анализу для устройства разделения.

Е.И. Макаров

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА  
МОТОРНОГО МАСЛА

*Ключевые слова:* температурный режим двигателя;  
ресурс моторного масла; распределение температуры  
двигателя; сезонные условия.

В статье рассматривается вопрос влияния температуры на ресурс моторного масла. Для прогнозирования ресурса необходимо знать закономерности изменения температуры двигателя. Разработана имитационная модель температуры двигателя, проведен эксперимент, получены распределения температур при различных режимах работы. Предложен подход к моделированию распределения температуры двигателя.

*the process of scaling proposed zinc complex HEDP. Issued recommendations to determine the optimal reagent consumption.*

G.I. Lavrov, I.G. Lavrov

AUTOMATION OF THE LEVEL DETERMINATION  
OF TECHNOLOGICAL PARAMETERS IN THE  
WELL FOR 3D DIGITAL GEOLOGICAL MODELS

*Keywords:* 3D modeling, oil-water contact, the  
algorithm.

*Algorithms are enabling to automate the construction of the surface of the oil-water contact in the wells for digital 3D geological models have been developed. A program for identifying and adjusting of the level of technological parameters in the well is made. The program has been tested for the construction of geological model of the three zones with the Fund wells more than 1000.*

A.I. Ljashenko, A.A. Matushkin

SIMULATION DEVICE KINEMATIC  
CHARACTERISTICS DELIVER PAYLOADS WITH  
REGARD ELASTIC PROPERTIES

*Keywords:* design Device division, the kinematic  
characteristics, elastic properties of the body.

*The paper describes a method of numerical calculation of kinematic characteristics of the delivery device with cargo, provides a comparison of the kinematic characteristics with and without consideration of elastic properties of structural components, as well as the parameters cargo. Assesses the impact of various ways of connection imitation of cargo with the device delivery of the payload. Based on these results, recommendations are provided for the kinematic analysis for separation devices.*

E.I. Makarov

ENGINE OIL TEMPERATURE MODE MODELLING

*Key words:* engine temperature mode; engine oil  
working life; engine temperature distribution; seasonal  
conditions.

*In the article, the question of temperature influence on engine oil working life is considered. For working life prognostics, it is necessary to know engine temperature change regularities. An imitating model of engine temperature was developed, experiment was carried out, temperature distributions were obtained at various operating modes. Предложен подход к моделированию распределения температуры двигателя. An approach to modeling of engine temperature distribution was offered.*

А.Н. Макарова

УТОЧНЕНИЕ ПЕРИОДИЧНОСТИ ТЕХНИЧЕСКОГО  
ОБСЛУЖИВАНИЯ АВТОМОБИЛЕЙ В  
ЭКСПЛУАТАЦИИ

*Ключевые слова:* периодичность технического обслуживания, наработка на отказ, закон распределения, вероятность отказа.

*В работе рассматривается вопрос определения периодичности технического обслуживания машин в случае, когда нет полной репрезентативной выборки наработок на отказ. Показано, что использование методик обработки усеченных выборок в данном случае не дает приемлемой точности. Для решения указанной задачи предлагается аппроксимировать зависимость вероятности отказа от наработки полиномом второй степени.*

И.А. Мальцев

АНАЛИЗ ТЕПЛОВОЙ ЭКВИВАЛЕНТНОЙ СХЕМЫ  
ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРОВ ПРИ  
НЕСТАЦИОНАРНОМ ТЕПЛОВОМ РЕЖИМЕ

*Ключевые слова:* тепловое сопротивление переход-корпус, эквивалентная тепловая схема, метод определения теплоемкостей и тепловых сопротивлений.

*В статье предложен экспресс метод определения теплоемкостей и теплового сопротивления переход-корпус мощных полупроводниковых приборов при нестационарном тепловом режиме.*

И.В. Мостяев

КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ОХЛАЖДАЕМЫХ  
ЛОПАТОК ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ В  
ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ ВИХРЕТОКОВЫМ  
МЕТОДОМ С ПРИМЕНЕНИЕМ МАГНИТНОЙ  
ЖИДКОСТИ

*Ключевые слова:* вихретоковый контроль, дефектоскопия, магнитная жидкость, охлаждаемые лопатки.

*Работа посвящена разработке нового метода вихретокового контроля с применением магнитной жидкости. Показано, что разрабатываемый метод позволяет существенно повысить эффективность выявления дефектов, развивающихся со стороны внутренней полости.*

М.А. Николаев

WEB-КОМПЛЕКС ТЕПЛОФИЗИЧЕСКОЙ  
ОПТИМИЗАЦИИ ЯЭУ

*Ключевые слова:* ядерная энергетика, теплофизика, оптимизация, облачные вычисления.

*Рассматриваются цели и задачи создания вычислительного веб-комплекса теплофизической оптимизации ядерных энергетических установок. Описаны архитектура и пользовательский интерфейс комплекса.*

A.N. Makarova

MAINTENANCE PERIODICITY CORRECTION OF  
AUTOMOBILES IN OPERATION

*Keywords:* maintenance periodicity, time to failure, distribution law, failure probability

*In the work, the question of maintenance periodicity determination of cars, in case when there is no complete representative sample of time to failure, is considered. It is shown that the use of the truncated selections processing techniques in this case doesn't give acceptable accuracy. For the specified task solution, it is offered to approximate the failure probability dependence on an operating time by a second degree polynomial.*

I.A. Maltsev

ANALYSIS OF HEAT EQUIVALENT CIRCUIT  
SEMICONDUCTOR UNDER UNSTEADY  
THERMAL REGIME

*Keywords:* thermal resistance junction to case thermal equivalent circuit method for determining the specific heats.

*This paper proposes a rapid method of determining the specific heat and thermal resistance, junction to case of power semiconductors under unsteady thermal regime.*

I.V. Mostyaev

QUALITY CONTROL COOLED BLADES FOR GAS  
TURBINE ENGINES DURING OPERATION USING  
EDDY CURRENT METHOD WITH THE USE OF  
MAGNETIC FLUID

*Keywords:* eddy current testing, flaw detection, magnetic liquid cooled blades.

*The work is devoted to new methods of eddy current testing with the use of magnetic fluid. It is shown that the developed method allows to raise essentially efficiency of defect detection, developing internal cavity.*

M.A. Nikolaev

WEB-COMPLEX OF THE THERMOPHYSICAL  
OPTIMIZATION FOR NPU

*Keywords:* nuclear power, thermal physics, optimization, cloud computing.

*Discusses the goals and objectives of the computing web-complex for the thermophysical optimization of nuclear power units. The architecture and user interface of the web-complex is described.*

Е.К. Петенёв, С.В. Пушилин, В.Б. Чемоданов  
КОМПЛЕКСИРОВАНИЕ УПРАВЛЯЮЩИХ  
ВОЗДЕЙСТВИЙ ПО РАЗНЫМ КАНАЛАМ В  
МНОГОКАНАЛЬНОЙ СИСТЕМЕ  
БЕСКОНТАКТНОГО УПРАВЛЕНИЯ

*Ключевые слова: Бесконтактная система управления, комплексирование, коррекция, распознавание.*

*В данной статье изложен способ комплексирования и взаимной коррекции данных от разных источников в многоканальной системе бесконтактного управления с учётом требований, предъявляемых к разрабатываемой системе.*

И.Н. Петров, А.Д. Самсонов  
К ВОПРОСУ ФОРМИРОВАНИЯ СИСТЕМ  
ФИЗИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ АЭРОПОРТОВ

*Ключевые слова: Объект транспортной инфраструктуры, транспортная безопасность, система физической защиты, акт незаконного вмешательства.*

*Рассмотрен состав системы обеспечения транспортной безопасности аэропорта. Сформированы функции, выполняемые системой физической защиты аэропорта и приведено детальное описание каждой из функций с определением их количественных и качественных характеристик.*

С.П. Санников, Д.В. Кубасов  
ТЕХНОЛОГИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА БЕТОННОГО  
ОСНОВАНИЯ, ФРАГМЕНТИРОВАННОГО  
ОБЪЕМНОЙ ПЛАСТИКОВОЙ РЕШЕТКОЙ

*Ключевые слова: фрагментированное бетонное основание, жесткие цементобетонные смеси, технология строительства.*

*В работе представлена технология строительства бетонного основания автомобильных дорог с фрагментированием объемной пластиковой решеткой.*

С.П. Санников, С.А. Куюков, Д.В. Маслов  
АНАЛИЗ ПРИЧИН РАЗРУШЕНИЯ  
АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ НА ЗАБОЛОЧЕННЫХ  
ТЕРРИТОРИЯХ ТЮМЕНСКОЙ ОБЛАСТИ (на  
примере Уватского района)

*Ключевые слова: болото, торфяное основание, мониторинг, георадар, консолидация, некондиционный грунт.*

*В работе представлены результаты мониторинга по выявлению причин разрушения автомобильных дорог на заболоченных территориях юга Тюменской области (Уватский район).*

М.Ю. Сартасова  
ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ИМПУЛЬСНОГО  
ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ

*Ключевые слова: математическое и численное моделирование, наносекундный импульс.*

E.K. Petenyov, S.V. Pushilin, V.B. Chemodanov  
INTEGRATION OF CONTROL ACTIONS ON  
DIFFERENT CHANNELS IN A MULTICHANNEL  
SYSTEM OF CONTACTLESS CONTROL

*Keywords: Contactless control system, integration, recognition.*

*This article describes a method of interconnecting and mutual correction of data from different sources in a multichannel system of contactless control with the requirements for the system being developed.*

I.N. Petrov, A.D. Samsonov  
TO A QUESTION OF CREATION OF SYSTEMS OF  
PHYSICAL PROTECTION OF AIRPORTS

*Keywords: Object of transport infrastructure, transport safety, physical protection system, the act of unlawful interference.*

*Considered part of a system of transport security of the airport. Formed functionality of the system of physical protection of the airport and provides a detailed description of each function with the determination of their quantitative and qualitative characteristics.*

S.P. Sannikov, D.V. Kubasov  
TECHNOLOGY OF CONSTRUCTION OF THE  
CONCRETE BASIS FRAGMENTED BY THE  
VOLUME PLASTIC LATTICE

*Keywords: the fragmented concrete basis, rigid cement-concrete mixes, technology of construction.*

*In work the technology of construction of the concrete basis of highways, with fragmentation by a volume plastic lattice is presented.*

S.P. Sannikov, S.A. Kuyukov, D.V. Maslov  
FAILURE ANALYSIS OF HIGHWAYS IN  
WETLANDS IN THE TYUMEN REGION (example  
Uvat region)

*Keywords: swamp, peat base, monitoring, ground penetrating radar, consolidation, sub-standard soil.*

*The paper presents the results of monitoring to identify the causes of destruction of roads in the wetlands south of the Tyumen region example Uvatsk district.*

M.Y. Sartasova  
MATHEMATICAL MODEL AND ALGORITHM FOR  
CALCULATING PULSED ELECTROMAGNETIC  
FIELD

*Keywords: mathematical and numerical modeling, nanosecond pulse.*

Приведено описание математической модели линейного излучателя, численного решения задачи моделирования электромагнитных волн, генерируемых наносекундным импульсом. Предложен алгоритм решения задачи расчета напряженностей поля излучения в точке наблюдения. Приводятся результаты вычислительного эксперимента, проведенного с помощью авторского программно-вычислительного комплекса.

Describes the mathematical model of a linear transducer, numerical solution of simulation of electromagnetic waves generated by a nanosecond pulse. An algorithm for solving the problem of calculating the radiation field at the observation point. The results of experiments conducted by computing system.

А.В. Соколов, С.Л. Денисов  
МНОГОКРИТЕРИАЛЬНАЯ ЗАДАЧА ВЫБОРА  
ПРОГРАММНО-ТЕХНИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА  
(ПТК) УПРАВЛЕНЧЕСКОГО ПЕРСОНАЛА С  
ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОЛОГИИ  
ЭКСПЕРТНЫХ СИСТЕМ (ЭС)

Ключевые слова: многокритериальная задача, экспертная система, программно-технический комплекс, лицо принимающее решение, вычислительная техника, программное обеспечение.

В статье доказывается потребность и возможность использования методологии экспертных систем в качестве решения многокритериальной задачи выбора ПТК управленческого персонала. Разработана модель интеллектуальной системы, в которой даже неквалифицированный пользователь сможет, основываясь на финансовые возможности, сделать рациональный выбор конфигурации ПТК.

A.V. Sokolov, S.L. Denisov  
MULTIOBJECTIVE PROBLEM OF THE  
EXECUTIVE STAFF SOFTWARE AND HARDWARE  
CHOICE VIA EXPERT CONSULTING PROGRAMS  
METHODOLOGY

Keywords: multiobjective problem, expert consulting system, software and hardware suite, decision-maker, computer engineering, software.

This article considers the exigency and the possibility of the expert systems methodology use a solution for the multiobjective software and hardware choice problem. There is the model of the worked-out intelligence system, which allows the unsophisticated user to make a rational choice by means of the asset management.

И.С. Стародубцев  
ЗАХВАТ ДВИЖЕНИЯ НА ОСНОВЕ  
ИЕРАРХИЧЕСКОГО ГИБКОГО СКЕЛЕТА

Ключевые слова: скелетизация, слежение, иерархическое представление.

В статье представлен метод захвата движения и слежения на основе использования гибкого скелета с иерархическим представлением. Описанный метод является частью комплексного жестового интерфейса.

I.S. Starodubtsev  
MOTION CAPTURE BASED ON FLEXIBLE  
SKELETON HIERARCHY

Key words: skeleton, skeletization, tracking, hierarchy

The paper presents a method of skeleton hierarchy based tracing for motion caption. The described method is part of a complex gesture interface.

А.А. Тестешев, В.Д. Тимоховец  
УПРАВЛЕНИЕ СКОРОСТНЫМИ РЕЖИМАМИ НА  
ДОРОГАХ В НЕБЛАГОПРИЯТНЫХ ПОГОДНЫХ  
УСЛОВИЯХ В ЗИМНИЙ ПЕРИОД

Ключевые слова: система управления скоростными режимами; мультимодальные системы.

В работе рассмотрен вопрос повышения безопасности дорожного движения в зимний период за счет применения системы управления скоростными режимами транспортных потоков.

A.A. Testeshev, V.D. Timohovetz  
CONTROL SPEED ON THE ROADS IN BAD  
WEATHER CONDITIONS IN WINTER PERIOD

Keywords: speed monitoring system; multimodal system.

In the work the issue of road safety improvement in the winter period due to the application of the control system of high-speed modes of transport flows.

И.С. Федоров, Г.П. Жигулин  
ХРАНЕНИЕ ИНФОРМАЦИИ В СИСТЕМЕ  
ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ КОМПЬЮТЕРНЫХ  
ПРЕСТУПЛЕНИЙ И ОБРАЗОВАНИЯ  
ДОКАЗАТЕЛЬНОЙ БАЗЫ ПРИ ИХ СОВЕРШЕНИИ  
НА ОСНОВЕ КОНТРОЛИРОВАНИЯ ЭКРАНА  
ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

Ключевые слова: экран пользователя, контролирование персонала, внутренние угрозы.

I.S. Fedorov, G.P. Jigulin  
DATA STORAGE IN SYSTEM OF COMPUTER  
CRIMES PREVENTION AND EVIDENCE  
FORMATION BASED ON USER'S SCREEN  
CONROLING

Keywords: user's screen, employees controlling, inside threat.

Данная статья рассматривает проблемы контролирования действий сотрудника за компьютером. Проводится обзор существующих методов хранения данных о действиях сотрудника за компьютером, выявляются их недостатки, и проводится обзор способа их решения.

Л.А. Феоктистова, И.П. Талипова, Т.В. Рзаева  
ИССЛЕДОВАНИЕ ТУРБУЛЕНТНОГО ТЕЧЕНИЯ В КРУГЛОЙ ТРУБЕ С НАЛОЖЕННЫМИ ПУЛЬСАЦИЯМИ РАСХОДА

Ключевые слова: турбулентное течение, пневмотрасса, пульсирующее давление.

В работе представлены методика и результаты исследования турбулентного течения в каналах теплоэнергетического оборудования с наложенными пульсациями расхода

Р.Р. Хамидова  
ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОБЛЕМЫ ОРГАНИЗАЦИИ И ПРОВЕДЕНИЯ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ

Ключевые слова: безопасность пищевых продуктов, эндогенные токсические соединения, высокочувствительные и экспрессные методы.

В работе представлены результаты теоретических исследований проблемы качества пищевых продуктов. Раскрыты основные причины возникновения проблем качества продуктов питания. Разработана концепция решения проблем организации и проведения оценки качества продуктов питания.

И.В. Храмов, В.Я. Модорский  
ФОРМИРОВАНИЕ ИНЖЕНЕРНОЙ МЕТОДИКИ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЕФОРМИРОВАНИЯ ГАЗОПРОВОДА С УЧЕТОМ ПОДКРЕПЛЯЮЩЕГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ГРУНТА

Ключевые слова: напряженно-деформированное состояние, газопровод, воздействие грунта, гипотеза Фусса – Винклера, коэффициент постели.

Рассматриваются существующие методики и предлагается доработанная методика оценки напряженно-деформированного состояния (НДС) в ANSYS Workbench подводящих и отводящих шлейфов газопроводов газоперекачивающих станций с учетом подкрепляющего воздействия грунта, которое описывается гипотезой Фусса – Винклера.

Д.Э. Цыганков, С.В. Рябов  
ФОРМАЛЬНОЕ ОПИСАНИЕ КЛАССА ТЕХНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ ФУНКЦИОНАЛЬНО АДАПТИРОВАННОЙ САПР «АНТЕННЫ РУПОРНЫЕ ВОЛНОВОДНЫЕ»

Ключевые слова: САПР, формальная модель, функционально адаптивное представление, устройства СВЧ.

В статье рассмотрен пример формальной модели класса технических объектов, разработанной для построения системы проектирования на основе

This paper views problem of employees actions controlling on computer. It reviews existing ways of storing data about employee's actions on computer, displays their shortcomings and analyzes ways to fix them.

L.A. Feoktistova, I.P. Talipova, T.V. Rzaeva  
STUDY OF TURBULENT FLOW IN A CIRCULAR TUBE WITH SUPERIMPOSED PULSATIONS FLOW

Keywords: turbulent flow, pnevmotrassa, pulsating pressure.

The paper presents the methodology and results of the study of turbulent flows in channels of thermal power equipment with superimposed flow pulsations.

R.R. Hamidova  
STUDY OF THE PROBLEM OF ORGANIZATION AND EVALUATION OF FOOD QUALITY

Keywords: food safety, endogenous toxic compounds, and highly sensitive Express methods.

The paper presents the results of theoretical study of the quality of food. Reveals the main cause of the problems of food quality. The concept of problem-solving organization and assess the quality of food.

I.V. Hramtsov, V.Ya. Modorsky  
FORMATION OF ENGINEERING METHODS NUMERICAL SIMULATION OF DEFORMATION PIPELINE WITH REGARD REINFORCES IMPACT OF SOIL

Keywords: stress-strain state, the gas pipeline, the impact of soil, hypothesis Fuss - Winkler, modulus of subgrade reaction.

Examines existing methods and shows the modified method of estimating the stress-strain state in the ANSYS Workbench inlet and outlet gas plumes gas pumping stations, taking into account the impact of reinforcing the soil, which is described hypothesis Fuss - Winkler.

D.E. Tsygankov, S.V. Ryabov  
FORMAL PRESENTATION OF FUNCTIONALLY ADAPTED CAD "WAVEGUIDE HORN ANTENNAS" CLASS OF TECHNICAL OBJECTS

Keywords: CAD systems, formal model, functionally adaptive representation, microwave devices.

This article describes an example of the class of technical objects formal model developed for CAD system based on functionally adapted representation technology. The functionally adapted representation concept will solve problems such as achieving

технологии функционально адаптивного представления. Развиваемая авторами концепция функционально адаптивного представления направлена на решение таких задач, как достижение интероперабельности, фиксация, сохранение и извлечение логики построения проектных решений.

А.С. Шайкин, Е.В. Шайкина

ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ  
ОТЛАДКИ КОМПОНЕНТОВ ИНФОРМАЦИОННО-  
ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ, СОДЕРЖАЩИХ  
ДАТЧИКИ ДВИЖЕНИЯ И ПОЛОЖЕНИЯ В  
ПРОСТРАНСТВЕ

*Ключевые слова:* микроэлектронные механические системы; гироскоп; акселерометр; защита от помех; автоматизация.

Статья посвящена применению в портативных устройствах МЭМС датчиков движения и положения в пространстве как с целью выполнения основных функций устройства, так и для повышения помехозащищенности информационно-измерительной системы.

П.П. Юрыгин, И.С. Гуданов, Г.М. Гончаров,  
А.А. Ломов, Ю.Б. Лаврентьев

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ  
СЛОИСТОГО ТЕЧЕНИЯ ВЯЗКОУПРУГИХ  
ЖИДКОСТЕЙ В ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ КАНАЛАХ  
ЭКСТРУЗИОННОЙ ГОЛОВКИ

*Ключевые слова:* соэкструзия, эксперимент, стратифицированное течение, вязкоупругая жидкость, кабельная изоляция, резиновая смесь.

В работе представлены данные по экспериментальному исследованию процесса соэкструзии двух резиновых смесей в каналах головки сконструированного экструзионного агрегата. Выполнено сравнение результатов натурного и теоретического исследований.

*interoperability, fixation, saving and extraction of project solution logic.*

A.S. Shaykin, E.V. Shaykina

HARDWARE AND SOFTWARE TOOLS FOR  
DEBUGGING MEASURING SYSTEMS, WHICH  
INCLUDES LOCATION AND POSITION SENSORS

*Keywords:* microelectromechanical systems (MEMS), gyroscope, accelerometer, noise protection, automatization.

*This paper is about using MEMS sensors of position and movements in portable devices. They are used not only for strict measure but also for noise suppression.*

P.P. Yurygin, I.S. Gudanov, G.M. Goncharov,  
A.A. Lomov, Y.B. Lavrentiev

EXPERIMENTAL STUDY OF LAYERED FLOW OF  
VISCOELASTIC FLUID IN CYLINDRICAL  
CHANNELS OF EXTRUSION DIE

*Keywords:* coextrusion, experiment, stratified flow, viscoelastic fluid, cable insulation, rubber compound.

*The paper presents data on the experimental investigation of the process of co-extrusion of two rubber compounds in channels of constructed extrusion head unit. Performed a comparison of the experimental and theoretical results.*

## **Публичный лицензионный договор-оферта о правах на статью**

Редакция журнала «Научно-технический вестник Поволжья» предлагает Вам присылать свои статьи для публикации на страницах журнала, а также на сайте Научной электронной библиотеки (НЭБ). Предоставление Автором своего произведения является полным и безоговорочным акцептом, т.е. данный договор считается заключенным с соблюдением письменной формы. Присылая для публикации произведение, Автор также предоставляет Редакции журнала права на использование произведения и гарантирует, что он обладает достаточным объемом прав на передаваемое произведение. Также Автор предоставляет редакции журнала право переуступить на договорных условиях частично или полностью полученные по настоящему Договору права третьим лицам без выплаты Автору вознаграждения. Все авторские права регулируются в соответствии с действующим законодательством России.

## **Договор публичной оферты по обработке персональных данных**

В процессе осуществления выпуска журнала "Научно-технический вестник Поволжья" ООО "Научно-технический вестник Поволжья" осуществляется обработка персональных данных, предоставленных авторами статей в рамках сообщения своих регистрационных данных для осуществления публикации в журнале (имя, фамилия, отчество, адрес автора, контактный телефон и e-mail приводятся в регистрационной форме, заполняемой авторами при отправке статьи в журнал). Обработка осуществляется редакцией журнала для целей надлежащей отправки журнала автору и возможности связи с автором лиц, заинтересованных в результатах труда автора статьи. Под обработкой персональных данных в контексте настоящего согласия понимаются действия редакции по сбору, систематизации, накоплению, хранению, использованию, распространению, уничтожению персональных данных, а также действия по их дальнейшей обработке с помощью автоматизированных систем управления базами данных, и иных программных средств, используемых редакцией журнала. Настоящее согласие автора на обработку персональных данных является бессрочным и может быть отозвано в любой момент путем отказа автора от получения журнала и дальнейшей обработки его персональных данных.

НАУЧНОЕ ИЗДАНИЕ

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ВЕСТНИК  
ПОВОЛЖЬЯ

№1 2014

Направления:

**ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ  
ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ  
ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ**

**[www.ntvp.ru](http://www.ntvp.ru)**

Свидетельство № ПИ № ФС77-41672 от 13 августа 2010г.

Подписано в печать 21.02.2014      Формат 60 x 84 1/8. Печать цифровая.

10,2 усл.печ.л. 11,8 уч.изд.л. Тираж 900 экз. Заказ 1321.

Учредитель: ООО "Научно-технический вестник Поволжья"

420043, Республика Татарстан, Казань,

ул. Лесгафта, д.6

Адрес редакции, издателя и типографии совпадают с адресом учредителя

Цена свободная.

© Научно-технический вестник Поволжья

тел.(843) 216-30-35

факс:(843) 238-32-08

Отпечатано с готового оригинал-макета

ООО «Научно-технический вестник Поволжья»