

**НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ
ВЕСТНИК
ПОВОЛЖЬЯ**

Сборник научных статей

№3 2011

Направления:

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

Казань

2011

УДК 60

ББК 30-1

Н-66

Н-66 Научно-технический вестник Поволжья. №3 2011г. – Казань: Научно-технический вестник Поволжья, 2011. – 202 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, 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

И.Н. Дияров – д.т.н., проф.; 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.; Р.Х. Шагимуллин – к.т.н., проф.

В сборнике научных трудов отражены материалы по теории и практике технических, физико-математических и химических наук.

Материалы сборника 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, 2011 г.

СОДЕРЖАНИЕ

<i>Ю. Г. Вавилов к.т.н., С. С. Ксембаев д.мед.н., В. К. Половняк д.х.н.</i> ЭКОЛОГИЧНЫЙ БИОСОРБЕНТ НА ОСНОВЕ ХЛОПКОВОЙ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ	7
--	---

СЕКЦИЯ ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

<i>А. С. Андреев д.ф.-м.н., Р. Ф. Гимазетдинов, С. В. Павликов д.ф.-м.н.</i> ПРЯМОЙ МЕТОД ЛЯПУНОВА В ЗАДАЧАХ УСТОЙЧИВОСТИ ФУНКЦИОНАЛЬНО-ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ С РАЗРЫВНОЙ ПРАВОЙ ЧАСТЬЮ	16
<i>М. Л. Андреев, Н. А. Заркевич Ph.D., А. Н. Исаков, О. И. Козырева, И. В. Плохов д.т.н.</i> РАЗБИЕНИЕ N-МЕРНОГО КУБА НА СИМПЛЕКСЫ С СОХРАНЕНИЕМ СИММЕТРИИ	21
<i>А. Н. Аношкин д.т.н., А. Г. Захаров, Е. Н. Шустова</i> ЯЧЕЙСТЫЕ НАПОЛНИТЕЛИ ЗВУКОПОГЛОЩАЮЩЕГО КОНТУРА АВИАЦИОННОГО ДВИГАТЕЛЯ	25
<i>К. В. Пахомов, О. А. Перегудова д.ф.-м.н., П. П. Силантьев</i> УПРАВЛЕНИЕ ДВИЖЕНИЕМ НЕГОЛОНОМНОГО МОБИЛЬНОГО РОБОТА НА ОСНОВЕ МЕТОДА БЭКСТЕППИНГА	30
<i>М. В. Рудаков</i> ИССЛЕДОВАНИЕ НДС И ОЦЕНКА ПРОЧНОСТИ ФЛАНЦА КОЖУХА АВИАЦИОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С РАЗЛИЧНЫМИ СХЕМАМИ АРМИРОВАНИЯ	34
<i>Н. В. Шалагинова</i> О ПОЛУКОЛЬЦАХ РОСТКОВ НЕПРЕРЫВНЫХ НЕОТРИЦАТЕЛЬНЫХ ФУНКЦИЙ	40

СЕКЦИЯ ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

<i>А. С. Алехин, С. Н. Алехин к.т.н., С. П. Петросов д.т.н., В. Г. Фетисов д.ф.-м.н., И. В. Фетисов</i> ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ АМПЛИТУД СЛУЧАЙНЫХ КОЛЕБАНИЙ ПОДВЕСНОЙ ЧАСТИСТИРАЛЬНЫХ МАШИН ПРИ ОТЖИМЕ	44
<i>С. В. Бабин к.т.н., В. В. Хренов</i> РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАЩИТНОГО ПОКРЫТИЯ ДЛЯ УГЛЕРОД-УГЛЕРОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ	49
<i>М. И. Барабанов, А. И. Кобрунов д.ф.-м.н., С. Г. Куделин, В. Е. Кулешов к.т.н., С. В. Шилова к.т.н.</i> ТЕХНОЛОГИЯ СОЗДАНИЯ ФИЗИКО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ СРЕД НА ОСНОВЕ ПОСТРОЕНИЯ ОПТИМАЛЬНЫХ РЕШЕНИЙ ОБРАТНЫХ ЗАДАЧ	54
<i>В. П. Бахарев к.т.н., Е. Е. Кнутава, П. Г. Шаповалов</i> ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ТЕХНИЧЕСКОЙ КЕРАМИКИ ПУТЕМ ПРИМЕНЕНИЯ ДОВОДКИ ПОВЕРХНОСТИ СВОБОДНЫМ АБРАЗИВОМ	63
<i>А. Г. Бейгель, А. Г. Горюнов к.т.н.</i> ДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО СИНТЕЗА ТРИФТОРМЕТАНСУЛЬФОФТОРИДА	68
<i>В. Ф. Беккер к.т.н., И. Ф. Киссельман</i> ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА АБСОРБЦИОННОЙ КОЛОННЫ С ВРАЩАЮЩЕЙСЯ ПОДВИЖНОЙ НАСАДКОЙ	73
<i>И. В. Березин, П. Д. Кравченко д.т.н., Д. Н. Федоренко, И. И. Яблоновский</i> ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ ЭВРИСТИЧЕСКИХ ПРИЁМОВ ПРИ СОЗДАНИИ АВТОМАТИЧЕСКИХ ГРУЗОЗАХВАТНЫХ УСТРОЙСТВ	78
<i>М. Б. Будько к.т.н., А. С. Соколов</i> МАЛОИЗВЕСТНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ БАЗОВЫХ СРЕДСТВ МОНИТОРИНГА ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ	87
<i>А. П. Буйносов к.т.н., И. М. Пышный</i> РАЗРАБОТАН БОРТОВОЙ ЛОКОМОТИВНЫЙ ГРЕБНЕСМАЗЫВАТЕЛЬ «ТВЕРДОГО» ТИПА	92

<i>Т. В. Бурнышева к.т.н.</i> МЕТОДИКА ПРОЕКТИРОВОЧНОГО РАСЧЕТА СЕТЧАТЫХ ОБОЛОЧЕЧНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ СТАТИЧЕСКОМ НАГРУЖЕНИИ	97
<i>Н. В. Бутырлагин, Н. В. Ковбасюк к.т.н., Н. Н. Прокопенко д.т.н.</i> МЕТОД ПОВЫШЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ПРЕОБРАЗОВАНИЯ СМЕСИТЕЛЕЙ ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ СИГНАЛОВ ДЖИЛЬБЕРТА С ВЫХОДНЫМ КАСКОДОМ	101
<i>В. И. Воловач к.т.н., А. С. Мамедов</i> ПРИМЕНЕНИЕ ЛОГИКО-ВЕРОЯТНОСТНОГО ПОДХОДА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ДОСТОВЕРНОСТИ КРИТЕРИАЛЬНЫХ ОЦЕНОК СИСТЕМ ОБНАРУЖЕНИЯ БЛИЖНЕГО ДЕЙСТВИЯ	107
<i>В. И. Дождиков д.т.н., Д. С. Мордовкин, И. Н. Чмырёв к.т.н.</i> ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ НАГРЕВА СЛЯБОВ ПЕРЕД ГОРЯЧЕЙ ПРОКАТКОЙ	113
<i>А. С. Згурский, Е. В. Корбаинова</i> ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТЕПЕНИ ПОТРЕБНОСТИ ИНФОРМАЦИОННЫХ АКТИВОВ ЦЕНТРА ОБРАБОТКИ ДАННЫХ КРЕДИТНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ В СВОЙСТВАХ БЕЗОПАСНОСТИ	119
<i>Б. Н. Казаков к.ф.-м.н., А. В. Михеев к.ф.-м.н.</i> ВЕРОЯТНОСТНАЯ МОДЕЛЬ РЕГИСТРАЦИИ СВЕТОВОГО ПОТОКА В РЕЖИМЕ СЧЕТА ФОТОНОВ	123
<i>М. А. Карягин, А. С. Лелюхин к.т.н., Д. А. Муслимов</i> СРАВНЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЯ ПРАКТИЧЕСКОГО ПИКОВОГО НАПРЯЖЕНИЯ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ УСЛОВИЯХ ГЕНЕРАЦИИ РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ	128
<i>А. И. Каяшев д.т.н., Е. А. Муравьева к.т.н., Л. Ю. Полякова к.т.н., Т. В. Сазонова</i> КОМПЕНСАЦИЯ ВЗАИМНОГО ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ И ДАВЛЕНИЯ В АВТОКЛАВЕ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ГАЗОЗОЛОСИЛИКАТНЫХ ШЛАКОБЛОКОВ	132
<i>Н. В. Ковбасюк к.т.н., Н. Н. Прокопенко д.т.н.</i> МЕТОД ВЗАИМНОЙ КОМПЕНСАЦИИ ВХОДНЫХ ИМПЕДАНСОВ В КАСКОДНЫХ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УСИЛИТЕЛЯХ	137
<i>Г. Б. Коптяева, О. М. Тимохова, Н. Р. Шоль к.т.н.</i> ПОВЫШЕНИЕ КОРРОЗИОННОЙ СТОЙКОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ И ДЕТАЛЕЙ МАШИН	141
<i>В. А. Лысов, О. В. Шевченко, А. В. Щеголев</i> АППРОКСИМАЦИЯ ПЛОСКИХ КРИВОЛИНЕЙНЫХ КОНТУРОВ ГЛАДКИМИ КРИВЫМИ НА ДИСКРЕТНОМ МНОЖЕСТВЕ ОПОРНЫХ ТОЧЕК	145
<i>Г. В. Маврин к.х.н., И. Ф. Сулейманов, Д. А. Харлямов</i> ЗАБОЛЕВАЕМОСТЬ ЖИТЕЛЕЙ ГОРОДА – КАРТЫ РАССЕЙВАНИЯ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ – КВОТЫ НА ВЫБРОСЫ	150
<i>И. В. Петухов к.т.н.</i> МОДЕЛЬ И СИСТЕМА ОЦЕНКИ УСПЕШНОСТИ ОПЕРАТОРСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В ЧЕЛОВЕКО-МАШИННЫХ СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ	155
<i>Д. С. Репецкий к.т.н., Б. С. Юшков к.т.н.</i> РАСЧЕТ ПОДЪЕМА ОДИНОЧНОЙ ДВУКОНУСНОЙ СВАИВ СЕЗОННО ПРОМЕРЗАЮЩИХ ПУЧИНИСТЫХ ГРУНТАХ	162
<i>В. П. Славненко, М. И. Филатов</i> ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ИЗГОТОВЛЕНИЯ И СБОРКИ ЗВЕНЬЕВ РАЗМЕРНОЙ ЦЕПИ КШМ ДВИГАТЕЛЯ КАМАЗ	166
<i>Э. Л. Хазиев</i> МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПНЕВМАТИЧЕСКОГО МАНИПУЛЯТОРА ПРОМЫШЛЕННОГО РОБОТА	173
<i>П. В. Хапов</i> УСТАНОВКА ГОРЯЧЕГО ПРЕССОВАНИЯ ПОРОШКОВ НА ОСНОВЕ ЖЕЛЕЗА В ТЕМПЕРАТУРНОМ ИНТЕРВАЛЕ α -ФАЗЫ	178
<i>И. Е. Шустов</i> ОЦЕНКА ДИНАМИЧЕСКОЙ ТОЧНОСТИ ПРЕЦИЗИОННОГО ГИРОСКОПИЧЕСКОГО ИЗМЕРИТЕЛЯ ВЕКТОРА УГЛОВОЙ СКОРОСТИ	182
АННОТАЦИИ	187

THE RELEASE MAINTENANCE

Yu. G. Vavilov, S. S. Ksembaev, V. K. Polovnyak GREEN BIOSORBENT BASED ON COTTON CELLULOSE

7

PHYSICAL AND MATHEMATICAL SCIENCES

<i>A. S. Andreev, R. F. Gimazetdinov, S. V. Pavlikov</i> LYAPUNOV DIRECT METHOD IN THE STABILITY PROBLEMS FOR FUNCTIONAL-DIFFERENTIAL EQUATIONS WITH DISCONTINUOUS RIGHT SIDE	16
<i>M. L. Andreev, N. A. Zarkevich, A. N. Isakov, O. I. Kozyreva, I. V. Plokhov</i> SYMMETRY-CONSERVING TRIANGULATION OF AN N-DIMENSIONAL CUBE	21
<i>A. N. Anoshkin, A. G. Zakharov, E. N. Shustova</i> CELLULAR FILLERS OF SOUND-ABSORBING PANEL OF CASING PART FOR AIRCRAFT ENGINE	25
<i>O. A. Peregodova, K. V. Pahomov, P. P. Silantiev</i> MOTION CONTROL FOR MOBILE ROBOT ON THE BASE OF BACKSTEPPING METHOD	30
<i>M. V. Rudakov</i> STRESS-STRAIN ANALYSIS OF COMPOSITE FLANGE OF TYPICAL CASING PART FOR AIRCRAFT ENGINE WITH VARIOUS REINFORCEMENT SCHEMES	34
<i>N. V. Shalaginova</i> ABOUT STRUCTURAL SHEAVES FOR SEMIRINGS OF CONTINUOUS FUNCTIONS	40

ENGINEERING SCIENCE

<i>A. S. Alekhin, S. N. Alekhin, S. P. Petrosov, I. V. Fetisov, V. G. Fetisov</i> THEORETICAL CALCULATION OF THE AMPLITUDES OF RANDOM FLUCTUATION OF THE SUSPENSION OF WASHING MASHINES DURING THE SPIN CYCLE	44
<i>S. V. Babin, V. V. Khrenov</i> WORKING OUT AND RESEARCH OF THE SHEETING FOR CARBON-CARBON COMPOSITE MATERIAL	49
<i>M. I. Barabanov, A. I. Kobrunov, S. G. Kudelin, V. E. Kuleshov, S. V. Shilova</i> TECHNOLOGY FOR PHYSICAL-GEOLOGICAL ENVIRONMENT MODELS CREATING BASED ON CONSTRUCTING OPTIMAL SOLUTIONS FOR INVERSE PROBLEMS	54
<i>V. P. Bakharev, E. E. Knutova, P. G. Shapovalov</i> THE INCREASE OF RELIABILITY OF PRODUCTS FROM TECHNICAL CERAMICS BY USING OF OPERATIONAL DEVELOPMENT OF SURFACE BY THE FREE ABRASIVE	63
<i>A. G. Beigel, A. G. Gorunov</i> DYNAMIC MODEL OF PROCESS OF ELECTROCHEMICAL SYNTHESIS OF TRIFLUOROMETHANESULFONYL FLUORIDE	68
<i>V. F. Becker, I. F. Kisselman</i> SELECTION OF TECHNOLOGICAL PARAMETERS MODE ABSORPTION COLUMNS WITH A ROTATING NOZZLE MOBILE	73
<i>I. V. Berezin, P. D. Kravchenko, D. N. Fedorenko, I. I. Yablonovsky</i> PRACTICAL METHOD OF USING HEURISTIC PROCEDURE DURING PROCESS OF CREATION OF AUTOMATIC GRIPPER DEVICES	78
<i>M. B. Budko, A. S. Sokolov</i> LITTLE-KNOWN POSSIBILITIES OF BASE PROGRAMS OF MONITORING OF COMPUTER NETWORKS	87
<i>A. P. Buinosov, I. M. Pishniy</i> DEVELOPED SOLID TYPE GREBNESMAZYVATEL	92
<i>T. V. Burnysheva</i> METHOD TO THE DESIGN CALCULATION OF RIBBED SHELLS MADE OF COMPOSIT MATERIALS UNDER STATIC LOAD	97
<i>N. V. Butyrlagin, N. V. Kovbasyuk, N. N. Prokopenko</i> METHOD OF INCREASING THE CONVERSION EFFICIENCY OF HIGH-FREQUENCY SIGNALS GILBERT MIXER WITH THE OUTPUT CASCODE	101

V. I. Volovich, A. S. Mamedov	USE OF THE LOGIC-PROBABILISTIC APPROACH TO INCREASE THE RELIABILITY OF CRITERION ESTIMATES OF THE SHORT-RANGE DETECTION SYSTEMS	107
V. I. Dozhnikov, D. S. Mordovkin, I. N. Chmirev	OPTIMIZATION OF HEATING MODE OF SLABS BEFORE HOTROLLING	113
A. S. Zgurskiy, E. V. Korbainova	EVALUATION OF INFORMATION ASSETS REQUIREMENTS DEGREE IN THE SECURITY PROPERTIES FOR DATA CENTRE IN A CREDIT INSTITUTION TO PREVENT RISK INFORMATION THREATS	119
B. N. Kazakov, A. V. Mikheev	PROBABILISTIC MODEL OF THE LIGHT REGISTRATION UNDER THE PHOTON COUNTING MODE	123
M. A. Karyagin, A. S. Lelyukhin, D. A. Muslimov	COMPARISON OF RESULTS OF PRACTICAL PEAK VOLTAGE MEASUREMENT UNDER VARIOUS CONDITIONS OF X-RAYS GENERATION	128
A. I. Kajashv, E. A. Muraveva, L. J. Poljakova, T. V. Sazonova	INDEMNIFICATION OF MUTUAL INFLUENCE OF TEMPERATURE AND PRESSURE IN THE AUTOCLAVE FOR MANUFACTURE PRODUCTS' BLOCKS FROM ASHES'SLAG	132
N. V. Kovbasyuk, N. N. Prokopenko	THE METHOD OF THE MUTUAL COMPENSATION OF THE INPUT IMPEDENCE OF CASCODE DIFFERENTIAL AMPLIFIERS	137
G. B. Koptyaeva, O. M. Timokhova, N. R. Shol	INCREASE OF CORROSION FIRMNESS OF THE PROCESS EQUIPMENT AND DETAILS OF CARS	141
V. A. Lysov, O. V. Shevchenko, A. V. Schegolev	THE APPROXIMATION OF THE TWO-DIMENSIONAL CURVILINEAR CUTOUTS BY SMOOTH CURVES ON THE DISCREET SET OF THE MONUMENT POINTS	145
G. V. Mavrin, I. F. Suleimanov, D. A. Kharlyamov	THE INCIDENCE OF RESIDENTS – MAPS OF POLLUTANT DISPERSION – EMISSION QUOTAS	150
I. V. Petukhov	MODELS AND SYSTEMS TO EVALUATE THE SUCCESS OF OPERATOR ACTIVITY IN HUMAN-MACHINE SYSTEM	155
D. S. Repetskii, B. S. Yushkov	COMPUTATION OF A SINGLE TWOCONIC PILE IN THE SEASONALLY FREEZING FROST HEAVING SOILS	162
V. P. Slavnenko, M. I. Filatov	ESTIMATION OF QUALITY OF TECHNOLOGICAL PROCESSES MANUFACTURING AND ASSEMBLAGE OF LINKS OF DIMENSIONAL CHAIN KIIM OF ENGINE KAMAZ	166
E. L. Khaziev	MATHEMATICAL MODELLING OF THE CONTROL SYSTEM OF THE PNEUMATIC MANIPULATOR OF THE INDUSTRIAL ROBOT	173
P. V. Khapov	THE DEVICE OF HOT PRESSING OF POWDERS ON THE IRON BASIS IN THE TEMPERATURE INTERVAL α - PHASES	178
I. E. Shustov	PRECISION GYROSCOPIC ANGULAR VELOCITY MEASURER ESTIMATION OF DYNAMIC PRECISION	182
	ABSTRACTS	187

Ю. Г. Вавилов к.т.н., С. С. Ксембаев д.мед.н., В. К. Половняк д.х.н.

Казанский государственный технологический университет
Россия, Казань
vkpol@mail.ru

ЭКОЛОГИЧНЫЙ БИОСОРБЕНТ НА ОСНОВЕ ХЛОПКОВОЙ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ

С использованием специальной механохимической обработки волокон хлопка получен совместимый с тканями организма человека биосорбент, обладающий высокой бактерицидной активностью и позволяющий повысить качество жизни людей, страдающих от опрелостей, пролежней, стоматологических проблем и др.

Ключевые слова: целлюлоза, биосорбент, бактерицидная активность.

Специальным разделом экологической науки является раздел экологии человека, которая изучает взаимодействие организма человека со средой обитания. К сожалению, среда обитания в последние десятилетия изменяется не лучшим образом. От контакта с окружающей средой развиваются различные заболевания от аллергии до онкологии. Качество жизни сильно ухудшается даже при появлении потертостей, опрелостей у людей физического труда, тем более пролежней у лежачих больных. Большой проблемой обработки и защиты раневых поверхностей являются также даже несложные операции в стоматологии.

Увеличение числа аварий на транспорте приводит к тяжелым последствиям, так как водители и пассажиры получают тяжелые травмы с рваными ранами. Использование в этом случае ваты и бинтов усложняет процесс дальнейшего лечения пострадавших.

Выходом из положения может быть использование разработанного нами сорбента на основе хлопковой целлюлозы.

Свойства целлюлозы. Хлопковые волокна имеют толщину 1,5-2 мкм - (в десять раз тоньше человеческого волоса) при длине 20-50 мм и состоят практически на 100% из макромолекул природного полимера – целлюлозы.

Целлюлоза [1,2] или клетчатка относится к широко распространенным полисахаридам (целлюлоза, гликоген, крахмал). В растениях целлюлоза составляет 50-95% от общей массы органики. Особенно богаты целлюлозой хлопок, лен, конопля (до 95% от общей массы органики). Строение глюкозы и крахмала сходно, но в отличие от крахмала, состоящего из остатков α -глюкозы, целлюлоза состоит из остатков β -глюкозы (рис.1):

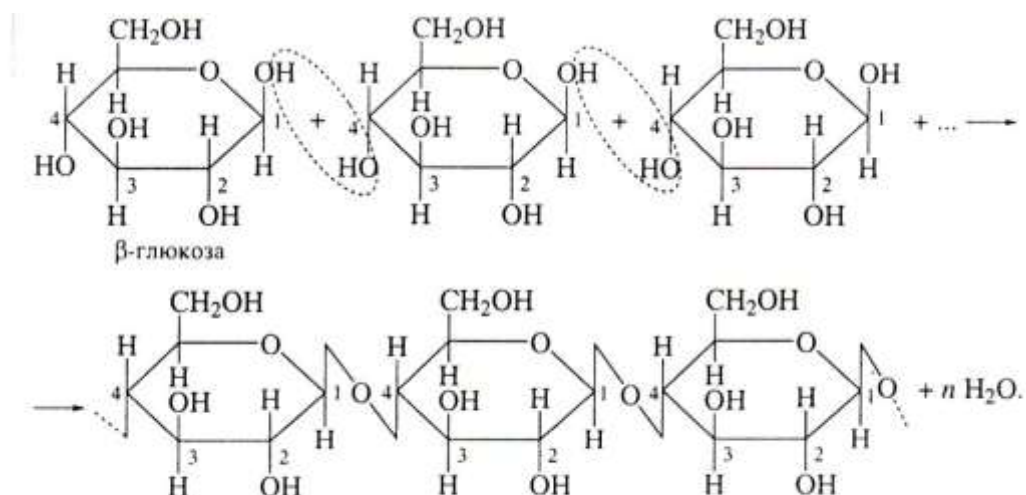


Рис.1. Структура целлюлозы.

Тот факт, что крахмал и целлюлоза состоят из различных циклических форм глюкозы, объясняет различные свойства этих двух полисахаридов. Крахмал легко гидролизруется в организме человека под действием ферментов и является одним из важнейших продуктов питания. Целлюлоза не гидролизруется ферментами. Это объясняется тем, что ферменты расщепляют связи между остатками α -глюкозы, но не действуют на связи между остатками β -глюкозы, из которых и состоит целлюлоза. Именно по этой причине целлюлоза как пищевой продукт человеком не может быть использована. Напротив животные, особенно жвачные, успешно усваивают клетчатку, поскольку в их организме содержатся необходимые для ее гидролиза ферменты.

Целлюлоза находится в растениях в большинстве случаев в виде волокон. Она тесно переплетена с различными инкрустирующими веществами (лигнин, жиры, смолы, минеральные вещества). Наиболее чистая целлюлоза находится в растительных текстильных волокнах (хлопчатник, лен). Целлюлоза, извлекаемая из этого сырья, содержит до 99% чистой целлюлозы и не более 0,25% зольных веществ.

Целлюлоза состоит из нитевидных макромолекул, в которых остатки D-глюкопиранозы связаны с β -глюкозидными связями в положениях 1,4 через атомы кислорода и повернуты по отношению друг к другу на 180° :

Если учитывать конформацию циклов D-глюкопиранозы, то получится следующая формула, отвечающая макромолекуле целлюлозы (рис.2):

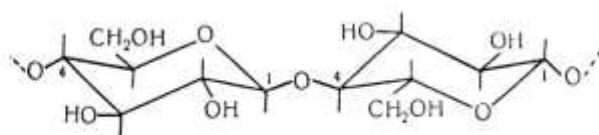


Рис.2. Основные звенья макромолекулы целлюлозы.

По рентгеноструктурным данным элементарная ячейка целлюлозы включает в себя атомы пяти макромолекул (рис.3). В отличие от кристаллов обычных низкомолекулярных соединений, содержащих одну или несколько молекул в элементарной ячейке, макромолекула целлюлозы содержится не в одной элементарной ячейке, а проходит через несколько ячеек. К сожалению, рентгеноструктурным методом невозможно определить длину макромолекул целлюлозы, молекулярная масса которых достигает 700.000. Длины

этих макромолекул не равны между собой и макромолекулы расположены в волокне таким образом, что их концы не лежат в одной плоскости.

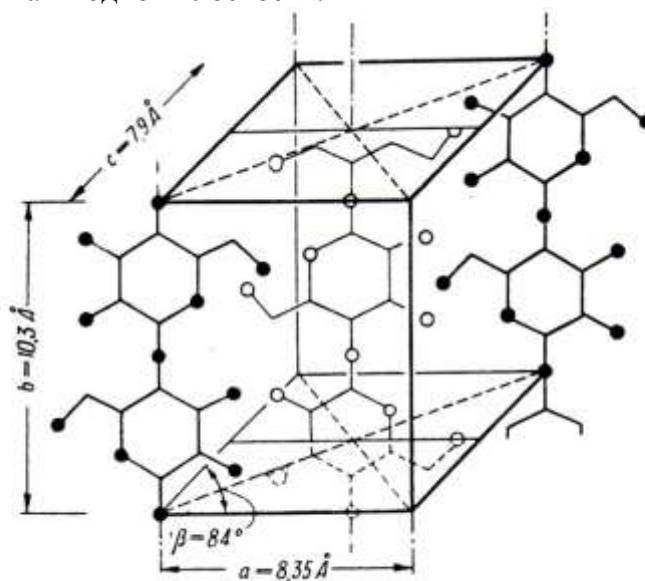


Рис.3. Элементарная ячейка макромолекулы целлюлозы по данным РСА.

В результате исследования рентгенограмм было установлено, что макромолекулы целлюлозы, состоящие из остатков глюкозы, расположены параллельно не на всем протяжении волокон, а только в определенных областях, называемых кристаллитами. В других областях молекулы расположены неправильно, аморфно, таким образом, что между ними остается свободное пространство (рис.4):

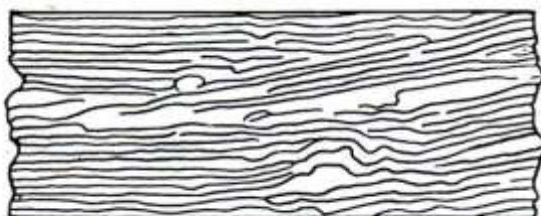


Рис.4. Кристаллические и аморфные участки макромолекулы целлюлозы.

Чем лучше взаимная ориентация макромолекул, тем большую часть волокна составляют параллельные области – кристаллиты и тем выше механическая прочность волокна. Несколько кристаллитов или мицелл, образуют фибриллу, которая является составной частью волокна, различимой в электронный микроскоп. (рис 5).

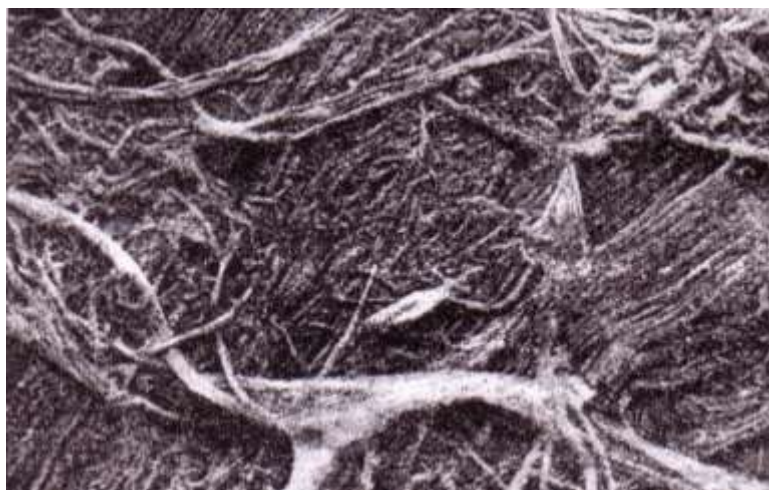


Рис.5. Электронная микрофотография хлопкового волокна.
(увеличение 24000^x)

Таким образом, под термином целлюлоза подразумевается не индивидуальное соединение, как в случае обычных чистых веществ, а категория веществ с молекулами, построенными по одинаковому принципу, но сильно отличающиеся, по величине.

Механохимическое активирование хлопковой целлюлозы. Как указывалось выше, макромолекула целлюлозы может содержать 2-3 тысячи звеньев, достигая молекулярной массы до 700.000, при этом длина макромолекулы составляет 1,5 мкм, при толщине всего 0,5 нм. Поэтому увидеть макромолекулу целлюлозы даже с помощью электронного микроскопа не удастся. Существование большого числа разновидностей целлюлоз, отличающихся степенью полимеризации, объясняется сравнительной легкостью разрыва макромолекул ее на более мелкие фрагменты. В результате такого разрыва макромолекул, на их концевых участках могут образовываться свободно-радикальные фрагменты R^* :



Наличие таких свободных радикалов увеличивает химическую активность концевых групп макромолекул. При этом, не исключена рекомбинация этих групп с образованием пероксидных звеньев или даже свободного пероксида водорода (H_2O_2). Пероксид водорода известен своими бактерицидными свойствами.

Подобный разрыв связей в макромолекулах целлюлозы можно осуществить, например, с помощью ультразвука или в коллоидных мельницах. При этом хлопковое волокно может быть измельчено до размера частиц порядка 0,1 мкм и менее, что соответствует разрыву макромолекулы на несколько десятков фрагментов (рис.6).

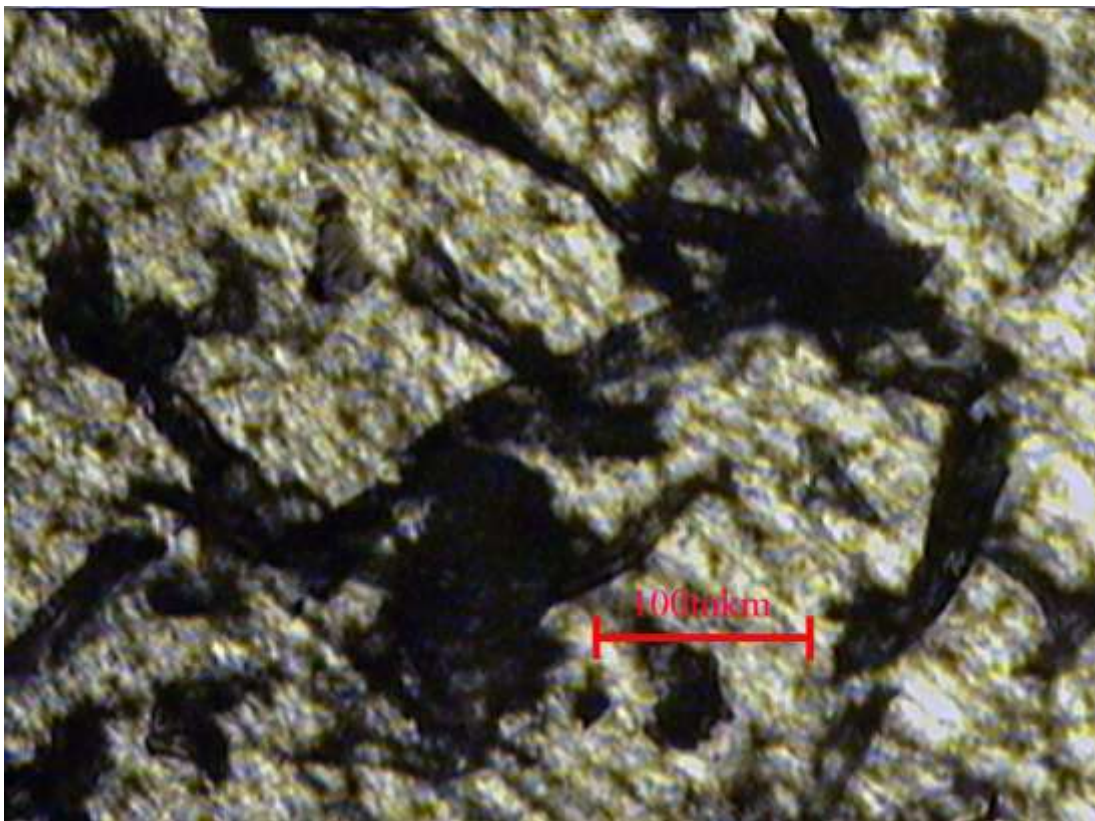


Рис.6. Волокна хлопковой целлюлозы после механохимического активирования.

Если же подвергнуть хлопковое волокно компрессионно-сдвиговому воздействию, то помимо фрагментирования макромолекул будут происходить изменения в структуре самого волокна. Фибриллы, образующие кристаллиты, расщепляются и формируют более мелкокристаллическую структуру, а аморфные участки волокна, за счет сдвигового воздействия будут образовывать новые фибриллы, преобразующиеся в микрокристаллиты. В целом кристалличность целлюлозы должна возрастать. При этом могут образовываться и новые зоны аморфных структур, отличающихся от первоначальных до механохимической обработки волокна.

Экспериментально мы исследовали изменение структуры волокон хлопковой целлюлозы, подвергнутых механохимическому воздействию компрессионно-сдвигового типа. Структурные изменения отслеживали с помощью рентгенофазового анализа. Этот метод позволяет установить соотношение кристаллитной и аморфной частей в структуре целлюлозы. Сопоставительные данные рентгенофазового анализа для исходного хлопкового волокна (длина волокон 50-60 мм) и волокон, подвергнутых измельчению в условиях компрессионно-сдвигового воздействия до размера частиц 20-50 мкм, представлены на рис.7.

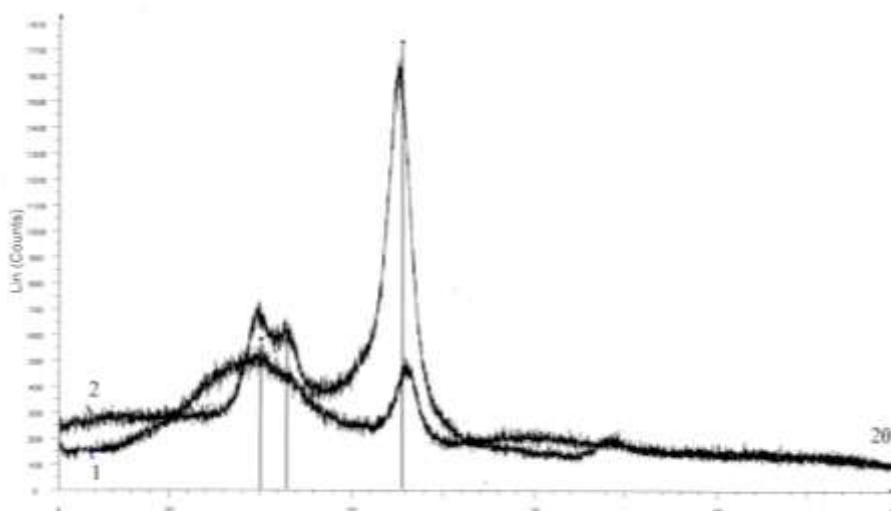


Рис.7. Данные рентгенофазового анализа: 1 – хлопковая вата, 2 – хлопковый порошок (биосорбент).

Из рис.7 видно, что хлопковое волокно, подвергнутое компрессионно-сдвиговому воздействию, существенно изменяет свою структуру. Пик кристаллитной фазы (при $2\theta=22,8^\circ$) увеличился после механохимического активирования целлюлозы почти на порядок, а пик соответствующий аморфной фазе (при $2\theta = 15^\circ$) расщепился с возникновением дополнительного пика (при $2\theta = 16,5^\circ$), что соответствует образованию новой аморфной фазы. Образование новой аморфной фазы связано с тем, что в результате компрессионно-сдвигового воздействия разрушаются именно аморфные участки как наиболее слабое звено в структуре целлюлозы. Появление второго пика для аморфной фазы обусловлено наличием разрушенных участков этой фазы.

Общее соотношение интенсивностей пиков кристаллитной и аморфной фаз для исходного хлопкового волокна составляет как 1:1, в то время как для механохимически активированного волокна составляет как 5:1.

Увеличение доли кристаллитной фазы с учетом фрагментирования макромолекул целлюлозы существенно увеличивает свободную поверхность фибрилл и разрыхляет их структуру. Результатом такого воздействия безусловно должно быть увеличение сорбционной емкости хлопкового волокна по отношению к воде и другим жидким субстратам.

Увеличение же поверхности и фрагментирование макромолекул должно существенно увеличить способность хлопковой целлюлозы к набуханию (т.е. дополнительному поглощению влаги) и растворению в биологических жидкостях под воздействием естественной микрофлоры.

Структура измельченных волокон хлопковой целлюлозы существенно отличается от структуры волокон хлопковой ваты. В частности, образующийся активированный порошок с размером частиц 20-50 мкм, представляет собой полупрозрачные иглы с очень острыми косо срезанными краями. Такие иглы (рис.6) должны иметь хорошее сцепление с мембранными поверхностями клеток как микроорганизмов, так и тканей человека, легко удерживать не только воду, но и элементы крови и лимфы. Это является новым свойством по сравнению не только с хлопковой ватой, но и любыми другими медицинскими сорбентами, которые обычно имеют структуру сферолитов.

Новый материал – биосорбент с коммерческим названием «целоформ» был тестирован нами на сорбционные свойства по отношению к воде и биологическим жидкостям (кровь).

Среди многочисленных средств, применяемых при местном лечении ран, широко используется группа медицинских сорбентов. Разработка методов местного лечения ран с их использованием привела к развитию целого направления, получившего название сорбционно-апликационной терапии. Активные медицинские сорбенты должны обладать необходимым уровнем сорбционной способности, препятствовать всасыванию в ткани отделяемого раны, обеспечивать его отток, удалять микробные тела и продукты их жизнедеятельности, обеспечивать выраженное противовоспалительное, некролитическое, обезболивающее, противоотечное действие, создавать условия для оптимальной репарации.

Анализируя результаты лабораторного изучения медицинских сорбентов, следует отметить, что активный механизм сорбции и, соответственно, возможный активный процесс очищения ран за счет создания оттока микробной флоры и раневого отделяемого со дна раны обеспечивают водонабухающие сорбенты. Из медицинских сорбентов наше внимание привлекли целлосорб и гелецел – водонабухающие сорбенты на основе карбоксиметилцеллюлозы. Выбор их предопределило то, что они имеют сродство с перевязочными материалами (и те и другие готовятся из хлопковой целлюлозы) и достаточно недороги. Однако, они имеют значительный недостаток – наличие в своем составе большого количества карбоксильных групп, которые, связывая белковые компоненты биологических жидкостей, образуют на поверхности частиц сорбента своего рода защитный барьер, препятствующий диффузии жидкости, что значительно снижает дренирующий эффект.

Высокоразвитая внутренняя поверхность хлопкового волокна дает возможность поглощать значительное количество воды. При этом волокна набухают, объем их увеличивается. Набухание анизотропно, т. е. неодинаково в направлении длины и поперечника волокна. Молекулы воды адсорбируются на гидроксильных группах макромолекул, что сопровождается разрывом водородных связей и изменением механических свойств целлюлозных волокон. Вода поглощается макромолекулами, расположенными в аморфных участках волокон и гидроксильными группами, находящимися на поверхности кристаллических участков. Влажность хлопкового волокна зависит от изменения относительной влажности и температуры окружающей среды, с которой волокно соприкасается. С уменьшением влажности хлопковое волокно подсыхает и, наоборот, с увеличением ее – увлажняется. Химически очищенное хлопковое волокно поглощает меньше влаги, чем неочищенное. Поглощение влаги волокном во времени протекает неравномерно. Сухое волокно сначала очень быстро поглощает влагу, затем этот процесс замедляется.

Разработанный нами сорбент «Целоформ» из целлюлозы хлопковой - вещество белого цвета, порошкообразной мягкой консистенции, гигроскопичное, с размером волокон 20-50 мкм.

Основные данные сравнительного изучения целоформа представлены в табл.1.

Таблица 1.

Некоторые характеристики сорбентов

Основные параметры	Наименование сорбентов		
	Гелецел	Целлосорб	Целоформ
Сорбционная способность по воде (макс.), г/г	120±3	40±2	14,8±0,2
Сорбционная способность по крови (макс.) г/г	30±4	15±0,5	25,5±0,3
Скорость смачивания:			
по воде	10 сек	3 часа	10 сек
по крови	3 часа	24 часа	3 сек

Целоформ выгодно отличается от других сорбентов хорошей сорбционной ёмкостью к биологическим жидкостям (кровь) и биологической инертностью по отношению к тканям организма.

Биологическая активность целоформа [10-14] Как отмечалось выше, разрыв волокон хлопковой целлюлозы в условиях компрессионно-сдвигового воздействия приводит к образованию свободно-радикальных фрагментов с концевыми атомами кислорода или углерода ($-O^*$ и $-C^*$). Эти концевые атомы связаны с фрагментом β -глюкозы и остальной частью макромолекулы целлюлозы.

При взаимодействии с бактериальными клетками эти свободно-радикальные фрагменты могут встраиваться в мембрану клетки с образованием ковалентных связей. В результате бактериальная клетка, связанная с макромолекулой фактически обездвиживается и теряет способность к перемещению и контакту с тканями организма человека. В результате такого обездвиживания и нарушения обменных процессов через мембрану бактериальной клетки она погибает, т.е. реально наблюдается бактерицидное действие механохимически активированной целлюлозы.

Параллельно может протекать процесс столкновения движущейся бактериальной клетки, которая не вступила во взаимодействие со свободно-радикальными фрагментами, с иглообразными фрагментами целлюлозы. Это неизбежно будет приводить к разрыву мембран бактериальных клеток и также приведет к их гибели.

В целом бактерицидность механохимически активированной целлюлозы будет зависеть от этих двух факторов и теоретически малопредсказуема.

При нанесении целоформа на инфицированную раневую поверхность может происходить и частичное рассасывание порошка целлюлозы. Ранее указывалось, что макромолекулы целлюлозы, содержащие фрагменты β -глюкозы не поддаются воздействию пищеварительных ферментов человека, но тем не менее легко усваиваются в пищеварительном тракте жвачных животных. Сам процесс пережевывания целлюлозных волокон и есть механохимическое их активирование с одной стороны, но с другой стороны бактериальная микрофлора пищеварительной системы жвачных животных обеспечивает расщепление макромолекул целлюлозы с образованием глюкозы. Эти бактерии чрезвычайно распространены в природе и реально приводят к нагноению ран, однако в природе, посредством своих ферментов они осуществляют окисление больших количеств целлюлозы мертвых растений и возвращают в атмосферу углекислый газ, необходимый для фотосинтеза. Роль этих гнилостных бактерий очень велика, так как при их отсутствия в природе за очень короткое время накопились бы несоизмеримые количества целлюлозы и исчез бы весь запас углекислого газа в атмосфере.

Фермент, вырабатываемый гнилостными бактериями – целлюлаза гидролизует целлюлозу в целлобиозу, которая далее легко гидролизуется до глюкозы. По-видимому, в условиях инфицированных ран именно этот процесс может приводить к рассасыванию порошковой механохимически активированной целлюлозы. Образующаяся целлобиоза также содержит свободный радикал и усиливает бактерицидные свойства целоформа.

Совокупность указанных факторов и приводит к тому, что целоформ обладает выраженной бактерицидностью, а в условиях инфицированных ран способен рассасываться, что расширяет диапазон его хирургического применения.

Список литературы:

1. В.Ф.Травень. Органическая химия. Т.2. М.: Академкнига, 2004.
2. С.D. Ntnitescu. Chimie Organica. Bucuresti: Editura Tehnica, 1963.
3. Н.С.Ениколопов. Твердофазные химические реакции и новые технологии //Успехи химии. 1991. Т.60, №3. С.586-594.
4. И.А.Массалимов. Образование неравновесных состояний вещества при ударных воздействиях // Башкирский химический журнал. 1998.-Т.5,1.-С.55-58.
5. К.Мейер. Физико-химическая кристаллография. М.: Металлургия, 1972.
6. М.М.Дубинин. Адсорбция и пористость. М.: Наука, 1976.
7. Я.Бур. Динамический характер адсорбции М.: ИИЛ, 1962.
8. В.В.Кафаров. Основы массопередачи. М.:Наука, 1979.
9. Абсорбция и адсорбция. Химическая энциклопедия. Т.1. М., 1988.
10. Адамян А.А., Лизанец М.Н., Добыш С.В. и др. Результаты лабораторного исследования порошкообразных медицинских сорбентов и перспективы их использования в хирургии /Вестник хирургии им. Грекова. – 1991.- №7-8. С. 37-41.
11. Гальбрайт Л.С. Целлюлоза и ее производные /Соросовский образовательный журнал. – 1996. - № 11 (12). – С. 47-53.
12. Забелин Л.В., Закощиков А.П., Постников В.К. Хлопковая целлюлоза. Изд-во «Легкая промышленность», 1976. – С. 46-107.
13. Раны и раневая инфекция: Руководство для врачей /Под ред. М.И. Кузина, Б.М. Костюченко. – 2-е изд., перераб. И доп. – М.: Медицина, 1990. – С. 281-283.
14. Кондратьева Т.С., Михайлова Г.В., Кассин В.Ю. Целосорб и возможности его применения для лечения гнойных ран /Синтетические и биологические полимеры в фармации (научные труды, т. 28) - Москва, 1990. – С. 63-66.

А. С. Андреев д.ф.-м.н., Р. Ф. Гимазетдинов, С. В. Павликов д.ф.-м.н.

Ульяновский государственный университет,
факультет математики и информационных технологий,
кафедра информационной безопасности и теории управления,
Россия, Ульяновск
AndreevAS@ulsu.ru

ПРЯМОЙ МЕТОД ЛЯПУНОВА В ЗАДАЧАХ УСТОЙЧИВОСТИ ФУНКЦИОНАЛЬНО-ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ С РАЗРЫВНОЙ ПРАВОЙ ЧАСТЬЮ

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант 11-01-00541), АВЦП «Развитие научного потенциала высшей школы» (проект 2.1.1/11180), Совета по грантам Президента РФ (МД-7549.2010.1) и ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» (госконтракты П/1122, 14.740.12.0837).

В работе дано развитие прямого метода Ляпунова в задачах асимптотической устойчивости функционально-дифференциальных уравнений с разрывной правой частью на основе анализа их топологической динамики и исследования предельных свойств решений.

Ключевые слова: функционально-дифференциальное уравнение, предельное включение, устойчивость, функционал Ляпунова.

1. Рассматривается функционально-дифференциальное уравнение с конечным запаздыванием

$$\dot{x}(t) = f(t, x_t), \quad f(t, 0) \equiv 0, \quad (1.1)$$

$x \in R^n$, $(t, x_t) \in R^+ \times C$, R^n — n -мерное пространство с нормой $|x|$, C — банахово пространство непрерывных функций $\varphi: [-h, 0] \rightarrow R^n$ с нормой $P\varphi P = \sup(|\varphi(s)|, -h \leq s \leq 0)$.

Будем полагать, что пространство C разбивается на подпространства C_j ($j = \overline{1, r}$), границы которых задаются посредством соотношений

$$g_e(\varphi) = 0, g_e(0) = 0 \quad (e = 1, s)$$

так, что на каждом из подпространств C_j функция f непрерывна, ограничена в области $C_H = \{\varphi: P\varphi P \leq H = \text{const}\}$, удовлетворяет условию Липшица на множестве $C_H \cap \bigcup C_j$ и имеет конечный предел для каждой последовательности $\{\varphi_k, \varphi_k \rightarrow \varphi \in C \setminus \bigcup C_j\}$.

При этом предположении уравнению (1.1) можно сопоставить дифференциальное включение [1]

$$\dot{x}(t) \in F(t, x_t), \quad F(t, 0) \equiv 0. \quad (1.2)$$

Имеет место следующая теорема, развивающая соответствующие результаты работы [1] тем, что не используется топологическая динамика уравнения.

Теорема 1.1 Допустим, что можно найти функционал $V = V(t, u)$ такой, что:

1) $h_1(|g(\varphi)|) \leq V(t, \varphi) \leq h_2(|g(\varphi)|)$;

2) производная от V , вычисленная в силу (1.2), удовлетворяет неравенству $\dot{V}(t, \varphi) \leq -h_3(|g(\varphi)|)$;

3) решения (1.2) из каждой области $\{\varphi \in C \mathcal{P} \varphi \leq H_0, 0 < H_0 < +\infty\}$ равномерно ограничены соответствующей областью $\{\varphi \in C \mathcal{P} \varphi \leq H_1\}$;

4) решение $x = 0$ равномерно асимптотически устойчиво, глобально равномерно притягивающее относительно решений (1.2), начинающихся на множестве $\{g(\varphi) = 0\}$.

Тогда решение $x = 0$ уравнения (1.1) глобально равномерно асимптотически устойчиво.

2. Исследование устойчивости на основе функций Ляпунова

Пусть $B_H = \{x \in R^n : |x| < H\}$, $V : R^+ \times B_H \rightarrow R$ есть непрерывная или непрерывно-дифференцируемая функция Ляпунова, имеющая соответствующую производную в силу уравнения (1.2) $\dot{V}(t, \varphi)$ согласно равенству

$$\dot{V}^*(t, \varphi) = \frac{\partial V(t, \varphi(0))}{\partial t} + \sup \sum_{i=1}^n \frac{\partial V(t, \varphi(0))}{\partial x_i} y_i \Big|_{y=f(t, \varphi)}$$

Обозначим через $N(t, c)$, $(t, c) \in R^+ \times R$, множество функций $\varphi \in C_H$, таких, что $\sup(V(t+s, \varphi(s)), -h \leq s \leq 0) = c = \text{const}$,

через $M(t, c)$ – подмножество функций $\varphi \in N(t, c)$, таких, что

$$\sup(V(t+s, \varphi(s)), -h \leq s \leq 0) = V(t, \varphi(0)) = c = \text{const}.$$

Кроме этого введем также следующее определение.

Определение 3.1 Пусть $t_n \rightarrow +\infty$ есть некоторая последовательность, $t \in R$, $c_0 \in R$. Множество $N_\infty(t, c_0) \subset C_H$ есть множество точек $\varphi \in C_H$, для каждой из которых существует последовательность $\{\varphi_n \in C_H : \varphi_n \rightarrow \varphi \text{ при } n \rightarrow +\infty\}$, такая, что $\lim_{n \rightarrow +\infty} \sup_{-h \leq s \leq 0} V(t_n + t + s, \varphi_n(s)) = c_0$.

При этом $\varphi \in M_\infty(t, c_0) \subset N_\infty(t, c_0)$, если одновременно $\lim_{n \rightarrow +\infty} V(t_n + t, \varphi_n(0)) = c_0$.

Пусть $W : R^+ \times C_H \rightarrow R$ есть функционал, ограниченный, равномерно непрерывный на каждом множестве $R^+ \times K$, $K \subset C_H$ – компакт. Для него определим семейство предельных функционалов $W^* : R \times \Gamma \rightarrow R$. Множества $N_\infty(t, c_0)$ и $M_\infty(t, c_0)$ будем далее определять в соответствии с последовательностью $t_n \rightarrow +\infty$, для которой $W_{t_n}(t, \varphi)$ сходится к $W^*(t, \varphi)$ в Φ_W .

В исследовании предельного поведения и устойчивости решений уравнения (1.2) возможно следующее использование функций Ляпунова.

Теорема 3.1 Предположим, что:

1) существует функция $V : R^+ \times B_H \rightarrow R$, ограниченная снизу на множестве $R^+ \times B_{H_1}$ ($0 < H_1 < H$), $V(t, x) \geq m(H_1)$ для производная которой $\dot{V}^*(t, \varphi) \leq 0$ для каждой функции $\varphi \in \bar{C}_{H_1}$, такой, что $V(t+s, \varphi(s)) \leq V(t, \varphi(0))$, $-h \leq s \leq 0$;

2) существует функционал $W : R^+ \times C_H \rightarrow R^+$, ограниченный, равномерно непрерывный на $R^+ \times K$, и такой, что для всех $(t, \varphi) \in R^+ \times C_H$: $|\dot{V}^*(t, \varphi)| \geq W(t, \varphi)$;

3) некоторое решение (1.2) $x = x(t)$, $x_\alpha = \varphi$, $(\alpha, \varphi) \in R^+ \times C_H$, ограничено, $|x(t)| \leq H_1 < H$ для всех $t \geq \alpha - h$.

Тогда существует число $c_0 \geq m(H_1)$, при котором для каждой точки $\psi \in \omega^+$ можно определить непрерывное отображение $u : R \rightarrow \bar{C}_{H_1}$ и функционал W^* , такие, что

$\{u(t), t \in R\} \subset \omega^+$ и $u(t) \in N_\infty(t, c_0)$ для всех $t \in R$, кроме того, для каждого $\tau \in R$ найдется значение $\theta \in [\tau - h, \tau]$, такое, что $u(\theta) \in M_\infty(\theta, c_0)$, при этом одновременно $W^*(\theta, u(\theta)) = 0$.

Непосредственно из теоремы 3.1 имеем следующую теорему.

Теорема 3.2 Допустим, что при условиях теоремы 3.1 также выполняется следующее условие

3) для каждого $c_1 > c^*$ не существует непрерывных отображений $u: R \rightarrow \bar{C}_{H_1}$, содержащихся в множестве $N_\infty(t, c_1)$, таких, что для каждого $\tau \in R$ найдется $\theta \in [\tau - h, \tau]$, при котором одновременно $u(\theta) \in M_\infty(\theta, c_1)$ и $W^*(\theta, u(\theta)) = 0$.

Тогда в теореме 3.1 число $c_0 \leq c^*$ и, соответственно, вдоль решения $x = x(t, \alpha, \varphi)$ выполняется соотношение

$$\lim_{t \rightarrow +\infty} \sup(V(t+s, x(t+s)), -h \leq s \leq 0) = c_0 \leq c^*. \quad (3.1)$$

Представляется удобным для исследований применение функции Ляпунова в задаче о локализации положительного предельного множества Ω^+ решения $x = x(t)$ в пространстве R^n .

Определение 3.2 Пусть $x = x(t)$, $x_\alpha = \varphi$, есть решение уравнения (1.2), определенное для всех $t \geq \alpha - h$. Точка $q \in B_H$, $B_H = \{x \in R^n : |x| < H\}$, называется предельной точкой решения в R^n , если существует последовательность $t_n \rightarrow +\infty$ такая, что $\lim_{n \rightarrow \infty} x(t_n) = q$.

Множество всех таких точек есть положительное предельное множество Ω^+ в R^n .

Как и для ω^+ , для множества Ω^+ имеет место следующая лемма.

Лемма 3.1 Пусть выполнено условие из [1]. Тогда для каждой точки $q \in \Omega^+(\alpha, \varphi)$ существует непрерывное отображение $v: R \rightarrow B_{H_1}$, такое, что $v(0) = q$, $\{v(t), t \in R\} \subset \Omega^+(\alpha, \varphi)$, и для каждого $\gamma > 0$ найдется последовательность $t_n \rightarrow +\infty$, такая, что $x(t_n + t, \alpha, \varphi)$ сходится к $v(t)$ равномерно по $t \in [-\gamma, \gamma]$.

Определение 3.3 Пусть $V: R^+ \times B_H \rightarrow R$ есть непрерывная функция Ляпунова, $t_n \rightarrow +\infty$ есть последовательность, определяющая предельный к $W(t, \varphi)$ функционал $W = W^*(t, \varphi)$. Для каждого $t \in R$ и $c_0 \in R$ определим множества $V_\infty^{-1}(t, c_0)$ и $\{V_\infty^{-1}(t, c) : c \leq c_0\}$ как, соответственно, множества точек $x \in D_H \subset R^p$, для каждой из которых существует хотя бы одна последовательность $x_n \rightarrow x$, такая, что $\lim_{n \rightarrow \infty} V(t_n + t, x_n) = c_0$, $\overline{\lim}_{n \rightarrow \infty} V(t_n + t, x_n) \leq c_0$.

В соответствии с леммой 3.1 аналогично теоремам 3.1 и 3.2 имеют место следующие теоремы о локализации предельного множества Ω^+ .

Теорема 3.3 В условиях теоремы 3.1 имеет место также следующий вывод: существует число c_0 , при котором для каждой предельной точки $q \in \Omega^+$ можно определить непрерывное отображение $v: R \rightarrow \bar{D}_{H_1}$ и функционал $U \in F_U$, такие, что $\{v(t), t \in R\} \subset \Omega^+$ и $v(t) \in \{V_\infty^{-1}(t, c) : c \leq c_0\}$ для всех $t \in R$, при этом для каждого $\tau \in R$ найдется значение $\theta \in [\tau - h, \tau]$, при котором $v(\theta) \in V_\infty^{-1}(\theta, c_0)$, $W^*(\theta, v_\theta) = 0$.

Теорема 3.4 В условиях теоремы 3.1 допустим также, что:

3) для каждого $c_1 > c^*$ не существует непрерывного отображения $v: R \rightarrow \{V_\infty^{-1}(t, c) : c \leq c_1\}$, такого, что для каждого $\tau \in R$ найдется $\theta \in [\tau - h, \tau]$, при котором одновременно $v(\theta) \in V_\infty^{-1}(t, c_0)$ и $W^*(\theta, v_\theta) = 0$.

Тогда, в дополнение к теореме 3.3, число $c_0 \leq c^*$, т.е. имеет место соотношение (3.1).

Пусть $F(t, 0) = 0$, так что уравнение (1.2) имеет нулевое решение $x(t) = 0$, которое полагается единственным для $\varphi = 0$. Выведем достаточные условия его асимптотической устойчивости на основе знакоопределенной функции Ляпунова $V = V(t, x)$.

Теорема 3.5 Предположим, что можно найти функцию Ляпунова $V = V(t, x)$, $V(t, 0) = 0$, такую, что

1) функция $V(t, x) \geq a_1(|x|)$ для всех $(t, x) \in R^+ \times B_{H_1}$, $(0 < H_1 < H)$, $a_1 \in K$;

2) производная $\dot{V}^*(t, \varphi) \leq 0$ для каждой функции $\varphi \in C_{H_1}$, такой, что $V(t + s, \varphi(s)) \leq V(t, \varphi(0))$;

3) производная $|\dot{V}(t, \varphi)| \geq W(t, \varphi) \geq 0$ для всех $(t, \varphi) \in R^+ \times C_{H_1}$;

4) для каждого $c_0 \geq 0$ единственной непрерывной кривой $v = v(t)$, $t \in R$, в пространстве R^n , такой, что $v(t) \in \{V_\infty^{-1}(t, c) : c \leq c_0\}$ при $t \in R$, и для каждого $\tau \in R$ найдется значение $\theta \in [\tau - h, \tau]$, в котором одновременно $v(\theta) \in V_\infty^{-1}(\theta, c_0)$, $W^*(\theta, v_\theta) = 0$, является точка $v(t) = 0$.

Тогда решение $x = 0$ уравнения (1.2) асимптотически устойчиво.

Теорема 3.6 Допустим, что выполнены условия 1) и 2) теоремы 3.5, а также существует последовательность интервалов $[t_n, t_n + \gamma]$, $\gamma > h$, такая, что

3) производная $|\dot{V}^*(t, \varphi)| \geq W(t, \varphi) \geq 0$ для всех $(t, \varphi) \in [t_n, t_n + \gamma] \times C_{H_1}$;

4) для каждого $c_0 > 0$ не существует непрерывной кривой $v: [0, \gamma] \rightarrow B_{H_1}$, $v(t) \in \{V_\infty^{-1}(t, c) : c \leq c_0\}$ при $t \in [0, \gamma]$, такой, что на ней для какого-либо $\theta \in [0, \gamma]$ одновременно выполняются соотношения $v(\theta) \in V_\infty^{-1}(\theta, c_0)$, $W^*(\theta, v_\theta) = 0$.

Тогда нулевое решение $x = 0$ уравнения (1.2) асимптотически устойчиво равномерно по φ .

Теорема 3.7 Предположим, что можно найти определенно-положительную функцию $V = V(t, x)$, удовлетворяющую условиям теоремы 3.5 и такую, что для некоторой последовательности интервалов $[t_n, t_n + \gamma]$ ($t_n \rightarrow +\infty, \gamma > h$) $V(t, x) \leq a_2(|x|)$, $a_2 \in \mathfrak{R}$, $\dot{V}(t, \varphi)$ есть равномерно непрерывный по $(t, \varphi) \in [t_n, t_n + \gamma] \times C_{H_1}$ функционал, удовлетворяющий для этих (t, φ) неравенству $\dot{V}^*(t, \varphi) \leq -a_3(|\varphi(0)|)$, $a_3 \in \mathfrak{R}$.

Тогда решение $x = 0$ уравнения (1.2) асимптотически устойчиво равномерно по φ .

Теорема о равномерной асимптотической устойчивости доказывается в предположении, что функция $V = V(t, x)$ является ограниченной и равномерно непрерывной на каждом множестве $R^+ \times \bar{B}_{H_1}$ ($0 < H_1 < H$), т.е. для каждого $H_1 > 0$ существует $m = m(H_1) > 0$, и для любого малого $\varepsilon > 0$ найдется $\delta = \delta(\varepsilon, H_1) > 0$, такие, что для всех $(t, x) \in R^+ \times \bar{B}_{H_1}$, $(t_1, x_1), (t_2, x_2) \in R^+ \times \bar{B}_{H_1} : |t_2 - t_1| \leq \delta, |x_2 - x_1| \leq \delta$ выполняются неравенства

$$|V(t, x)| \leq m, \quad |V(t_2, x_2) - V(t_1, x_1)| \leq \varepsilon. \quad (3.2)$$

Семейство сдвигов $\{V_\tau(t, x) = V(\tau + t, x), \tau \in R^+\}$ будет предкомпактно в некотором пространстве F_V непрерывных функций с открыто компактной топологией. Для пары (V, W) функции $V: R^+ \times B_H \rightarrow R$ и функционала $W: R^+ \times C_H \rightarrow R$ можно определить семейство предельных пар $(V^*(t, x), U(t, \varphi))$ относительно одной и той же последовательности $t_n \rightarrow +\infty$.

Заметим из условия (3.2) следует, что функция $V(t, x)$ допускает бесконечно малый высший предел, $|V(t, x)| \leq a_2(|x|)$ для $(t, x) \in R^+ \times \bar{B}_{H_0}$ ($0 < H_0 < H$).

Теорема 3.8 Предположим, что можно найти функцию Ляпунова $V = V(t, x)$, удовлетворяющую условию (3.2), и такую, что выполняются условия 1–2 теоремы 3.5, а также:

4) для каждого $c_0 > 0$ и каждой пары (V^*, W^*) не существует непрерывных кривых $v: R \rightarrow B_{H_1}$, $v(t) \in \{V^*(t, x) \leq c_0\}$ при $t \in R$, таких, что для любого $\tau \in R$ найдется $\theta \in [\tau - h, \tau]$, при котором одновременно выполнялись бы равенства $V^*(\theta, v(\theta)) = c_0$ и $W^*(\theta, v_\theta) = 0$.

Тогда решение $x = 0$ уравнения (1.2) равномерно асимптотически устойчиво.

Как следствие теоремы 3.8 можно вывести следующий результат.

Теорема 3.9 Вывод о равномерной асимптотической устойчивости решения $x = 0$ уравнения (1.2) будет справедлив, если вместо условия 4) теоремы 3.8 предположить:

4') функционал $W(t, \varphi)$ удовлетворяет неравенству $W(t, \varphi) \geq a_3(|\varphi(0)|)$ для каждой функции $\varphi \in C_{H_1}$, такой, что $V(t + s, \varphi(s)) \leq V(t, \varphi(0))$.

Список литературы:

1. Павликов С.В., Шепелев Г.А. К методу функционалов Ляпунова в задаче об устойчивости функционально-дифференциальных уравнений с разрывной правой частью // Научно-технич. вестник Поволжья. 2011. № 1. С. 163—165.

**М. Л. Андреев, Н. А. Заркевич Ph.D., А. Н. Исаков, О. И. Козырева,
И. В. Плохов д.т.н.**

Псковский Государственный политехнический институт,
кафедра физики, кафедра электропривода и систем автоматизации
Россия, Псков,
zarkev@mail.ru

РАЗБИЕНИЕ N-МЕРНОГО КУБА НА СИМПЛЕКСЫ С СОХРАНЕНИЕМ СИММЕТРИИ

Предлагается рекурсивный алгоритм разбиения n -мерного куба и его деформаций на симплексы с сохранением симметрии. Алгоритм пригоден для триангуляции многомерного пространства и может быть использован в методе конечных элементов для решения многополевых задач.

Ключевые слова: алгоритм, симметрия, симплекс, триангуляция, многомерный куб.

В настоящее время в Псковском политехническом институте ведётся научная деятельность по созданию инновационных энергоэффективных технологий, представляющих экономическую и интеллектуальную ценность. В рамках двух проектов разрабатываются термомагнитоэлектрический преобразователь энергии и роторно-лопастной двигатель с внешним подводом теплоты (патент №2374526). Моделирование этих устройств требует решения связанных многополевых задач с разнообразной физикой в областях со сложной пространственной геометрией. Для этого мы реализуем многомерный метод конечных элементов и разработали предлагаемый алгоритм триангуляции n -мерного куба и его деформаций.

Триангуляция пространства – задача нетривиальная и, как правило, не имеющая однозначного решения. Уже в двух измерениях можно разбить квадрат на 2 треугольника двумя способами (делением пополам вдоль одной из двух диагоналей, рис. 1а и б), однако при таком минимальном разбиении частично теряется симметрия. Задача разбиения n -мерного пространства на симплексы усложняется с ростом размерности n . Симплекс – это n -мерное обобщение треугольника или тетраэдра. Симплекс имеет $(n+1)$ вершин, $n(n+1)/2$ попарно соединяющих все вершины одномерных рёбер, и в общем случае C_n^k k -мерных граней, где $C_n^k = n!/[k! (n-k)!]$ – биномиальный коэффициент. Суммарное количество всех гиперповерхностей симплекса от вершин до $(n-1)$ -мерных граней равно $(2^{n+1} - 1)$. Объём симплекса можно найти, подставив длины всех рёбер или координаты всех вершин в соответствующий детерминант. При триангуляции сумма объёмов всех симплексов должна быть равна объёму разбиваемой фигуры.

Объём n -мерного прямоугольного параллелепипеда или куба (n -куба) равен произведению всех взаимно-ортогональных сторон (a^n для n -мерного куба со стороной a). Число k -мерных граней n -куба равно $2^{(n-k)} \cdot n!/[k! (n-k)!]$. В частности, n -куб имеет 2^n вершин, $n \cdot 2^{(n-1)}$ одномерных рёбер и $2n$ граней размерности $(n-1)$. В отличие от симплекса, не все вершины куба попарно соединены одномерными рёбрами. Разбиение n -мерного пространства на n -мерные кубы или параллелепипеды наборами параллельных плоскостей – проблема легко решаемая. Здесь мы рассматриваем более интересную задачу разбиения n -мерного куба на симплексы.

Множество преобразований симметрии любой геометрической фигуры (в том числе n -куба) образует группу. Триангуляция фигуры увеличивает её сложность, добавляя новые

элементы: вершины, рёбра и грани симплексов. Если после триангуляции все симплексы переходят в такие же симплексы при преобразованиях симметрии, то триангуляция сохраняет симметрию. Например, триангуляция квадрата на рис. 1 (a, b) частично разрушает симметрию, а на рис. 1 (c, d, e) – сохраняет. Из сохраняющих симметрию вариантов триангуляции только в случае (c) симплекс наименьшего размера заполняет всю фигуру при применении операций симметрии. На рис. 1d нет преобразования симметрии, переводящего прилегающий к центру квадрата треугольник в прилегающий к вершине квадрата. Заметим, что при триангуляции бесконечной плоскости варианты (c) и (d) эквивалентны. Симплексы на рис. 1e – не минимального размера.



Рис. 1 – Триангуляция квадрата. Возможные варианты.

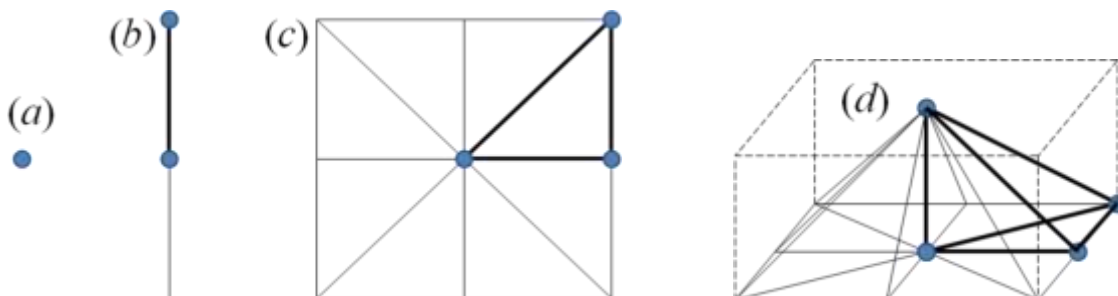


Рис. 2 – Триангуляция в 0, 1, 2 и 3 измерениях (выделены вершины и грани одного из симплексов). На рис. (d) показаны только 8 из 48 тетраэдров с основаниями на одной из 6 граней куба; полукуб ограничен пунктиром.

Если через центр n -мерного куба провести все возможные $(n-1)$ -мерные плоскости симметрии, то эти плоскости разобьют n -куб на симплексы, не разрушая кубической симметрии (рис. 2 и 1c). По построению, плоскости симметрии не пересекают ни один из образованных ими симплексов. Количество симплексов при этом равно числу элементов группы симметрии n -мерного куба. Это число равно 2 – для отрезка, 8 – для квадрата, 48 – для куба и $(2n)!! = 2 \cdot 4 \cdot 6 \cdot \dots \cdot (2n)$ – для n -куба, соответственно, в 1, 2, 3 и n измерениях. При такой триангуляции симплекс наименьшего размера заполняет весь n -куб при применении операций симметрии.

Итак, получен рецепт геометрического построения триангуляции n -куба. Остаётся описать алгоритм такого построения. Поскольку грань n -мерного куба является $(n-1)$ -мерным кубом, мы применим рекурсию. Каждый n -мерный симплекс однозначно задан, если заданы все его $(n+1)$ вершины. Триангуляция 0-мерного куба тривиальна, поскольку и 0-куб и 0-симплекс являются (одной и той же) точкой (рис. 2a).

Пусть триангуляция $(n-1)$ -мерного куба (грани n -куба) проведена. Каждый $(n-1)$ -мерный симплекс задан множеством n точек, лежащих в $(n-1)$ -мерной плоскости грани. Добавив к этим n точкам ещё одну (центр n -куба), лежащую вне $(n-1)$ -мерной плоскости грани, получаем $(n+1)$ вершин n -мерного симплекса. Эту процедуру придётся провести для каждого $(n-1)$ -мерного симплекса $(n-1)$ -мерной грани, и для каждой из $2n$ граней.

Рекурсивный алгоритм триангуляции куба проиллюстрирован на рис. 2. Рис. 2a изображает 0-мерный куб и 0-мерный симплекс, являющиеся одной и той же точкой. “Одномерный куб” (отрезок) показан на рис. 2b: его 0-мерные грани являются точками – концами отрезка. Триангуляция заключается в добавлении к каждой конечной точке (0-мерному симплексу) центральной точки. В результате получаем 2 отрезка или “одномерных

симплекса” (выше и ниже центра). На рис. 2с к одномерному симплексу в правой “грани” (стороне квадрата) добавляем центр квадрата, дополняя отрезок до треугольника. Каждая сторона квадрата разбита на 2 одномерных симплекса, таких сторон 4, итого получается 8 треугольников в “двумерном кубе”. На рис. 2d проведена триангуляция нижней грани трёхмерного куба, и к 2-мерным симплексам в плоскости грани добавлена ещё одна точка – центр куба, дополняющая треугольники до тетраэдров. Для каждой из 6 граней из 8 треугольников получается 8 тетраэдров: итого $6 \cdot 8 = 48$ тетраэдров в кубе.

4-мерный куб имеет $2n=8$ трёхмерных граней, каждая из которых является 3-мерным кубом и разбита на 48 тетраэдров. Добавляя к каждому из 48 тетраэдров в каждой из 8 граней центральную точку 4-мерного куба, получаем все 384 четырёхмерных симплекса. Аналогично проводится разбиение (триангуляция) любого n -мерного куба на $(2n)!!$ симплексов.

Отличительной особенностью нашего многомерного алгоритма триангуляции является сохранение симметрии. В n -кубе можно построить один n -мерный симплекс и получить все остальные с помощью $(2n)!!$ операций симметрии. По построению, все симплексы имеют одинаковую форму и объём, равный $1/(2n)!!$ объёма n -куба. Сохранение симметрии и равенство форм и объёмов симплексов делают данный алгоритм привлекательным для использования в методе конечных элементов [2] при триангуляции фигур, группа симметрии которых является подгруппой кубической симметрии. Этот метод может использоваться для моделирования материалов и веществ [1], явлений и устройств [3].

Вершины симплексов образуют прямоугольную сетку с расстояниями между ближайшими точками, равными половине длины стороны n -куба. Таким образом, при триангуляции n -кубов, вершины которых образуют прямоугольную сетку, получаем прямоугольную сетку удвоенной линейной плотности. Триангуляция отрезка (одномерного куба) одним симплексом (без центральной точки) с дальнейшим использованием этого же алгоритма привела бы к удвоенному объёму всех симплексов размерности от 1 до n , к меньшей плотности и повороту сетки вершин симплексов (рис. 1е). Возможность разбиения отрезка на 1, 2 или несколько одномерных симплексов, а также возможность разбиения n -кубов на более мелкие или слияния в более крупные используется для изменения плотности разбиения при многомасштабном моделировании [1].

Деформация n -куба приводит к частичной или полной потере симметрии. После триангуляции при деформации меняются расстояния между вершинами симплексов. После деформации n -мерный симплекс можно по-прежнему определять множеством $(n+1)$ точек – его вершин, если деформация не привела к “схлопыванию”, т.е. обращению объёма в ноль. Отсутствие точек сингулярности в деформационном преобразовании – недостаточное условие несхлопывания симплексов. Например, треугольник можно изогнуть (искривив его стороны) так, что площадь (объём) останется конечной (возможно неизменной), но 3 его вершины будут лежать на одной прямой. При выпрямлении сторон (задании нового симплекса его вершинами) объём изменяется (в случае 3 точек на одной прямой – до нуля). Деформация, значительно меняющая объём или углы симплексов, приводит к существенной потере точности в методе конечных элементов [2], поэтому при наличии значительных деформаций рекомендуется изменять масштаб или способ триангуляции. Важно, что при частичной потере симметрии при деформации n -куба наш способ триангуляции позволяет сохранить оставшуюся симметрию. В частности, наша триангуляция сохраняет симметрии ромба, прямоугольника и параллелограмма.

Таким образом, нами предложен способ и рекурсивный алгоритм разбиения n -мерного куба и его деформаций на симплексы с сохранением симметрии. Мы используем этот алгоритм для триангуляции n -мерного пространства в методе конечных элементов, для моделирования объектов с разнообразной физикой и решения многополевых задач.

Список литературы:

1. *Заркевич Н.А.* «Многомасштабное моделирование материалов с использованием распределённых вычислительных ресурсов» // Труды Псковского Политехнического Института. – Псков, 2011. – №15.1 - Естествознание и математика. – С. 21.
2. *Плохов И.В., Исаков А.Н., Андреев М.Л., Козырева О.И., Заркевич Н.А.*, «Метод конечных элементов. Мультифизика» // «Энергия и талант молодёжи – залог развития инновационных и наукоёмких производств»: сборник научных трудов XII Областной научно-практической конференции молодых учёных. – Псков, Издательство ППИ, 2011. – Т. 1. – С. 29-33.
3. *Плохов И.В.* «Модель динамики токопередачи через скользящий контакт» // Электротехника. 2005. – № 2. – С. 28-33.

А. Н. Аношкин д.т.н., А. Г. Захаров, Е. Н. Шустова

ОАО «Пермский завод «Машиностроитель»,
«Пермский государственный технический университет»
Россия, Пермь
nich@pstu.ru

ЯЧЕИСТЫЕ НАПОЛНИТЕЛИ ЗВУКОПОГЛОЩАЮЩЕГО КОНТУРА АВИАЦИОННОГО ДВИГАТЕЛЯ

На основе анализа результатов акустических и механических испытаний ячеистых конструкций, а также оценке их технологичности, исследована возможность применения ячеистого типа «резонансных ячеек» в процессе изготовления корпусных деталей звукопоглощающего контура обшивки авиационного двигателя.

Ключевые слова: конструкции из композиционных материалов, авиадвигатель, полимерные композиционные материалы.

Все более широкое применение при изготовлении деталей и узлов авиационных двигателей находят волокнистые полимерные композиционные материалы (ПКМ), армированные высокопрочными и высокомодульными непрерывными волокнами. Это обусловлено их высокой прочностью, жесткостью, малым весом, высоким сопротивлением усталости, коррозионной стойкостью. Сегодня ПКМ успешно конкурируют с металлами и сплавами, а в ряде случаев только из них могут быть сделаны соответствующие детали и узлы с заданным комплексом технических характеристик [1]. В настоящее время для российских и зарубежных газотурбинных авиационных двигателей разработано большое многообразие деталей и узлов из ПКМ: элементы наружной обшивки, обтекатели, кожаха, звукопоглощающие панели, лопасти вентилятора и т.д.

В России работы, посвященные оценке широкомасштабному внедрению ПКМ в конструкцию газотурбинных авиационных двигателей, были выполнены в начале 90-ых годов на двигателе ПС-90А. Следует отметить, что к началу выполнения данных работ двигатель уже выпускался серийно, таким образом, проектирование композитных деталей и узлов проводилось с условием полного конструктивного соответствия металлическим аналогам, что не позволило в полной мере использовать все преимущества ПКМ. В результате оценки существующей отечественной материаловедческой и производственно-технологической базы для первоочередной замены металлических деталей на композитные аналоги были выбраны около 30 узлов [2]. Наиболее перспективными, позволяющими получить максимальный эффект от снижения массы и шума, оказались корпусные детали звукопоглощающего контура (ЗПК) авиационного двигателя. Между слоями наружной и внутренней силовой обшивки таких деталей расположены «резонансные ячейки Гельмгольца» различной формы, при этом слои внутренней обшивки имеют перфорацию, таким образом, звуковые волны, попадая в «резонансную ячейку», теряют интенсивность за счет сложения амплитуд прямой и отраженных волн [3]. В качестве примера на рис. 1 показана серийно выпускаемая для двигателя ПС-90А панель вентилятора с элементами ЗПК, изготовленная на основе стеклопластика СТ-69Н и углепластика КМУ-11Э.



Рис. 1- Панель вентилятора с элементами ЗПК двигателя ПС-90А, материал на основе стеклопластика СТ-69Н и углепластика КМУ-11Э.

Параметры конструктивного совершенствования корпусных деталей с ЗПК во многом зависят от конструкции «резонансных ячеек». Кроме того, от этого же зависит и технологичность изготовления деталей с ЗПК, определяющая стоимость и качество получаемых изделий. В настоящей статье проводится исследование ячеистого типа «резонансных ячеек», изготовленных из волокнистых ПКМ, с целью оценки их технологичности для применения в процессе изготовления корпусных деталей ЗПК обшивки авиационного двигателя.

На ОАО «Пермский завод «Машиностроитель» разработаны новые конструкции ЗПК из ПКМ [патенты №2247878, №2268380, №2282735, заявки на изобретение №2009134211, №2010110916], на основе ячеистого заполнителя, который изготавливается в двух конструктивных исполнениях (рис.2 а, б). Заполнитель на рис.2а представляет собой панель с выдавленными в трикотажном полотне ячейками, имеющими форму усечённых пирамид. На рис.2б ячеистый заполнитель представляет собой сборную конструкцию, где в гофрированный профиль, имеющий поперечные пазы, под углом 90° вставляется другой гофрированный профиль.

Ячеистые ЗПК изготавливаются из нескольких частей, образующих после сборки замкнутые полости (ячейки) по всей площади конструкции. Каждая ячейка является элементарным резонатором Гельмгольца. Размеры ячеек определяются акустическим расчетом и выбираются из условия максимального гашения звуковых колебаний на нужных частотах.

Конструктивно ячеистые ЗПК выполнены из силовой оболочки поз.1, силовой перфорированной оболочки поз.3 и ячеистого заполнителя поз.2 расположенного между ними (рис. 2а, б)

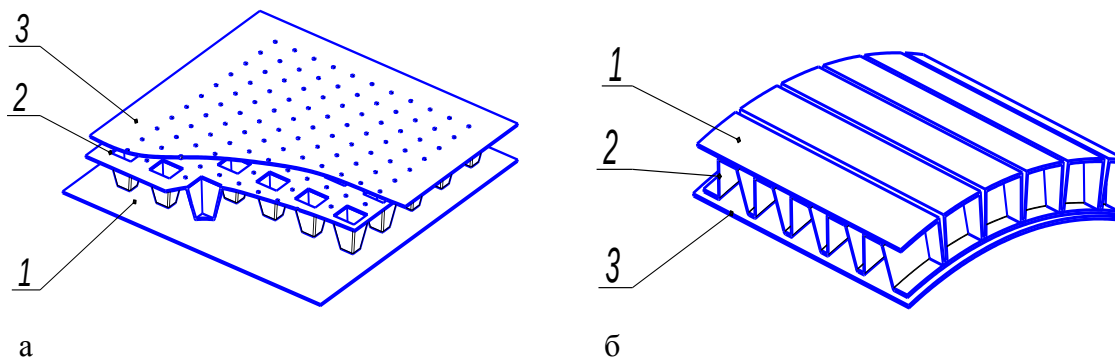


Рис.2 – ЗПК с ячеистым заполнителем.

Технология изготовления ячеистого заполнителя состоит в следующем:

1. Предварительно в оснастке формируется ячеистый заполнитель;
2. Заполнитель нарезается на требуемый размер;
3. Заполнитель выкладывается на слой препрега, являющегося силовой оболочкой будущего изделия;
4. Сверху укладывается другой слой препрега или гофрированного заполнителя, являющегося также силовой оболочкой;
5. Полимеризация собранной панели в автоклаве.
6. Подрезка торцов, перфорация отверстий.

На рис. 3 представлены макеты ячеистого заполнителя, изготовленные на ОАО «ПЗ «Машиностроитель».

Исходя из анализа, существующего на ОАО «ПЗ «Машиностроитель» технологического процесса изготовления панели вентилятора 94-01-2754, снижение трудоёмкости, с использованием новой конструкции, составило около 20% по сравнению с изготовлением трубчатого заполнителя. Снижение трудоёмкости осуществляется за счёт исключения из технологического процесса операций изготовления, обмотки и удаления резиновых вкладышей.

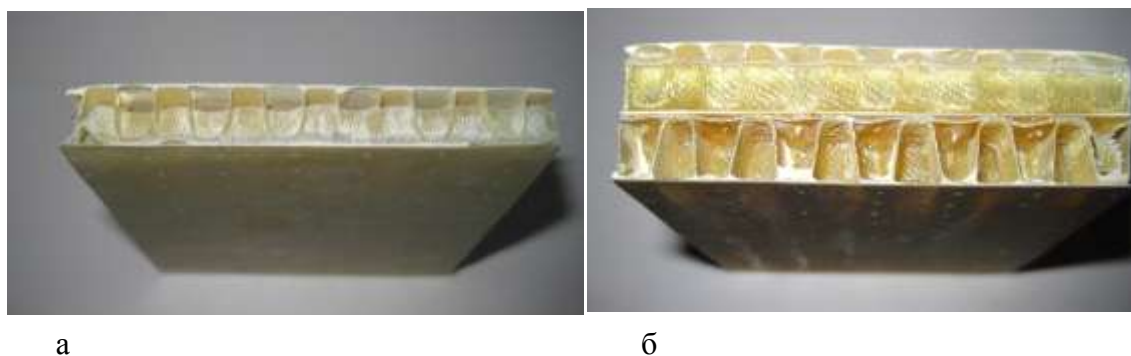


Рис. 3 - Макет ячеистого заполнителя: однослойная панель с поперечным разрезом, проложенным тканью (а), двухслойная панель с поперечным разрезом, проложенным тканью (б).

Сравнительные испытания на сжатие образцов панелей ЗПК (100×100)мм с различными заполнителями из ПКМ, проведенные на универсальной испытательной машине ЦД-20, показали, что механическая прочность на сжатие ЗПК с ячеистым заполнителем меньше чем у ЗПК с сотовым и трубчатым заполнителем, но выше, чем у ЗПК с заполнителем с трапецидальным каналом и складчатым. Однако можно ожидать, что за счет большей поверхности контакта уровень сдвиговой прочности и вибропрочности ЗПК с ячеистым заполнителем будет выше, чем у большинства аналогов, за исключением ЗПК с трубчатым заполнителем.

Таблица 1- Результаты механических испытаний на сжатие образцов панелей ЗПК с различными типами заполнителей.

п/п	Наименование образца ЗПК	Высота	Разрушающая нагрузка при сжатии, кг/см ²
	Ячеистая однослойная перфорированная	11	13,85
	Ячеистая двухслойная перфорированная	21,8	12,4
	Складчатая однослойная	-	0,5*
	Сотовая однослойная	10	34,5
	С трапецидальным каналом однослойная перфорированная	10,5	5,88
	С трапецидальным каналом двухслойная перфорированная	20,5	7,1
	Трубчатая двухслойная	21,3	28,1

*Данные работы [4]

Акустическая эффективность ячеистых ЗПК была проверена на установках "Канал с потоком" в ФГУП "ЦАГИ" и ФГУП "ЦИАМ". В целом акустические характеристики ячеистых ЗПК близки к ЗПК с сотовым заполнителем. При этом акустические испытания показали хорошую эффективность новой конструкции в области высоких частот (2000-4000 Гц при скорости потока воздуха $M=0,325$ (рис.4)), причем в максимумах частотной характеристики величина затухания практически совпадает с максимально возможным затуханием.

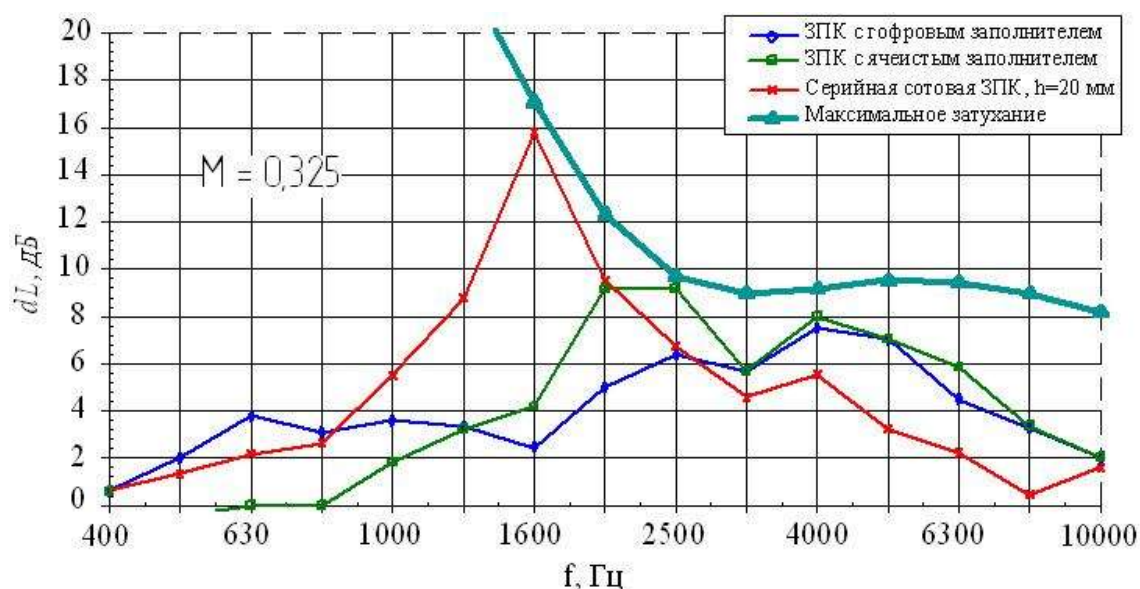


Рис.4 - Частотные зависимости снижения шума для ЗПК различных конструкций.

Полученный уровень снижения шума для ЗПК ячеистого типа не является предельным, так как при изменении геометрии элементарных резонаторов (ячеек) возможно расширение частотного спектра с максимальной эффективностью.

Таким образом, исходя из оценки технологичности и анализа результатов акустических и механических испытаний ЗПК с ячеистым наполнителем, можно рекомендовать применение разработанной ячеистой конструкции в узлах двигателя и планера, не испытывающих больших силовых нагрузок, таких как, декоративные панели салона, облицовка и т.д. Кроме того, ячеистый наполнитель можно использовать при создании дополнительного звукозащитного слоя в серийных конструкциях ЗПК с трубчатым наполнителем для улучшения акустических свойств.

Список литературы:

1. Рубцов С.М., Аношкин А.Н., Ташинов А.А., Шавиуков В.Е. Эксплуатационный ресурс стеклопластикового кожуха сопла авиационного газотурбинного двигателя// Конструкции из композиционных материалов. – 2007 – №3. – С.11-17.
2. Рубцов С.М. Полимерные волокнистые композиты в конструкции турбовентиляторного авиационного двигателя ПС-90А // Конверсия в машиностроении.– 2007.–№3.–С.19–26.
3. Иванов А.А., Кашин С.М., Семенов В.И. Новое поколение сотовых наполнителей для авиационно-космической техники. – М.: Энергоатомиздат, 2000. – 436 с.
4. Богданов С.А. Расчёт импеданса звукопоглощающей конструкции с наполнителем в виде складчатой структуры// Механика и Машиностроение. - 2006 – с. 1100 – 1105.

К. В. Пахомов, О. А. Перегудова д.ф.-м.н., П. П. Силантьев

Ульяновский государственный университет,
факультет математики и информационных технологий,
кафедра информационной безопасности и теории управления,
Россия, Ульяновск
peregudovaoa@sv.ulsu.ru

УПРАВЛЕНИЕ ДВИЖЕНИЕМ НЕГОЛОНОМНОГО МОБИЛЬНОГО РОБОТА НА ОСНОВЕ МЕТОДА БЭКСТЕППИНГА

В работе предложен непрерывный нелинейный закон управления для стабилизации нестационарной траектории мобильного робота с двумя степенями свободы. Задача решена на основе применения знакопостоянных функций Ляпунова и процедуры метода бэкстеппинга.

Ключевые слова: мобильный колесный робот, управление с насыщением, бэкстеппинг, знакопостоянная функция Ляпунова.

Задачи управления неголономными системами представляют в настоящее время значительный теоретический и прикладной интерес. Такие системы характеризуются наличием кинематических неинтегрируемых связей, которые возникают в задачах управления механическими системами с качением, такими, например, как колесные экипажи, мобильные роботы, манипуляторы на подвижной платформе и т.д. Современные типы колесных мобильных роботов и манипуляторов применяются в самых разных областях человеческой деятельности: создание и использование новейших транспортных средств, в том числе, планетоходов, борьба с терроризмом и разминирование опасных территорий, пожаротушение и т.д.

Конкретные результаты по построению управлений частным классом неголономных систем – колесными мобильными роботами получены в работах В.М. Буданова, Ю.Г. Мартыненко, А.М. Формальского и других ученых. Так, например, в работе [1] получено управление продольным движением и поворотами трёхколёсных роботов с двумя ведущими и пассивным рояльным колёсами. В работе [2] построено линейное по фазовым координатам управление с насыщением продольным движением моноцикла. Для исследования задач управления неголономными системами, в том числе колесными системами, с учетом действующих возмущений и параметрической неопределенности на основе принципа декомпозиции в работах научной школы Е.С. Пятницкого построены релейные законы управления, позволяющие, например, стабилизировать движение колесной системы вдоль некоторой траектории. Так, например, в работе [3] изучены кинематические модели колесных систем, построен релейный закон управления, который стабилизирует движение колёсной системы вдоль заданной траектории (плоской гладкой кривой). Однако большинство современных подходов является эффективным лишь для кинематических моделей неголономных систем или динамических моделей с постоянными или медленно изменяющимися параметрами и мало эффективны в применении к динамическим моделям неголономных систем с нестационарными траекториями. Это объясняется математической сложностью решаемых задач, в частности, необходимостью развития прямого метода Ляпунова в исследовании устойчивости решений дифференциальных уравнений с нестационарной правой частью.

Целью настоящей работы является решение задачи стабилизации нестационарной траектории мобильного робота с двумя степенями свободы. Задача решена при помощи непрерывного управления с функцией насыщения. На основе процедуры метода бэкстеппинга осуществлен переход от простой задачи стабилизации кинематической модели к задаче стабилизации динамической модели. Применение знакопостоянной функции Ляпунова, в отличие от стандартной знакоопределенной, позволило упростить структуру управления.

1. Постановка задачи. Рассмотрим задачу о стабилизации заданного движения трёхколёсного робота, выполненного по схеме трицикла, с установленными на нём двумя электродвигателями. Если пренебречь влиянием инерционности ролевого колеса и его вилки на динамику робота, то можно получить следующие электромеханические уравнения динамики такого мобильного робота

$$\begin{cases} m\dot{V} - m_1 a \Omega^2 - \frac{nc}{r}(i_1 + i_2) = 0, & J\dot{\Omega} + m_1 a V \Omega - \frac{nc l}{r}(i_1 - i_2) = 0, \\ L \frac{di_1}{dt} + R i_1 + \frac{nc}{r}(V + l \Omega) = U_1, & L \frac{di_2}{dt} + R i_2 + \frac{nc}{r}(V - l \Omega) = U_2, \end{cases} \quad (1.1)$$

где V – скорость точки A ; Ω – угловая скорость платформы; i_1 и i_2 – токи во внешних цепях электродвигателей; r – радиус задних колес; m_1 – масса платформы; L – обобщённая индуктивность цепи электродвигателя; c – коэффициент электромеханического взаимодействия; R – омическое сопротивление цепи ротора; n – передаточное число редуктора; $a = AC$;

$$m = m_1 + 2m_k + 2\frac{J_y}{r^2}, \quad J = J_1 + 2J_{kz} + (m - m_1)l^2 + m_1 a^2,$$

здесь m_k – суммарная масса ведущего колеса и ротора электродвигателя, J_1 – момент инерции платформы, относительно вертикальной оси, проходящей через центр масс C ; J_{kz} – момент инерции ведущего колеса относительно вертикальной оси; J_y – приведённый момент инерции колеса.

Кинематические уравнения робота имеют вид

$$\dot{x} = V \cos \psi, \quad \dot{y} = V \sin \psi, \quad \dot{\psi} = \Omega \quad (1.2)$$

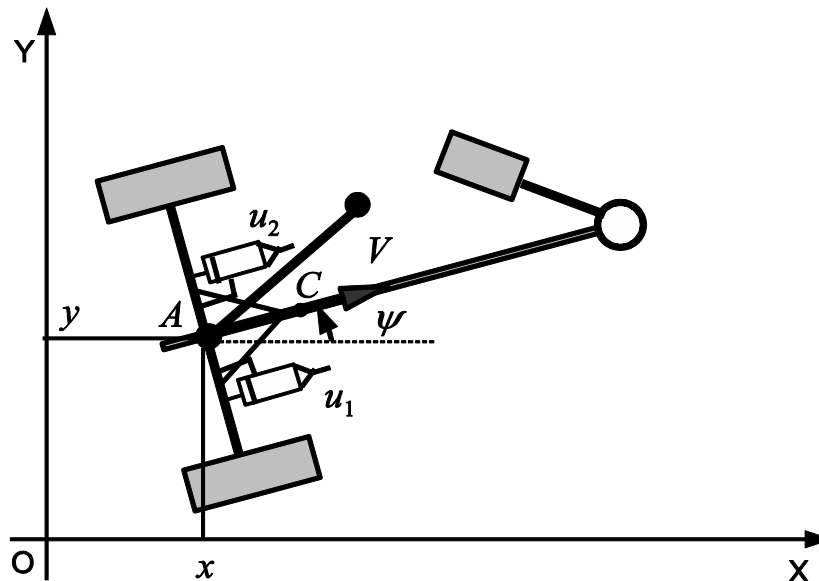


Рис. 1. Мобильный колесный робот с двумя степенями свободы.

Поставим задачу: путем выбора управляющих напряжений U_1 и U_2 ($|U_i| < U_0 = \text{const} > 0$, $i = 1, 2$) стабилизировать движение робота, при котором координаты изменяются по заданному нестационарному закону

$$x = x_r(t), \quad y = y_r(t), \quad \psi = \psi_r(t). \quad (1.3)$$

2. Решение задачи. Введем отклонения от заданной траектории (1.3) по формуле

$$\begin{bmatrix} x_e \\ y_e \\ \psi_e \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \psi & \sin \psi & 0 \\ -\sin \psi & \cos \psi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_r - x \\ y_r - y \\ \psi_r - \psi \end{bmatrix}$$

Тогда кинематические уравнения (1.2) в отклонениях примут вид

$$\begin{cases} \dot{x}_e = \Omega y_e - V + V_r(t) \cos \psi_e, \\ \dot{y}_e = -\Omega x_e + V_r(t) \sin \psi_e, \\ \dot{\psi}_e = \Omega_r(t) - \Omega \end{cases} \quad (2.1)$$

Выберем следующий закон управления для кинематической модели (2.1)

$$V = V_r(t) + k_1 x_e, \quad \omega = \omega_r(t) + k_2 \theta_e, \quad (2.2)$$

где k_1 и k_2 – некоторые положительные постоянные.

В работе [4] показано, что закон управления (2.2) обеспечивает асимптотическую устойчивость нулевого решения для системы уравнений в отклонениях (2.1).

Перейдем к рассмотрению динамической модели робота (1.1). В пренебрежении коэффициентом индуктивности L можно получить следующие уравнения динамической модели робота

$$\begin{cases} \dot{x}_e = \Omega y_e - V + V_r(t) \cos \psi_e, \\ \dot{y}_e = -\Omega x_e + V_r(t) \sin \psi_e, \\ \dot{\psi}_e = \Omega_r(t) - \Omega, \\ m\dot{V} - m_1 a \Omega^2 + \frac{2n^2 c^2}{r^2 R} V = \frac{nc}{rR} U_3, \quad J\dot{\Omega} + m_1 a V \Omega + \frac{2n^2 c^2 l^2}{r^2 R} \Omega = \frac{ncl}{rR} U_4, \end{cases} \quad (2.3)$$

где $U_3 = U_1 + U_2$ и $U_4 = U_1 - U_2$.

С помощью процедуры метода бэкстеппинга построим законы управления для этой модели. Сделаем замену переменных

$$\begin{cases} V_1 = V - V_r(t) - k_1 x_e, \quad \Omega_1 = \Omega - \Omega_r(t) - k_2 \psi_e, \\ u_1 = \frac{m_1 a}{m} \Omega^2 - \frac{2n^2 c^2}{mr^2 R} V + \frac{nc}{mrR} U_3, \quad u_2 = \frac{m_1 a}{J} V \Omega - \frac{2n^2 c^2 l^2}{Jr^2 R} \Omega + \frac{ncl}{JrR} U_4, \end{cases}$$

Положив $\tilde{u}_1 = u_1 - \dot{V}_r(t) - k_1 \dot{x}_e$, $\tilde{u}_2 = u_2 - \dot{\Omega}_r(t) - k_2 \dot{\psi}_e$, преобразуем систему (2.3) в каскадное соединение двух подсистем

$$\begin{cases} \dot{x}_e = (\Omega_1 + \Omega_r(t) + k_2 \psi_e) y_e - V_1 - V_r(t) - k_1 x_e + V_r(t) \cos \psi_e, \\ \dot{y}_e = -(\Omega_1 + \Omega_r(t) + k_2 \psi_e) x_e + V_r(t) \sin \psi_e, \\ \dot{\psi}_e = -\Omega_1 - k_2 \psi_e, \\ \dot{V}_1 = \tilde{u}_1, \quad \dot{\Omega}_1 = \tilde{u}_2. \end{cases} \quad (2.4)$$

Выберем для системы (2.4) функции управления $\tilde{u}_1$ и $\tilde{u}_2$ в виде $\tilde{u}_1 = -k_3 \text{sat}(V_1)$, $\tilde{u}_2 = -k_4 \text{sat}(\Omega_1)$, где k_3, k_4 – положительные постоянные, $\text{sat}(\bullet)$ – функция насыщения с большим углом наклона линии переключения управления.

С помощью знакопостоянной функции Ляпунова $v = V_1^2 + \Omega_1^2$ и результатов работы [5] можно показать, что нулевое решение $x_e = y_e = \psi_e = V_1 = \Omega_1 = 0$ системы (2.4) равномерно асимптотически устойчиво. Таким образом, управления, обеспечивающие стабилизацию заданного движения (1.3), будут иметь вид:

$$\begin{cases} u_1 = \dot{V}_r(t) + k_1(\Omega y_e - V + V_r(t) \cos \theta_e) - k_3 \text{sat}(V - V_r(t) - k_1 x_e), \\ u_2 = \dot{\Omega}_r(t) + k_2(\Omega_r(t) - \Omega) - k_4 \text{sat}(\Omega - \Omega_r(t) - k_2 \theta_e) \end{cases}$$

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента РФ (проект МД-7549.2010.1), АВЦП «Развитие научного потенциала высшей школы» (проект № 2.1.1/11180), ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» (гк П/2230, 14.740.12.0837) и РФФИ (11-01-00541).

Список литературы:

1. Буданов В.М., Девянин Е.А. О движении колесных роботов // ПММ. 2003. Т.67, Вып. 2. С. 244—255.
2. Мартыненко Ю.Г., Формальский А.М. К теории управления моноциклом // ПММ. 2005. Т.69, Вып. 4. С. 569—583.
3. Матюхин В.И. Управление механической колёсной системой // ПММ. 2007. Т.71, Вып. 2. С. 237—249.
4. Panteley E., Lefeber E., Loria A., Nijmeijer H. Exponential tracking control of a mobile car using a cascaded approach // IFAC international workshop on motion control N°3, Grenoble , FRANCE. 1998. P. 221-226.
5. Перегудова О.А. Метод сравнения в задачах устойчивости и управления движениями механических систем. Ульяновск: УлГУ, 2009. 253 с.

М. В. Рудаков

Пермский государственный технический университет
аэрокосмический факультет,
кафедра механики композиционных материалов и конструкций,
Россия, Пермь
nich@pstu.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ НДС И ОЦЕНКА ПРОЧНОСТИ ФЛАНЦА КОЖУХА АВИАЦИОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С РАЗЛИЧНЫМИ СХЕМАМИ АРМИРОВАНИЯ

С помощью двумерной осесимметричной численной модели в среде ANSYS анализируются возможности повышения статической прочности фланца кожуха наружного задней подвески за счет применения вместо стеклопластика различных типов углепластика. Показано, что замена различных слоев стеклопластика в конструкции фланца на углепластик приводит к незначительному увеличению прочностных показателей изделия – на 5-10%.

Ключевые слова: полимерные композиционные материалы, стеклопластик, углепластик, фланцевые соединения, авиадвигатель, компьютерная модель.

В практике отечественного авиадвигателестроения первые широкомасштабные варианты внедрения композиционных материалов были предложены в начале 90-х годов для двигателя ПС-90, разработки ОАО «Авиадвигатель» (г. Пермь). Это позволило получить более высокие показатели шумозащиты и дополнительно снизить массу двигателя по сравнению с цельнометаллической конструкцией. Для внедрения полимерных композиционных материалов в конструкцию двигателя ПС-90А в первую очередь были выбраны корпусные детали звукопоглощающего контура (ЗПК) [1].

Предварительный анализ нагрузок и условий работы композитных корпусных деталей [2] показал, что наиболее нагруженными конструктивными элементами этих деталей являются фланцевые узлы, один из которых рассматривается в настоящей работе.

Объектом исследования является типовой присоединительный несущий фланец кожуха наружного задней подвески, который представляет из себя многослойный торцевой фланец из стеклопластика ВПС-33 на основе стеклоткани Т-10-14 и эпоксидного связующего ЭНФБ-2м. При создании корпусных деталей, в принципе, могут использоваться различные типы полимерных композиционных материалов: стекло-, угле- и органопластики с различными типами армирующих наполнителей и полимерных матриц.

На рис. 1 представлены схема армирования и расчетная схема для численного анализа типичной корпусной детали, включающей торцевой фланец и панели ЗПК. В состав фланца входят слои ВПС-33 толщиной 0,23 мм с заданной ориентацией основы вдоль образующей, а также слои, ориентация которых не регламентируется в конструкторской документации. В расчетной схеме деталей для таких слоев рекомендуется принимать, что данные слои в конструкции уложены с направлением уточной нити вдоль образующей, учет такого предположения идет в запас прочности.

Опыт расчета таких конструкций показал, что эксплуатационные силовые условия нагружения приводят к значительному изгибу участка кожуха. Изгибающий момент возникает в верхних силовых слоях кожуха, что приводит к изгибу как цилиндрического, так и торцевого участков фланцевого соединения. Данный изгибающий момент и определяет наиболее опасные зоны, а также величину межслойных напряжений в наиболее опасных сечениях.

В работе исследуется возможность повышения статической прочности такого фланца за счет применения различных типов композиционных материалов в наиболее нагруженных зонах – в частности, тканого или однонаправленного углепластика. Для получения прочностных оценок на основании численного расчета полей напряжений и деформаций исследуемой конструкции была сформулирована осесимметричная задача теории упругости для анизотропного тела.

Задача в вариационной формулировке для неоднородной области V заключается в отыскании минимума функционала Лагранжа [3], вариация которого при отсутствии массовых сил имеет вид, (1)

где ϵ – тензор и вариация тензора деформаций, E – тензор упругих модулей, u – вариация вектора перемещений, F – вектор внешних сил.

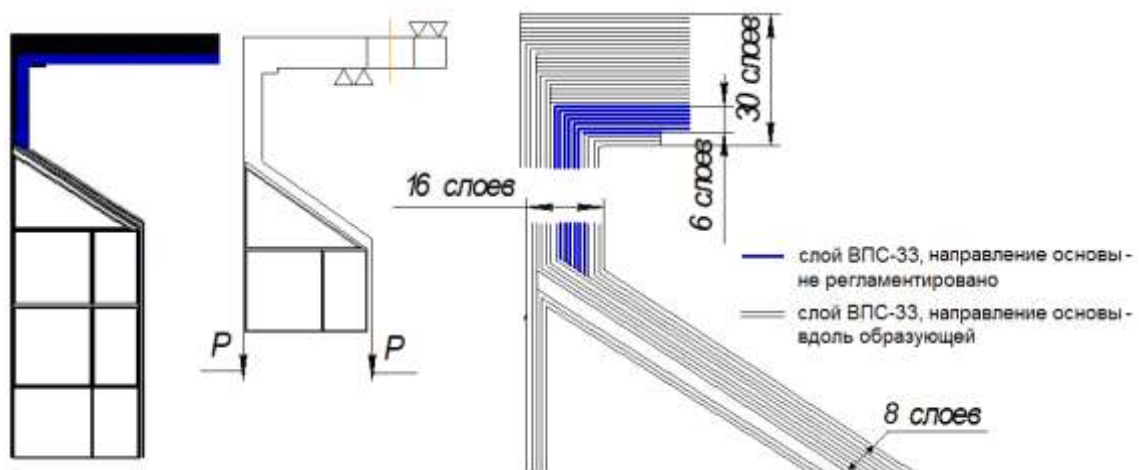


Рис. 1 – Расчетная схема и структура армирования фланца кожуха наружного задней подвески.

Дополнительными условиями для функционала (1) являются геометрические соотношения Коши, кинематические граничные условия на части поверхности – запрет осевых перемещений, условия идеального контакта между слоями.

Для каждого ортотропного слоя подобласти $V^{(p)}$ компоненты тензора модулей упругости зависят не только от типа материала, но и от его ориентации относительно глобальной системы координат. Преобразование компонент тензора модулей упругости слоя препрега из локальной системы координат в глобальную производится по формуле:

$$E_{ij} = T_{ik} T_{jl} E_{kl}^{(p)} \quad (5)$$

где T – матрица косинусов углов между направлением осей локальной и глобальной систем координат.

Технические упругие постоянные и пределы прочности в локальной системе координат слоя, использованные в проведенных оценочных расчетах, представлены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1 – Технические упругие постоянные композитных слоев

Материал	E_{11} , ГПа	E_{22} , ГПа	E_{33} , ГПа	G_{12} , ГПа	G_{13} , ГПа	G_{23} , ГПа	ν_{21}	ν_{13}	ν_{32}
Тканый стеклопластик [4]	24,6	18,6	6	4	3	3	0,15	0,42	0,18
Однонаправленный углепластик [4]	125	7	7	5,4	5,4	3	0,018	0,32	0,3
Углепластик КМУ-4Э-2М	125	9,5	3,5	4,7	3	3	0,31	0,31	0,2
Тканый углепластик ЭНФБ 3692-НТА-0,2-40	65	55,3	-	-	-	-	-	-	-

Таблица 2 – Пределы статической прочности материалов слоев

Материал	Π_{11}^+ , МПа	Π_{22}^+ , МПа	Π_{33}^+ , МПа	Π_{11}^- , МПа	Π_{22}^- , МПа	Π_{33}^- , МПа	Π_{12} , МПа
Тканый стеклопластик [4]	600	300	44 (30)	450	295	128	45
Однонаправленный углепластик [4]	1047	44 (30)	44 (30)	724	128	128	74
Углепластик КМУ-4Э-2М	1000	30	44 (30)	1000	180	-	65
Тканый углепластик ЭНФБ 3692-НТА-0,2-40	699	604	44 (30)	-	-	-	-

Система внешних нагрузок, возникающих в процессе эксплуатации, сводится к суммарной растягивающей силе P , которой эквивалентна нагрузка p , равномерно распределенная по поверхности торцевых силовых слоев. На противоположном конце фланца задаются площадки свободного опирания размером с диаметр шайбы болтового соединения. Схема граничных условий показана на рисунке 1.

Рассматривалось 4 варианта усиления конструкции фланца: шесть слоев стеклопластика в торцевой присоединительной зоне фланца заменялись на:

- тканый углепластик ЭНФБ 3692-НТА-0,2-40 - модель №1;
- однонаправленный углепластик - модель №2;
- углепластик КМУ-4Э-2М - модель №3.

Дополнительно к модели №3 с шестью слоями углепластика КМУ-4Э-2М на торце, рассматривался вариант замены на этот материал двух внутренних слоев стеклопластика цилиндрической части – модель №4.

Кроме того, для слоев ВПС-33 на участке с нерегламентированной схемой укладки направление основы выбрано вдоль образующей, что также должно повысить прочность изделия.

В результате численного решения осесимметричной задачи теории упругости при силовом нагружении фланца в пакете ANSYS определялись поля напряжений и деформаций в наиболее нагруженных участках конструкции – на границе слоев, а с использованием критериев прочности оценивался запас статической прочности. Для оценки запаса прочности материалов слоев использовалась совокупность критериев максимальных напряжений для анизотропного тела. Сопоставление межслойных напряжений с пределами прочности при межслойном отрыве или сдвиге позволяли оценить запас прочности для межслойного характера разрушения слоистого пакета.

Расчеты, как проведенные ранее для стеклопластикового фланца, так и представленные в настоящей работе, показали, что наименьший запас прочности наблюдается для

межслойных нормальных растягивающих напряжений, возникающих на поверхности между первым и вторым слоем, отсчитываемых от наружной поверхности конструкции.

На рис. 2 в качестве примера приведены картина распределения осевых напряжений σ_{zz} по численной модели №1 на участке перехода цилиндрической части фланца в торцевую с расположением сечений для анализа межслойных напряжений и эпюра межслойных отрывных напряжений в сечении 1 от единичной нагрузки $p=1\text{ МПа}$, равномерно распределенной по торцам силовых слоев кожуха. На рис. 3 – поле касательных напряжений на участке перехода с цилиндрической части фланца на наружную оболочку кожуха под углом 55° к образующей и эпюра межслойных отрывных напряжений в сечении 16.

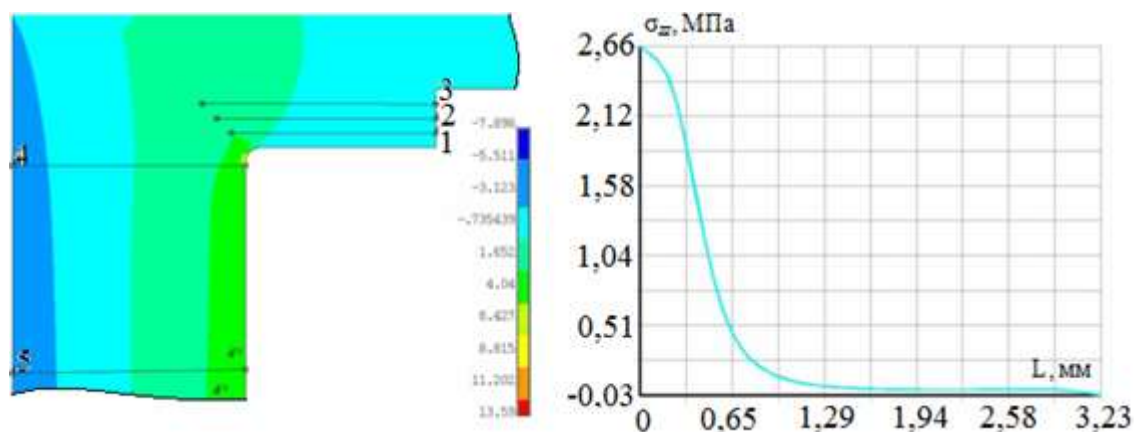


Рис. 2 - Поле напряжений σ_{zz} (МПа) в глобальной декартовой системе координат и эпюра межслойных нормальных напряжений в сечении 1.

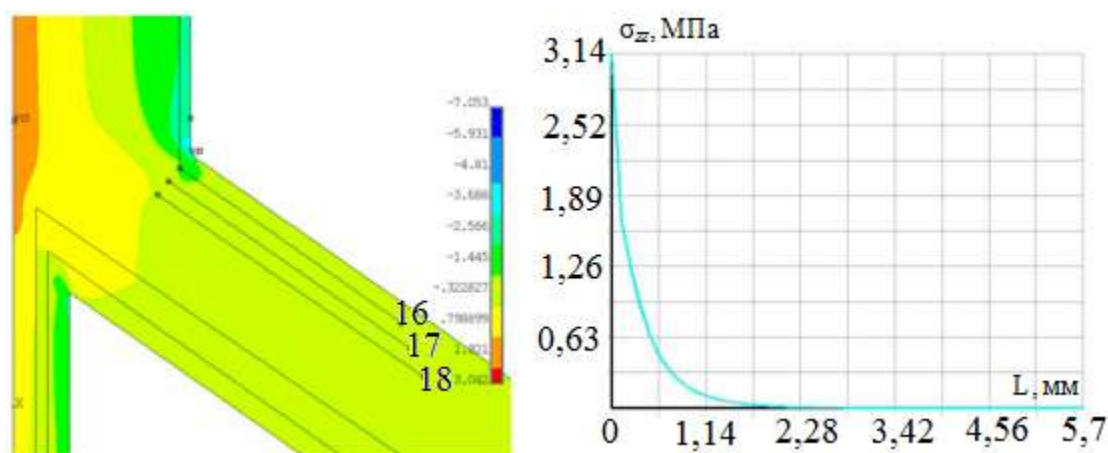


Рис. 3 – Поле касательных напряжений $\tau_{\parallel}$ (МПа) в локальной системе координат и эпюра межслойных нормальных напряжений в сечении 16.

Анализ НДС конструкции, рассчитанной по модели №1, показал, что наибольшее значение межслойных отрывающих напряжений $\sigma_{\perp\perp}=3,14\text{ МПа}$ имеет место в сечении 16 в зоне перехода слоев с цилиндрической части фланца на наружную оболочку кожуха под углом 55° к образующей оболочки. Принимая в качестве предельного значения отрывающих межслойных напряжений $[\sigma_{\perp\perp}] = 30 \div 44\text{ МПа}$ (см. табл. 2), получим соответствующее значение предельной распределенной нагрузки, действующей на рассматриваемый кожух, $p = 9,55 \div 14\text{ МПа}$, что эквивалентно суммарной силе $78\,290 \div 114\,772\text{ Н}$.

Аналогичным методом проводилась оценка напряженно-деформированного состояния и статической прочности торцевого фланца по моделям №№ 2-4 с другими типами углепластика.

В таблице 3 приведены результаты расчета по моделям №№ 1-4 в сравнении с первоначальным типовым вариантом фланца, выполненного только из стеклопластика.

Таблица 3 – Результаты расчетов.

Характеристика	Модель 0*	Модель №1	Модель №2	Модель №3	Модель №4
Максимальные межслойные нормальные напряжения в сечении №1, МПа	3,02	2,656 (-12,1%)	2,615 (-13,4%)	2,6 (-13,9%)	2,638 (-12,6%)
Суммарная сила по эпюре №1, Н	81980÷118871	92640÷136087	94280÷137726	94600÷138710	93210÷136743
Максимальные осевые напряжения, действующие в поперечном сечении №4 фланца, для слоев, уложенных по основе ($\sigma_{zz} = \sigma_{ }$), МПа	5,88	6,798 (+15,5%)	6,69 (+13,7%)	6,65 (+13%)	6,627 (+12,6%)
Разрушающая нагрузка для слоев, уложенных по основе, в сечении №4 (цилиндрический участок), Н	836 500	723 600	735 200	739 700	742 200
Максимальные межслойные нормальные напряжения в сечении №16, МПа	3,332	3,142 (-5,7%)	3,116 (-6,5%)	3,108 (-6,7%)	3,00 (-10%)
Суммарная сила по эпюре №16, Н	73780÷108624	78290÷114772	78950÷115756	79110÷116084	81980÷120265

* - Пояснение:

Модель 0 – типовой вариант фланца из стеклопластика;

Модель №1 – 6 слоев на торце из углепластика тканого ЭНФБ 3692-НТА-0,2-40;

Модель №2 – 6 слоев на торце из углепластика однонаправленного;

Модель №3 – 6 слоев на торце из углепластика КМУ-4Э-2М;

Модель №4 – 6 слоев на торце из углепластика КМУ-4Э-2М + 2 слоя КМУ-4Э-2М на цилиндрической части.

Заключение

Сравнивая полученные расчетные данные, можно сделать вывод, что замена 6 слоев стеклопластика в торцевой области фланца на углепластик с различными механическими свойствами незначительно влияет на статическую прочность конструкции – максимальная разрушающая нагрузка увеличилась в среднем на 6%. Однако, это позволяет достичь снижения межслойных отрывающих напряжений между внешними слоями на участке перехода цилиндрической части фланца в торцевую до 14%.

Замена шести слоев стеклопластика в зоне стыка фланца и двух внутренних слоев кожуха слоями углепластика КМУ-4Э-2М дает наибольший прирост прочности – 10%.

Также установлено, что наиболее опасным местом фланца кожуха наружного задней подвески для всех рассмотренных вариантов усиления является сечение №16 в зоне перехода слоев с цилиндрической части фланца на наружную оболочку кожуха.

Список литературы:

1. Рубцов С.М. Полимерные волокнистые композиты в конструкции турбовентиляторного авиационного двигателя ПС-90А // Конверсия в машиностроении.– 2007.–№3.–С.19–26.
2. Аношкин А.Н., Рудаков М.В., Страумит И.С., Шустова Е.Н. Расчет НДС и оценка прочности композитного фланца стеклопластикового кожуха авиационного газотурбинного двигателя // Вестник УГАТУ. – Уфа, 2011. Том 15(41) –С. 67-75.
3. Абовский Н.П., Андреев Н.П., Деруга А.П. Вариационные принципы теории упругости и теории оболочек. – М.: Наука, 1978, 287 с.
4. А.Н. Аношкин, А.А. Ташкинов. Прогнозирование несущей способности композитных фланцев корпусных деталей авиадвигателей. – Пермь: Изд-во ПГТУ, 1998. -101 с.

Н. В. Шалагинова

Вятский государственный гуманитарный университет, факультет информатики, математики
и физики, кафедра алгебры и дискретной математики,
Россия, Киров,
korshunnv@mail.ru

О ПОЛУКОЛЬЦАХ РОСТКОВ НЕПРЕРЫВНЫХ НЕОТРИЦАТЕЛЬНЫХ ФУНКЦИЙ

В работе рассматриваются свойства полуколец ростков непрерывных неотрицательных функций, заданных на произвольном топологическом пространстве X . В терминах этих свойств получены характеристики P -пространств и F -пространств X .

Ключевые слова: росток непрерывных функций, полукольцо ростков, пучок, тихоновское пространство.

Теория полуколец непрерывных функций получила систематическое развитие в 90-ые годы прошлого столетия, начиная с работы [1]. К изучению полуколец непрерывных функций может быть применен пучковый подход [2] (для колец это было сделано в [3]). Одним из главных пучков служит пучок ростков непрерывных неотрицательных функций. Его слои – полукольца ростков – могут применяться при изучении самих полуколец непрерывных функций и топологических пространств.

Полукольцом называется алгебраическая система $(S, +, \cdot, 0, 1)$, в которой $(S, +, 0)$ — коммутативный моноид, $(S, \cdot, 1)$ — моноид, выполняются законы дистрибутивности операции умножения относительно сложения, тождественно $0 \cdot x = x \cdot 0 = 0$ и $0 \neq 1$. *Полуполе* называется коммутативное делимое полукольцо.

Пусть X — топологическое пространство, $C^+(X)$ — коммутативное полукольцо с единицей всех непрерывных функций на X со значениями в полуполе $\mathbb{R}^+$ неотрицательных действительных чисел, с поточечными операциями сложения и умножения.

Зафиксируем в пространстве X точку x . Введем на полукольце $C^+(X)$ отношение конгруэнтности ρ_x : $f \rho_x g$ означает, что $f = g$ на некоторой окрестности U точки x . Тогда класс конгруэнтности для функции $f \in C^+(X)$ называется *ростком* непрерывных неотрицательных функций в точке x и имеет вид:

$$[f]_{\rho_x} = \{g \in C^+(X) \mid g = f \text{ на некоторой окрестности } U \text{ точки } x\}.$$

Класс нуля

$$[0] = \{f \in C^+(X) \mid f = 0 \text{ для некоторой окрестности } U \text{ точки } x\} = O_x$$

является идеалом в $C^+(X)$. Фактор-полукольцо $C^+(X)/\rho_x$ будет полукольцом ростков в точке x , обозначаемым $C^+(X)_x$.

В полукольце $C^+(X)$ открытое семейство всех конгруэнций $(\rho_x)_{x \in X}$ порождает факторный пучок θ_x полуколец $C^+(X)_x$ над X и соответствующее факторное представление $\alpha_1: C^+(X) \rightarrow \Gamma(\theta_x)$. Для любых $f, g \in C^+(X)$ и $x \in X$ имеем:

$\alpha_1(f) = \hat{f}$, $\hat{f}(x) = [f]_{\rho(x)} \in C^+(X)_x$ и $\hat{f}(x) = \hat{g}(x)$ означает, что $f = g$ на некоторой окрестности точки x .

Через каждую точку $[f]_{\rho_x}$ накрывающего пространства $P = \dot{\bigcup} \{C^+(X)_x : x \in X\}$ проходит глобальное сечение $\hat{f}$, соответствующее функции $f \in C^+(X)$, которое принимает значение $[f]_{\rho_x}$ в точке $x \in X$, поэтому представление α_1 является полным. Так как $\bigcap \{\rho_x : x \in X\}$ – это нулевая конгруэнция на $C^+(X)$, то α_1 является точным. Следовательно, α_1 – изоморфное представление полукольца $C^+(X)$ в пучке θ_x полуколец $C^+(X)_x$.

Определим пучок φ_x полуколец ростков непрерывных $\mathbf{R}^+$ -значных функций над X как предпучок полуколец $C^+(A)$ по всем открытым подмножествам A пространства X с гомоморфизмами ограничения. Элементами слоя S_x ($x \in X$) пучка φ_x служат ростки непрерывных неотрицательных функций, заданных на окрестностях точки x . При этом полукольцо $C^+(X)$ канонически отождествляется с подполукольцом полукольца $\Gamma(\varphi_x)$ глобальных сечений пучка φ_x .

Гомоморфизм $\wedge : f \rightarrow \hat{f}$, $\hat{f} \in \Gamma(\varphi_x)$ и $\hat{f}(x) = [f]_{\rho(x)} \in S_x$ является мономорфизмом, так как для любых функций $f, g \in C^+(X)$, $f \neq g$ найдется точка x_0 , для которой $f(x_0) \neq g(x_0)$, отсюда, $\hat{f}(x_0) \neq \hat{g}(x_0)$. Таким образом, $\wedge : C^+(X) \rightarrow \Gamma(\varphi_x)$ – изоморфное вложение.

Лемма 1. Если X – тихоновское пространство, то пучок φ_x является факторным и соответствующее представление изоморфно.

Обратное утверждение не верно. Примером, подтверждающим это, является антидискретное пространство X мощности больше 1. Пучок полуколец над таким пространством является факторным, так как любое отображение из X в произвольное топологическое пространство непрерывно. Но антидискретное пространство не будет тихоновским, так как не является T_1 пространством.

Лемма 2. Пучок φ_x совпадает с пучком θ_x тогда и только тогда, когда φ_x – факторный пучок.

По максимальному идеалу $M_x = \{f \in C^+(X) \mid f(x) = 0\}$, $x \in X$, в $C^+(X)$ определим отношение конгруэнтности ρ_{M_x} :

$\forall f, g \in C^+(X) : f \rho_{M_x} g$, означает, что $\exists h(x) > 0$, что $fh = gh$.

Для любой функции $f \in C^+(X)$ ее класс конгруэнтности

$$[f]_{\rho_{M_x}} = \{g \in C^+(X) : \exists h \in C^+(X) (h(x) > 0 \text{ и } fh = gh)\}$$

Открытое семейство конгруэнций (ρ_{M_x}) по всем $x \in X$ порождает факторный пучок ε_x полуколец $C^+(X)/\rho_{M_x}$ над X и соответствующее факторное представление $\alpha_2 : C^+(X) \rightarrow \Gamma(\varepsilon_x)$. Для любых $f, g \in C^+(X)$ и $x \in X$ имеем: $\alpha_2(f) = \hat{f}$,

$\hat{f}(x)=[f]_{\rho_{M_x}} \in C^+(X)/\rho_{M_x}$ и $\hat{f}(x)=\hat{g}(x)$ означает, что существует такая функция $h \in C^+(X)$, что $h(x) > 0$ и $fh = gh$.

Так как $\bigcap \{\rho_{M_x} : x \in X\}$ – это нулевая конгруэнция, то представление α_2 точно. Из факторности пучка следует полнота представления α_2 . Следовательно, α_2 – изоморфное представление полукольца $C^+(X)$ в пучке ε_x полуколец $C^+(X)/\rho_{M_x}$.

Лемма 3. Для любой точки $x \in X$ тихоновского пространства X конгруэнции $\rho(O_x)$ и ρ_{M_x} совпадают.

Предложение 1. Для любого тихоновского пространства X пучки θ_x , ε_x и φ_x совпадают и соответствующие функциональные представления являются изоморфными.

Тихоновость базисного пространства X дает совпадение всех трех пучков, поэтому далее будем рассматривать только тихоновские пространства и пучок φ_x .

Очевидно, что в каждой точке $x \in X$ слой пучка является коммутативным, аддитивно сократимым полукольцом $C^+(X)_x$ с единицей. Далее перечислим структурные свойства полукольца $C^+(X)_x$ в зависимости от вида точки x .

Напомним, точка x пространства X называется *Р-точкой*, если для любой функции $f \in C^+(X)$ из $x \in Z(f)$ следует $x \in Z^0(f)$. Точка x пространства X называется *Е-точкой*, если для любых функции $f, g \in C^+(X)$ из того, что точка $x \in Z^0(f \cdot g)$, следует что $x \in Z^0(f)$ или $x \in Z^0(g)$.

Предложение 2. Для любой точки $x \in X$ эквивалентны следующие утверждения: 1) x – Р-точка; 2) O_x – максимальный идеал в $C^+(X)$; 3) $C^+(X)_x \cong R^+$; 4) $C^+(X)_x$ – полуполе.

Доказательство. Очевидно, что $3 \Rightarrow 4$.

$1 \Rightarrow 2$. Пусть x – Р-точка и M_x . Для доказательства максимальности идеала O_x , надо показать, что $O_x = M_x$. Любая функция f из M_x будет равна нулю не только в точке x , но и в некоторой ее окрестности U . Следовательно, $f \in O_x$. В силу произвольности f получим $O_x \subseteq M_x$.

$2 \Rightarrow 3$. Рассмотрим отображение $\varphi: C^+(X)_x \rightarrow R^+$, при котором $\varphi([f]) = r$, и докажем что φ является изоморфизмом. Пусть $\varphi([f_1]) = r_1$ и $\varphi([f_2]) = r_2$. Очевидно, что если $r_1 = r_2$, то $f_1 = f_2$ на некоторой окрестности, то есть $[f_1] = [f_2]$. Значит, φ инъективно. Функция-константа r , принимающая в каждой точке пространства X фиксированное значение $r \in R^+$, порождает класс конгруэнтности $[r]$. Очевидно, что $\varphi([r]) = r$. Значит, φ сюръективно. Так как φ сохраняет операции сложения и умножения то φ является гомоморфизмом. Следовательно, φ – изоморфизм.

$4 \Rightarrow 1$. Предположим от противного, что $f \notin O_x$. Тогда $[f] \neq 0$ в полуполе $C^+(X)_x$, поэтому $[f] \cdot [g] = [1]$ для $g \in C^+(X)$. Имеем $f \cdot g \rho(O_x) 1$, то есть $f \cdot g = 1$ на некоторой окрестности точки x . Следовательно, $f(x) \neq 0$. Противоречие.

Предложение 3. Для любой точки $x \in X$ эквивалентны следующие утверждения: 1) x является F -точкой; 2) O_x – простой идеал в $C^+(X)$; 3) полукольцо $C^+(X)_x$ мультипликативно сократимо; 4) $C^+(X)_x$ – полуполе.

Доказательство. Очевидно, что $1 \Rightarrow 2$.

$2. \Rightarrow 3$. Пусть выполняется $[f] \cdot [h] = [g] \cdot [h]$ для произвольных $[f], [g], [h] \in C^+(X)_x$, $h \notin O_p$. Отсюда имеем $[f \cdot h] = [g \cdot h]$. Рассмотрим функцию $|f - g| \cdot h$, которая равна нулю на окрестности U точки x . Так как x – это F -точка, то из того, что $x \in Z^0(|f - g| \cdot h)$ следует $x \in Z^0(|f - g|)$ или $x \in Z^0(h)$. Но $h \notin O_p$, следовательно, $|f - g| \in O_p$, то есть $|f - g| = 0$ на окрестности U точки x . Таким образом, $f|_U = g|_U$ и $[f] = [g]$.

$3. \Rightarrow 4$. Выполняется в любом полукольце.

$4. \Rightarrow 1$. Пусть полукольцо $C^+(X)_x$ без делителей нуля, то есть если $x \in Z^0(f \cdot g)$, то $x \in Z^0(f)$ или $x \in Z^0(g)$ для любых $f, g \in C^+(X)$. А это означает, что x является F -точкой.

Предложение 4. Тихоновское пространство X является P -пространством (F -пространством) тогда и только тогда, когда слои пучка ростков над X изоморфны полуполе $\mathbb{R}^+$ (являются полукольцами без делителей нуля).

Это предложение вытекает из предложений 2 и 3.

Список литературы:

1. Варанкина В. И., Вечтомов Е. М., Семенова И. А., Полукольца непрерывных неотрицательных функций: делимость, идеалы, конгруэнции // Фундам. и прикл. математика. 1998. Т. 4, № 2. С. 493-510.
2. Шалагинова Н. В. Три пучка полуколец непрерывных функций // Казань, Труды Математического центра имени Н. И. Лобачевского: Материалы Девятой молодежной научной школы-конференции «Лобачевские чтения – 2010». 2010. Т. 40. С. 367-372.
3. Vechtomov E. M. Rings of continuous functions with values in topological division ring // J.Math.Sci. 1996, V. 78, № 6, P. 702-753.

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

05.02.13

**А. С. Алехин, С. Н. Алехин к.т.н., С. П. Петросов д.т.н.,
В. Г. Фетисов д.ф.-м.н., И. В. Фетисов**

Южно-Российский госуниверситет экономики и сервиса,
факультет механико-радиотехнический,
кафедра машины и аппараты бытового назначения,
Россия, Шахты,
alex_cn@mail.ru

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ АМПЛИТУД СЛУЧАЙНЫХ КОЛЕБАНИЙ ПОДВЕСНОЙ ЧАСТИСТИРАЛЬНЫХ МАШИН ПРИ ОТЖИМЕ

В работе приведены результаты использования методики определения эксцентриситета центра масс изделий при теоретическом исследовании случайных колебаний подвесной части стиральных машин барабанного типа.

Ключевые слова: виброактивность стиральных машин, случайные колебания, эксцентриситет центра масс изделий, виброперемещения подвесной части.

Стиральные машины барабанного типа являются одними из наиболее виброактивных изделий, связанных с обработкой текстильных материалов и применяемых в коммунальном хозяйстве, на предприятиях-прачечных и в целом в сфере сервиса. Характерной особенностью динамики процесса стиральных машин при отжиме является случайный характер колебаний, обуславливаемый неравномерным распределением текстильных изделий по обечайке стирального барабана.

Анализ работ показал, что использовались в основном дискретные методы математического моделирования колебаний, а учет случайного фактора формирования внешних воздействий изучен недостаточно.

В частности, в [3] справедливо отмечается, «...что классические детерминированные возмущения не являются основными, а методы классической механики, основанные на понятии детерминизма, не являются достаточными для понимания и объяснения физических эффектов, возникающих при работе приборов, находящихся на движущихся объектах...», а также «...когда на систему действуют только случайные возмущения, классические методы расчета становятся неприемлемыми и для получения численных результатов надо использовать вероятностные методы».

Такая постановка задачи приводит к необходимости разработки новых вероятностных методов исследования динамики стиральных машин при отжиме.

В работе [4] нами было показано, что одним из основных факторов, характеризующим неравномерность распределения изделий по обечайке стирального барабана, при случайных внешних воздействиях является эксцентриситет центра масс изделий относительно оси вращения барабана.

В некоторых публикациях приведены по определению эксцентриситета центра масс текстильных изделий при отжиме, однако, они не отражают случайный характер формирования внешних воздействий. Так, в работе [2] предложена следующая теоретическая оценка для определения эксцентриситета: $r_e \approx 0.04D_B$, где D_B – диаметр стирального барабан. Значения же эксцентриситета для конкретной модели стиральной машины при ограниченных режимных условиях экспериментально определены в работе [3]. Общим недостатком

вышеупомянутых рекомендаций по определению эксцентриситета во всех случаях является отсутствие учета условий случайного распределения изделий по обечайке барабана и соответственно формирования случайных внешних воздействий.

Данный недостаток не позволяет описать колебания подвесной части стиральных машин с требуемой точностью и выработать на основании этого эффективные предложения по снижению виброактивности машин при отжиге.

Для решения указанной проблемы авторами данной работы была разработана методика определения диапазона значений эксцентриситета центра масс изделий с учетом режимных параметров процесса отжима и конструктивных параметров стирального барабана. Методика предусматривает определение величины эксцентриситета r_e по формуле:

$$r_e = \frac{d_o^2 \cdot l_{oo_1}}{D_B^2 - d_o^2}, \quad (1)$$

где D_B – диаметр барабана, d_o – диаметр окружности с центром O_1 сечения свободного пространства, образованного текстильными изделиями (бельем) при отжиге; l_{oo_1} – расстояние между осью вращения барабана с центром окружности O и центром окружности O_1 сечения свободного пространства, образованного изделиями.

Входящие в формулу (1) параметры определяются из следующей зависимости:

$$V_{oi}^{(1)} = 0.0133m_{oo} \left(0.4545 + 0.5461e^{-0.00103p_i} \right), \quad (2)$$

где V_{oi} – объем изделий в барабане в течение процесса отжима; m_{oo} – масса изделий в сухом состоянии; p_i – давление на изделия в барабане при отжиге, определяемое центробежными силами.

В результате были получены диапазоны возможных случайных значений эксцентриситета для различной массы изделий при отжиге в стиральной машины Electrolux EWS 1105. В качестве примера на рис. 1 показан диапазон и математическое ожидание возможных случайных значений эксцентриситета при загрузке барабана изделиями массой 2 кг.

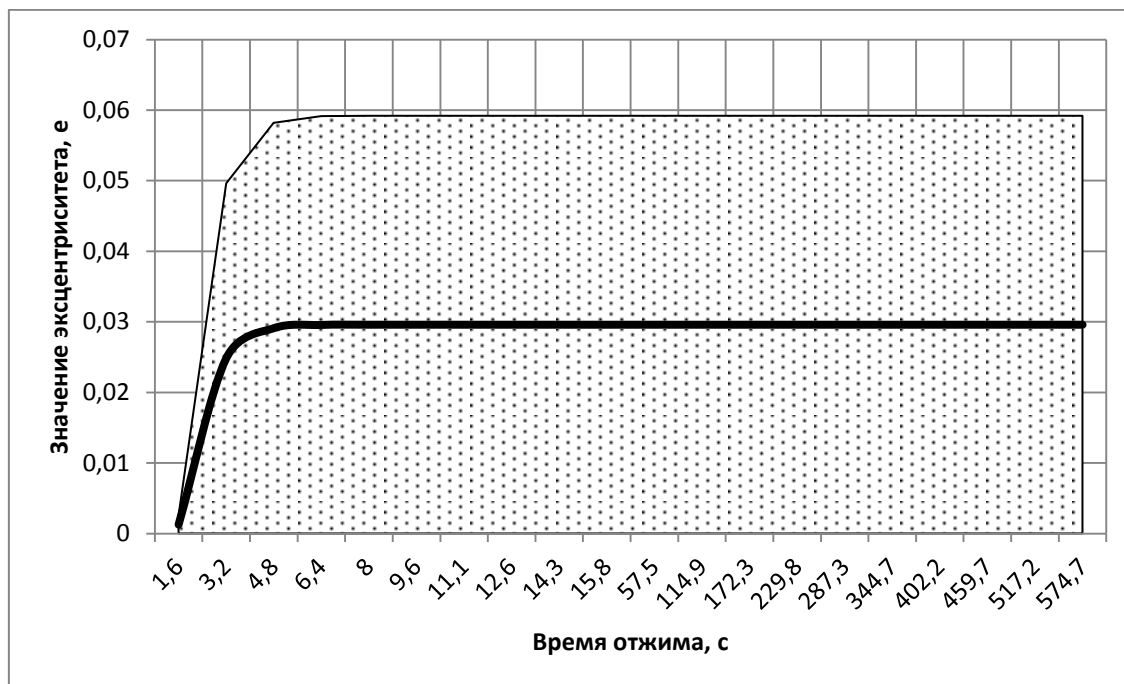


Рис. 1- Диапазон и математическое ожидание возможных случайных значений эксцентриситета при загрузке барабана изделиями массой 2 кг.

Ниже, на рис. 2 показаны графики значений математического ожидания эксцентриситета при различных величинах массы изделий в течение периода отжима.



Рис. 2- Графики значений математического ожидания эксцентриситета при различных величинах массы изделий.

Расчетные графики показывают, что с увеличением массы изделий происходит снижение значений эксцентриситета.

Зная диапазон случайных значений эксцентриситета для заданных величин массы изделий, размеров стирального барабана и частоты его вращения, возможно определение случайных внешних воздействий на подвесную часть стиральных машин. С учетом последнего соображения, определим значения амплитуд колебаний подвесной части при отжиме в стиральной машине Electrolux EWS 1105 с известными параметрами системы подвески.

На рис. 3 и 4 приведены расчетные графики колебаний подвесной части стиральных машин в течение процесса отжима при различных значениях массы обрабатываемых изделий, где на рис. 3 показаны виброперемещения вдоль вертикальной оси, а на рис. 4 – виброперемещения вдоль горизонтальной оси.

Полученные расчетным путем значения амплитуд колебаний и поведение кривых вполне согласуются с результатами экспериментальных исследований динамики стиральных машин барабанного типа при отжиме, где средняя ошибка аппроксимации составила 5.2 %.



Рис. 3- Виброперемещения подвесной части стиральных машин при отжиге вдоль вертикальной оси.



Рис. 4 - Виброперемещения подвесной части стиральных машин при отжиге вдоль горизонтальной оси.

Таким образом, предварительный анализ полученных в данной работе результатов теоретических исследований позволяет сделать вывод о том, что разработанная авторами методика определения эксцентриситета центра масс текстильных изделий с учетом режимных параметров процесса стирки и конструктивных параметров стирального барабана может служить базовой основой для исследования синтеза стиральных машин на более высоком уровне и снижения виброактивности их подвесной части.

Список литературы:

1. *Алехин С.Н.* Теоретические и экспериментальные исследования динамики стиральных машин барабанного типа: дис. канд. техн. наук: 05.02.13 – М., 2000. – 290 с.
2. *Лебедев В. С.* Расчет и конструирование бытовых машин и аппаратов бытового назначения – М.: Лёгкая и пищевая промышленность, 1982. – 328с.
3. *Светлицкий В.А.* Статистическая механика и теория надежности. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. – 504 с.
4. *Фетисов И.В., Алехин С.Н., Алехин А.С.* Асимптотика поведения эксцентриситета центра масс изделий при отжиге // Города России: проблемы строительства, инженерного обеспечения, благоустройства и экологии: сборник статей XII Международной научно-технической конференции МНИЦ ПГСХА.– Пенза: РИО ПГСХА. – 2010.– 149-152.

С. В. Бабин к.т.н., В. В. Хренов

«МАТИ» - Российский Государственный университет им.
К.Э.Циолковского, Ступинский филиал,
кафедра авиационные двигатели и энергетические установки,
Россия, г. Ступино,
sfmatihbb@mail.ru

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАЩИТНОГО ПОКРЫТИЯ ДЛЯ УГЛЕРОД-УГЛЕРОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ

В настоящей статье представлен обзор существующих покрытий для защиты углерод-углеродных материалов (УУКМ). Установлены основные требования к защитным покрытиям для УУКМ. Разработано защитное покрытие, обеспечивающее коррозионно-эрозионную защиту для УУКМ. Экспериментально доказано, что композиционное покрытие более работоспособно, чем ранее предложенные.

Ключевые слова: углерод-углеродный композиционный материал (УУКМ), коэффициент термического линейного расширения (КТЛР), эрозия.

Проблема создания и внедрения в практику высокотемпературных защитных покрытий для углерод-углеродных композиционных материалов продолжает оставаться актуальной в связи с имеющейся потребностью авиационной промышленности в материалах, способных работать при высоких температурах, сохраняя прочность.

Сложность создания покрытий для таких материалов, заключается в специфических свойствах самого углерода, таких как высокая активность взаимодействия с другими материалами при высоких температурах, низким коэффициентом термического расширения, высокой окисляемостью, начиная с температур порядка 200-300⁰С.

Слой покрытия, контактирующий с углеродом должен обладать рядом свойств. Основные требования к покрытию следующие:

- 1) Высокая адгезия к углеродной основе;
- 2) Химическая стабильность материала при длительном контакте с углеродом в условиях высокой температуры;
- 3) Слабая диффузия углерода через демпфирующий слой при эксплуатации покрытия.

Многие ученые сейчас трудятся над решением этих проблем и созданием оптимальной конструкции защитного покрытия для УУКМ, например, в работе [1] предлагается повысить стойкость к окислению УУКМ путем нанесения многослойных покрытий карбид кремния/силикат иттрия/стекло. При нанесении данного вида покрытия использовалась технология уплотнительного цементирования, плазменного напыления и спекания. В течение множества исследований установлено, что покрытия из карбида кремния являются лучшим связующим слоем между УУКМ и внешним керамическим слоем.

В работе [2] предлагается способ осаждения эффективного многослойного защитного покрытия на УУКМ. По утверждению авторов лучшим материалом покрытия для защиты УУКМ является силикат иттрия. В связи с этим авторами предлагается следующая структура покрытия:

- первый слой содержит частицы дисульфида молибдена в содержащем барий и бор алюмосиликатном стекле;
- второй (внешний) слой состоит из модифицированного окисью иттрия указанного выше алюмосиликатного стекла.

Добавление в алюмоборосиликатное стекло частиц MoSi_2 (внутренний слой) и Y_2O_3 (внешний) позволяет повысить вязкость стеклянного покрытия. Вероятно данное покрытие обеспечивает необходимую защиту углеродных материалов, но в отсутствии эрозионного воздействия, так как размягчение стекла при высокой температуре неизбежно приведет к эрозионному износу покрытия.

В работе [3] для того, чтобы максимально эффективно использовать свойства УУКМ разработано противоокислительное покрытие, произведенное по методу двух этапной цементации в аргоновой атмосфере.

В результате проведенного анализа и экспериментов, для УУКМ, авторами настоящей статьи были предложены и исследовались на окисляемость следующие многослойные композиционные коррозионно-эрозионно стойкие защитные покрытия (таблица).

«Таблица» - Варианты многослойных композиционных термоэрозионностойких защитных покрытий на УУКМ

№ п/п	Состав покрытия
1	C-C+SiC+ Al_2O_3 +Стекло+ Al_2O_3 +Стекло
2	C-C+ Al_2O_3 +Бура
3	C-C+ZC+NiO
4	C-C+SiC+Бура+NbC+C $_2$ O $_3$ +Al+ Al_2O_3
5	C-C+SiC+Стекло+ Al_2O_3
6	C-C+SiC+Бура+NbC+C $_2$ O $_3$ +Al+ Al_2O_3 в печи
7	C-C+SiC+шпинель+10%Al
8	C-C+SiC+ Al_2O_3
9	C-C+SiC в печи без покрытия

Исходя из того, что защитное покрытие на УУКМ должно работать в агрессивной среде, которой являются, продукты сгорания авиационных топлив и соли, заносимые в двигатель из окружающей среды. А так же высокие температуры и скорости газового потока. Все это формирует высокие требования к защитному покрытию на УУКМ.

Поэтому покрытие должно быть многослойным и выполнять все требованиям к условиям эксплуатации, обеспечивающим защиту УУКМ от окисления и эрозионного износа. Авторами предлагается следующая структура покрытия (рис. 1).

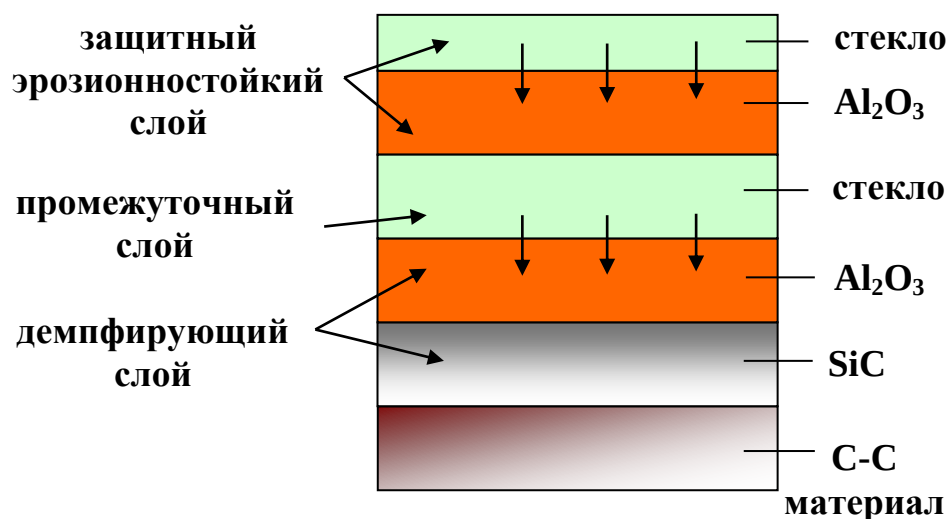


Рис. 1- Схема защитного покрытия.

Требованиям к демпфирующему слою наилучшим образом удовлетворяет карбид кремния (SiC). Как правило, демпфирующий слой получают либо диффузионным методом, либо химическим осаждением.

В качестве материала для защитного покрытия (для работы до 1300 °С) можно взять Al_2O_3 в комбинации с легкоплавким боросиликатным стеклом. Al_2O_3 устойчив в воздушной окислительной среде, а боросиликатное стекло обеспечивает закрытие пористости и увеличивает ресурс защитного слоя. Температурная область применения Al_2O_3 ограничивается температурой плавления равной 2040°С и температурой начала твердофазной реакции между углеродом и оксидом. Эта температура равна 1650°С, что вполне удовлетворительно.

Для промежуточного слоя используется легкоплавкое боросиликатное стекло, обеспечивающее закрытие пор в демпфирующем слое и залечивание трещин в случае растрескивания эрозионно-стойкого защитного покрытия.

Композиционное покрытие получают методом плазменного напыления (слои Al_2O_3) и шликерным методом (слои стекла).

Такая схема нанесения защитного покрытия показала себя наилучшей при испытаниях на опытной установке с точки зрения термоэрозионной стойкости (рис. 2.). На данном рисунке представлены результаты испытаний образцов с защитными покрытиями на УУКМ, предложенные в таблице.

Оценка защитных свойств покрытия проводилась методом сравнительных испытаний. Для этого образцы из C/C материала с покрытием, имеющие размеры 20×20×5 мм, помещались в установку, где подвергалась испытанию в потоке продуктов сгорания бензина при температуре (1000-1200)°С в течение 12 часов. Испытания проводились при скоростях потока 20-25 [м/с] и коэффициенте избытка воздуха (4,5-5,5).

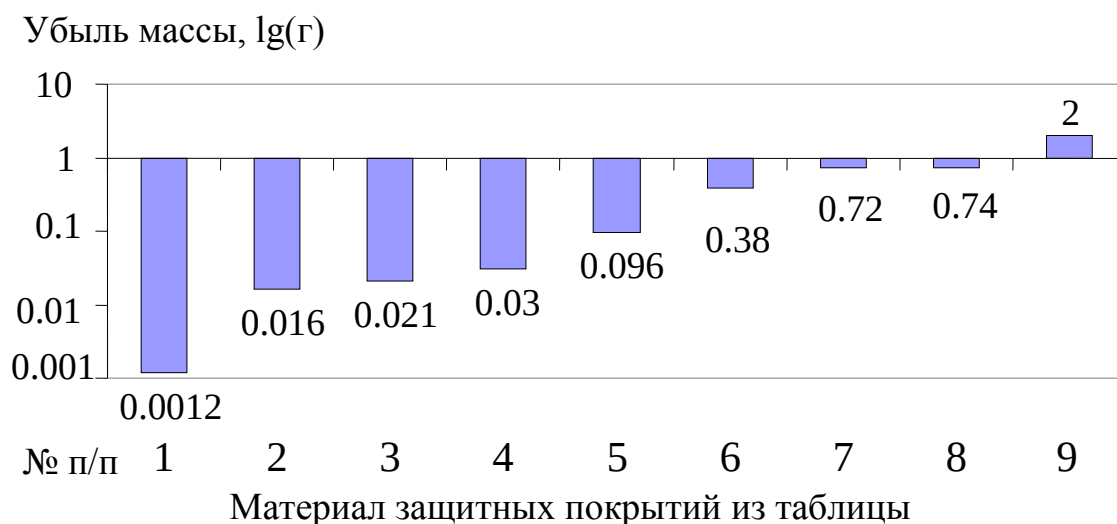


Рис. 2- Результаты сравнительных испытаний УУКМ с защитными композиционными покрытиями.

Выводы

В результате проведенного анализа и экспериментов для углерод-углеродных материалов предлагается следующее композиционное, многослойное термоэрозионностойкое покрытие:

- эрозионностойкий слой – Al_2O_3 +Стекло
- промежуточный слой – Стекло
- демпфирующий слой – $\text{SiC}+\text{Al}_2\text{O}_3$

Результаты сравнительных испытаний в потоке продуктов сгорания углеводородов, показали возможность защиты углерод-углеродных материалов от окислительной среды и эрозионного воздействия газового потока. Массовый унос материала образца №1 составил $1,2 \cdot 10^{-6}$ [кг] за 20 часов испытаний, тенденции к росту уноса массы не отмечено, что свидетельствует о залечивании пор и трещин и стабилизации свойств покрытия.

В результате проведенных авторами исследований выяснено, что дальнейшее совершенствование свойств коррозионно-эрозионно стойкого покрытия необходимо вести, снижая температурные напряжения, возникающие в результате большой разницы в КТЛР между покрытием и основой.

Список литературы:

1. *Huang Jian-Feng, Li He-Jun, Zeng Xie-Rong, Li Ke-Zhi, Xiong Xin-Bo, Huang Min, Zhang Xiu-Lian, Liu Ying-Lou* A new SiC/yttrium silicate/glass multi-layer oxidation protective coating for carbon/carbon composites// *Carbon* – 2004. Vol. 42, Issue 11. P. – 2356-2359.
2. *Federico Smeacetto, Monica Ferraris, Milena Salvo* Multilayer coating with self-sealing properties for carbon–carbon composites// *Carbon*– 2003. Vol. 41, Issue 11. P. – 2105-2111.
3. *S Labruquère, H Blanchard, R Pailler, R Naslain* Enhancement of the oxidation resistance of interfacial area in C/C composites. Part II: oxidation resistance of B–C, Si–B–C and Si–C coated carbon preforms densified with carbon// *Journal of the European Ceramic Society* - July 2002. Vol. 22, Issue 7. P. 1011-1021.
4. *С.В. Михеев, Г.Б. Строганов, А.Г. Ромашин* Керамические и композиционные материалы в авиационной технике. -М.,: Альтекс, 2002.
5. *Варгилов Ю.С.* Конструкционные материалы на основе графита для термоядерных реакторов и их радиационная стойкость// *Физика и химия обработки материалов* - 1993 г. N2, С. 5-22.
6. *В.В.Кудинов, Г.В.Бобров* Нанесение покрытий. Теория, технология и оборудование. - М.: Металлургия, 1992.

**М. И. Барабанов, А. И. Кобрунов д.ф.-м.н., С. Г. Куделин, В. Е. Кулешов к.т.н.,
С. В. Шилова к.т.н.**

Ухтинский государственный технический университет — «УГТУ»
Россия, Ухта,
skudelin@ugtu.net

ТЕХНОЛОГИЯ СОЗДАНИЯ ФИЗИКО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ СРЕД НА ОСНОВЕ ПОСТРОЕНИЯ ОПТИМАЛЬНЫХ РЕШЕНИЙ ОБРАТНЫХ ЗАДАЧ

В работе описывается технология моделирования сложных сред на основе методов интегрированной инверсии. Рассматриваются основные принципы разработки программного комплекса создания и поддержки сбалансированных физико-геологических моделей среды «GeoVIP», а также его функциональные возможности.

Ключевые слова: геофизическая инверсия, физико-геологическая модель, программный редактор «GeoVIP».

Понятие модели среды является центральным в процессе интерпретации геолого-геофизических данных и наиболее употребительным при характеристике ее результатов. В то же время разнообразие смыслов, вкладываемых в это понятие, столь велико, что зачастую различные взгляды оказываются взаимоисключающими. В этом, собственно, не было бы ничего отрицательного, если бы создатели методов интерпретации и пользователи различных интерпретационных технологий корректно определяли используемые понятия моделей и, самое главное, их отношение к «реальной» геологической и физико-геологической модели среды. Смещение этих понятий может вести и ведет к заведомо ошибочным представлениям об отношении полученных «моделей среды» к «моделям реальной среды» и, как следствие, к неверным выводам и рекомендациям по результатам геологической интерпретации. Подобных примеров можно привести очень много. Целый их пласт приведен в работе Жирнова А.М.[1]. Смещение это зачастую выполняется сознательно, в расчете на невладение геологами математическим аппаратом и теоретическими результатами, составляющими суть методов, маскируется некоторыми «заковыристыми» названиями предлагаемых технологий обработки, как, например, «гравитационное зондирование», «гравитационная томография» и прочие. Типичной является следующая последовательность: результатом работы технологической схемы решения обратных задач, выполняемых геофизиком, служит распределение некоторого эффективного параметра, являющегося на самом деле трансформацией поля и отнесенного к координатам точек исследуемого участка геологической среды. Возможно, это распределение даже приведено к размерности соответствующего физического параметра, например, плотности или электропроводности. Далее оно передается геологу как результат геофизической интерпретации, зачастую без раскрытия истинной сути полученного результата. Эта компонента, выраженная в терминах распределения физического параметра, что само по себе является привлекательным для геолога обстоятельством, рассматривается как соответствующая компонента (естественно приближенная) реальной физико-геологической модели среды – ее приближенное описание, и на этом основании делаются далеко идущие геологические выводы. Например, в монографии «Литосфера Тимано-Североуральского региона»[2] делаются выводы о строении нижней коры региона, опирающиеся на выделенные плотностные неоднородности в коре «методом

гравитационного зондирования». Метод гравитационного зондирования — несомненно полезный прием оперативного анализа гравитационного поля, но для подобных выводов требуется также выполнить проверку на гравитационную сбалансированность — а это серьезное моделирование, требующее уже иных технологий, затрат сил и ресурсов. Ошибка состоит в том, что связь между компонентами реальной физико-геологической модели и построенными распределениями параметров (даже тех, нахождение которых единственно) должна обосновываться, а не приниматься на основе совпадения размерностей, туманных рассуждений о единственности восстановления особых точек поля, подменяющих понятие особой точки среды на особую точку поля. Утверждения типа «полученная модель отражает основные характерные черты строения среды» без доказательств этому — грубая ошибка, которая отражает чаще всего лишь пожелания, но не факт, и вводит в заблуждения, примеров которым много. Это обоснование — очень серьезная задача, оно никак не следует даже из единственности реконструкции параметров, и уж тем более из совпадения размерностей найденного и требуемого параметров.

В этой связи в разрабатываемой технологии редактирования физико-геологических моделей упор сделан на построении оптимальных адекватных реальным геологическим представлениям моделей сред при условии соблюдения геофизических полей. Это требование выступает как дополнительное к содержательной оптимальности модели. Критерий оптимальности многокомпонентен и включает в себя различные по свойствам и происхождению элементы информации о характере модели изучаемой среды. Он содержит информацию о генезисе изучаемого объекта, что выражено во введении в критерий оптимальности уравнений геодинамики, связей между моделями различного физического наполнения, что выражается в виде требований максимизации характеристик взаимной корреляции между моделями разного класса, требований близости различных компонент модели к принятым нулевым приближениям с учетом ранжирования предпочтений и достоверности построения этих элементов, ограничений и условий соблюдения других геофизических полей. Введение такого интегрированного критерия оптимальности приводит к тому, что получаемая в результате его оптимизации модель с поправкой на условие соблюдения поля оказывается содержательной и наилучшей из всех возможных для введенных компонент информации. Теоретические основы используемых методов изложены в работах [3], [4] и состоят в решении задачи:

$$A[\sigma(v)] = u(s_0);$$

$$\Xi[\sigma(v), v] = 0;$$

$$\sigma(v) \in M;$$

$$J[\sigma(v)] \rightarrow \min.$$

Здесь $A[\sigma(v)] = u(s_0)$ — уравнение определяющее требование соответствия модели $\sigma(v)$ заданному полю $u(s_0)$; $\Xi[\sigma(v), v] = 0$ — геодинамические уравнения, ответственные за соответствие модели результатам действия геодинамических процессов, с параметром V . Чаще всего это уравнение движения вещества с вектором скорости V . Требование $\sigma(v) \in M$ ограничивает класс рассматриваемых моделей многообразием M , и требование $J[\sigma(v)] \rightarrow \min$ фиксирует оптимизационные принципы для искомой модели среды, включая корреляционные зависимости с другими моделями и ранжированные меры уклонения от заданной начальной модели.

Совместность условий и разрешимость задачи обеспечивается рассмотрением на вычислительном этапе их приближенных аналогов. Как видно из приведенной постановки, главной компонентой в реконструкции модели служат требования ее соответствия данным о строении — генезисе, связи с другими моделями, оптимальности нулевого приближения и,

собственно, требование удовлетворения полноты носит характер заключительного «штриха», обеспечивающего сбалансированность всей этой многокомпонентной и разнородной информации.

Для того чтобы обеспечить соблюдение этих требований на этапе построения и редактирования физико-геологических моделей, коллективом лаборатории математического моделирования в науках о Земле разрабатывается технология создания и поддержки геолого-геофизических моделей среды, включающая в себя комплекс программ двумерного и трехмерного моделирования на основе файлового хранилища данных. Подобный инструмент позволит применить современные алгоритмы моделирования сложнопостроенных сред, а также объединить функциональность ряда программных продуктов, разработанных в том числе и в Ухтинском государственном техническом университете, в едином программном комплексе. На данный момент для решения подобных задач в УГТУ используется набор независимых программ. К ним относятся GCIS (Geophysical Complex Interpretation System, система комплексной интерпретации геофизических данных), программы для векторизации растровых карт, инженерные математические пакеты, системы построения геологических карт. Создание единого программного комплекса обеспечит полноценное плоское и трехмерное геолого-геофизическое моделирование месторождений углеводородов без издержек на конвертирование и передачу данных, а также позволит проводить интерпретацию геофизических данных. Обычно для интер- и экстраполяции данных в подобных программных комплексах используются заранее определенные стохастические алгоритмы, не учитывающие априорные геологические данные и геофизические поля. Одна из задач данного проекта — создание алгоритмов и программного обеспечения, позволяющих выполнять взаимную увязку и аппроксимацию интегрированных моделей на основе геофизической инверсии.

Основой создаваемого комплекса программ служит редактор физико-геологических моделей GeoVIP, разработанный коллективом лаборатории математического моделирования в науках о Земле УГТУ. Редактор состоит из набора модулей, объединенных общей базой данных и единой программной оболочкой. При проектировании редактора были проанализированы аналоги и выделены основные модули (рис. 1).

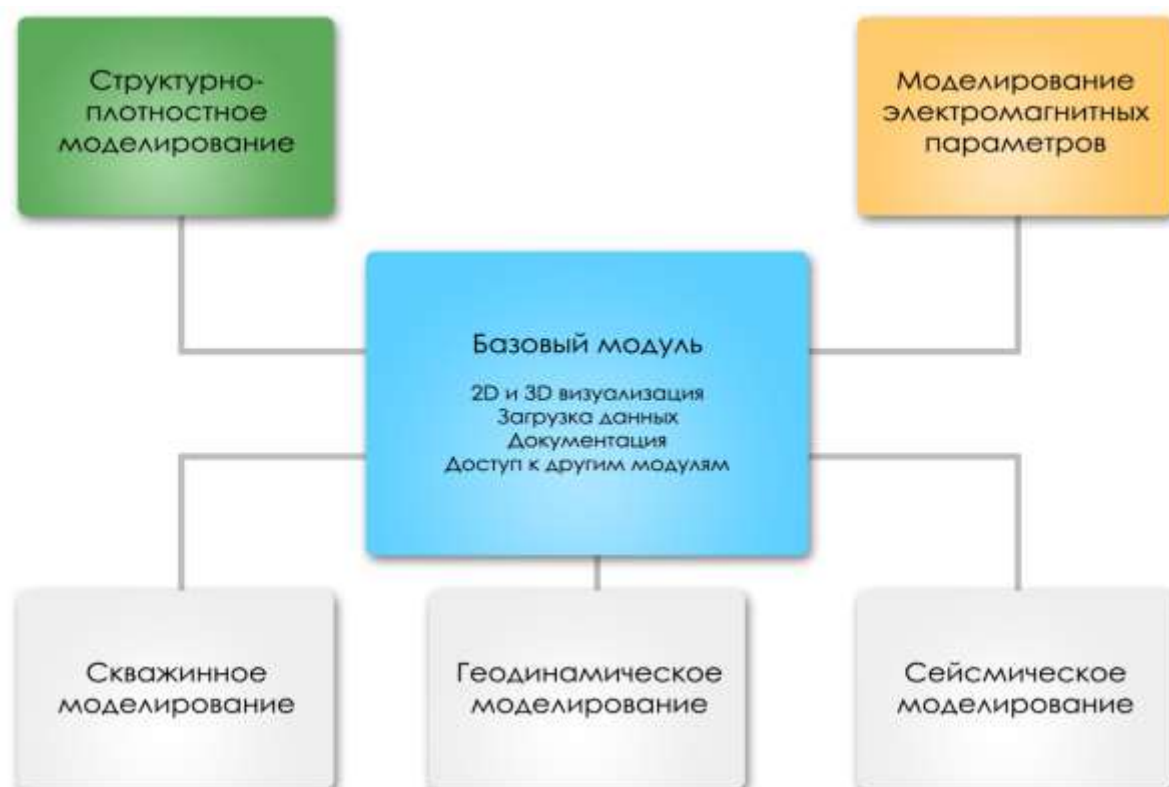


Рис. 1 — Модульная структура программного редактора «GeoVIP».

В блоке описания структуры основного модуля предполагается ввод пользователем всех исследуемых геологических объектов (профилей, пластов, структурных карт и других) с обозначением проведённых исследований (сейсмических разрезов по профилям, электрометрических моделей, скважинных исследований и прочих) по этим объектам. После этого соответствующие модули позволяют заполнить эти элементы данными и сохранить их в едином пространстве данных для дальнейшей обработки, а также провести необходимые операции над ними. Основой программного комплекса служит база данных для хранения иерархии исследований, результатов исследований, расчетов и параметров моделей. Для поддержки базы данных используется СУБД Microsoft SQL Server 2008 Express Edition, обеспечивающая целостность, доступность и резервирование данных. Данные могут быть импортированы из других систем и экспортированы в многочисленные форматы, при этом база данных является общим хранилищем, на основе которого строится комплексная модель геолого-геофизической среды.

Также реализованы базовые модули ввода данных и параметров моделей, обработки и визуализации для структурных геолого-геофизических моделей сред (рис. 2).

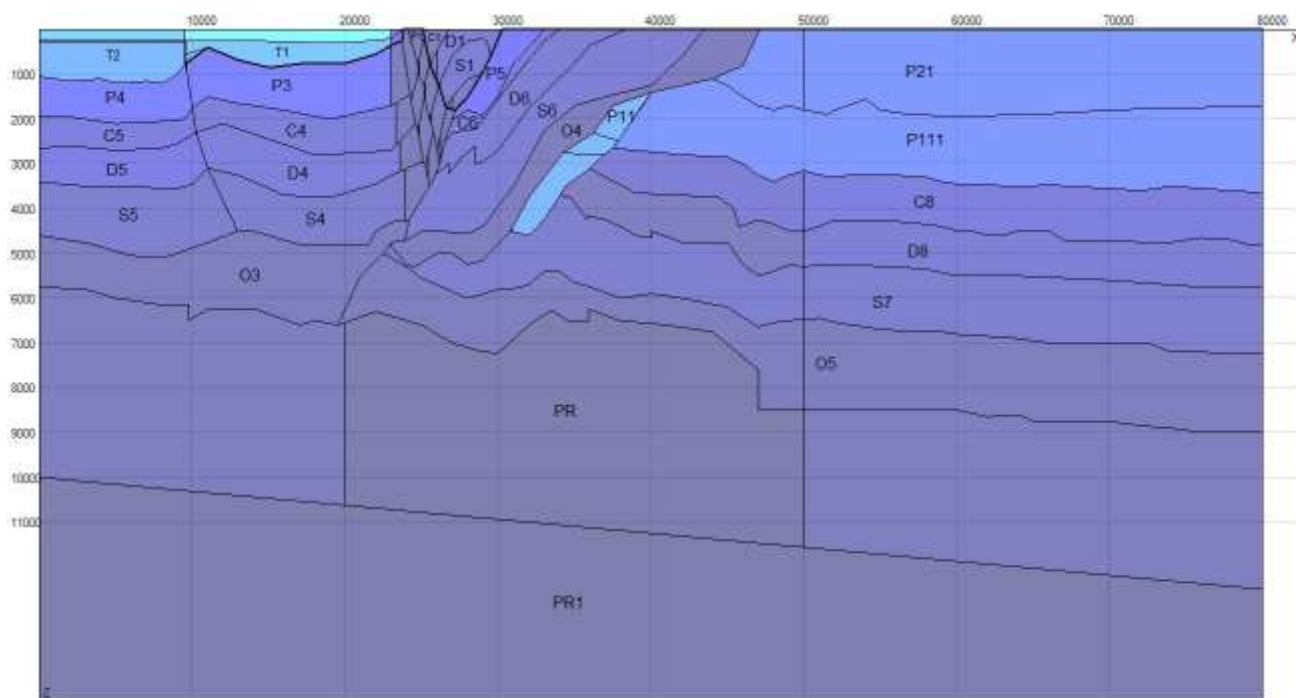


Рис. 2 — Визуализация 2D профиля в GeoVIP на примере гряды Чернышева — структурно-плотностная модель с обозначениями горизонтов.

Поддерживается множество форматов хранения геолого-геофизических данных. Результаты исследований хранятся в общем пространстве данных, формируя комплексную модель среды наряду с рассчитанными параметрами. В едином пространстве данных можно вести речь о комплексной геолого-геофизической модели среды. Она формируется для объекта исследований на основе опорных данных с помощью алгоритмов построения модели, включающих процедуры интерполяции, расчёта значений параметров в произвольной точке, преобразования пространственных координат и алгоритмы создания полноценной трёхмерной модели. При включении в модель новых данных происходит частичный или полный (в зависимости от вида данных) пересчёт модели, проверка и согласование параметров. Из комплексной модели можно выделить произвольный слой или срез для получения частной модели и экспорта в один из форматов.

Поскольку современные технологии интерпретации и моделирования подразумевают возможность работы с полноценной трёхмерной моделью, в комплекс включена возможность отображения и редактирования трёхмерных структурно-плотностные моделей исследуемых объектов, а также других моделей с распределёнными параметрами. Загружая набор структурных карт и задавая характеристики среды, можно получить объёмную модель исследуемой площади. Реализован гибкий механизм отображения объектов, позволяющий выбирать те структуры, которые необходимо отобразить для текущей модели без постоянных затрат времени на создание и пересчёт трёхмерных объектов. Реализованы механизмы масштабирования объектов и детальной трёхмерной визуализации (рис. 3).

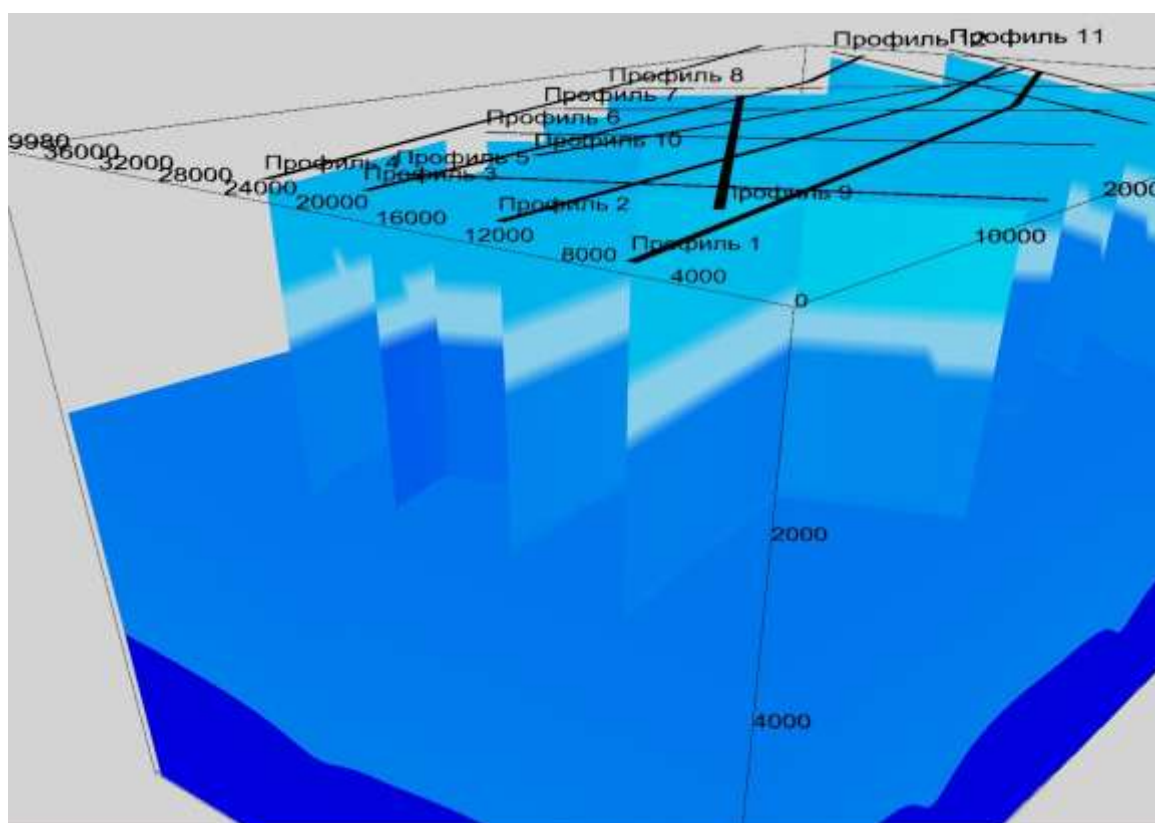


Рис. 3 — Трёхмерная визуализация аномальной зоны распределения плотностей, имеющий интерес для поиска УВ в пределах Геофизического месторождения.

Одной из особенностей программного комплекса является модуль электрометрического моделирования [5]. Этот программный модуль позволяет создавать модели распределенных электромагнитных параметров и решать прямую задачу магнитотеллурического зондирования, а также решать обратную задачу МТЗ в критериальной постановке.

В разработанный программный комплекс GeoVIP включен функциональный блок хранения и визуализации скважинной информации. В настоящее время в тестовом режиме отлаживается подсчёт запасов углеводородов по следующей схеме (рис. 4):

- 1) загрузка траекторий скважин;
- 2) загрузка структурных поверхностей;
- 3) загрузка данных по скважинам;
- 4) численная оценка ресурсов и подсчёт запасов по изучаемой территории.

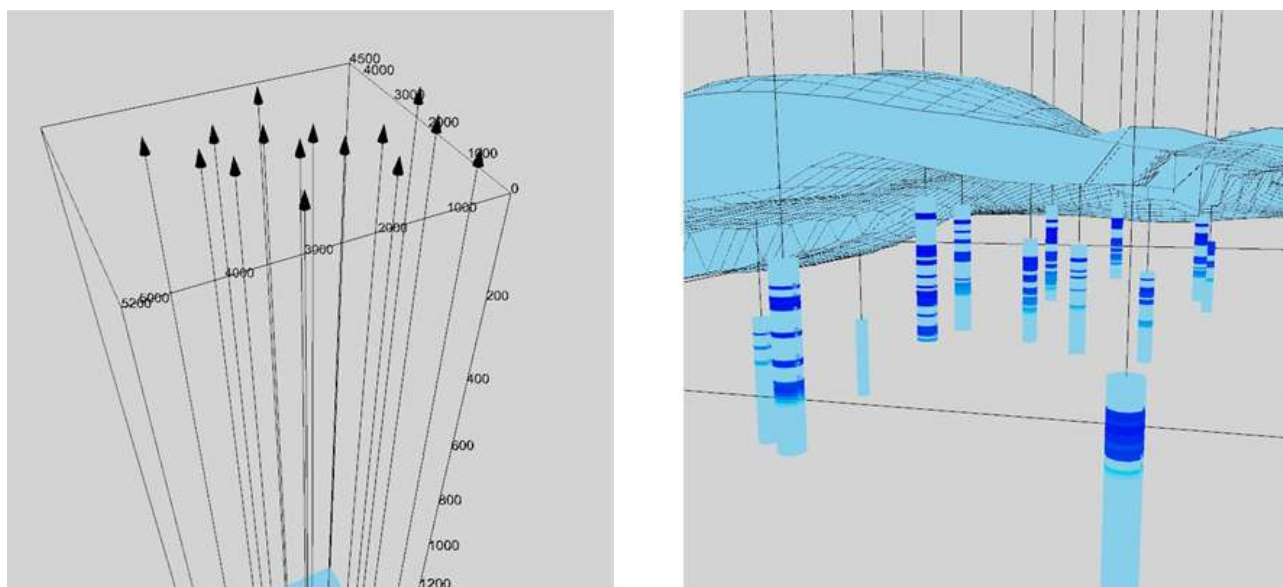


Рис. 4 — Трёхмерная визуализация траекторий скважин и распределения параметра нефтенасыщенности.

Программный редактор GeoVIP был апробирован на моделях перспективных на нефтегазоносность структур Баренцевоморского и Карского регионов, в качестве результатов были получены объемные структурно-плотностные модели месторождений.

Один из изучаемых объектов — Геофизическое месторождение, расположенное в пределах Центральной части Обской губы и приуроченное к одноименной структуре — характеризуется достаточно слабой изученностью. Несмотря на густую разбуренность добывающими скважинами, территория покрыта редкой схемой сейсмических профилей. Фактическим исходным гравиметрическим материалом послужили карты наблюденного поля силы тяжести Центральной части Обской губы масштаба 1:100 000 и 1:200 000, увязанные между собой, и структурные поверхности по основным отражающим горизонтам (ОГ), полученные в результате региональных исследований.

Реконструкция и уточнение геоплотностной модели Геофизического месторождения заключались в проведении интерпретационных процедур по следующей методологической схеме: на первом этапе, в профильном варианте, интерпретация проводилась на основе решения 2D обратной структурной задачи гравиразведки и обратной задачи гравиразведки в классе распределения плотностей. В качестве программной реализации была использована автоматизированная система GCIS, хорошо зарекомендовавшая себя при решении задач опоискования УВ сырья в условиях недостаточности геолого-геофизической информации. Следующий этап заключался в формировании объемной геоплотностной модели в разрабатываемом комплексном редакторе геолого-геофизических моделей «GeoVIP» на основе реконструированных на первом этапе двухмерных моделей.

Этот этап включил в себя:

- ввод в базу данных системы структуры объектов исследований (профилей, структурных карт и пластов с соответствующими пространственными параметрами);
- загрузку информации о модели для профилей (геометрия, плотностные характеристики);
- загрузку наблюденного и получение рассчитанного 2D гравитационных полей по всем профилям;
- интерполяцию структурной геометрии для формирования трёхмерной структурной модели на основе геометрии профилей участка с использованием геофизической инверсии;
- загрузку в базу данных структурных карт пластов Центрально-Обского участка;

- интерполяцию плотностных параметров для трёхмерной модели Геофизического месторождения (детализация 2D моделей) с использованием методов геофизической инверсии;

- создание трёхмерной структурно-плотностной модели месторождения.

Итак, на данном этапе разработки редактор геолого-геофизических моделей GeoVIP обеспечивает:

- 1) Импорт данных (данных исследований, исходных параметров моделей, потенциальных полей, характеристик моделей) из основных форматов хранения геолого-геофизических данных (GRID, ASCII GRID, dat, файлы системы GCIS[6]), а также скважинных исследований (LAS).

- 2) Хранение данных геофизических исследований, введённых и рассчитанных параметров моделей, а также геофизических полей в едином пространстве данных.

- 3) Отображение и редактирование плоских моделей структуры и распределения параметра по профилям, схемы профилей на модели изучаемой площади, структурных карт в формате GRID, а также трёхмерных структурно-плотностных моделей изучаемых объектов.

- 4) Формирование согласованных трёхмерных моделей.

- 5) Расчет распределения параметра для двумерной и трёхмерной моделей изучаемого объекта, а также по произвольному разрезу.

- 6) Расчет прямой задачи гравиметрии для структурно-плотностных моделей.

- 7) Корректирование модели в соответствии с результатами решения обратной задачи гравиметрии.

- 8) Экспорт моделей и результатов расчётов в файлы для дальнейшей обработки (файлы системы GCIS, grd, dat, графические форматы).

Работы над проектом продолжаются, планируется создание и подключение модулей сейсмического и скважинного моделирования, включения в программный комплекс разрабатываемых алгоритмов инверсной интерполяции и улучшение геологического и геодинамического моделирования, а также алгоритмов согласования параметров интегрированных моделей.

Работы выполняются при поддержке: Федеральной целевой программы "Научные и научно-педагогические кадры инновационной России 2009-2013 г.

Список литературы:

1. Жирнов А.М., 2009, О недостоверности метода вертикального гравитационного градиента μ_2 для исследования строения литосферы: Вопросы теории и практики геологической интерпретации гравитационных, магнитных и электрических полей. Материалы 36-й сессии Международного семинара им. Д.Г. Успенского: Казань, Изд-во казанского госуниверситета, 122—124.
2. Литосфера Тимано-Североуральского региона. Под редакцией А.М. Пыстина, А.И. Антошкина, Л.В. Махлаева, Сыктывкар 2008, Геопринт.
3. Кобрунов, А.И. Математические основы теории интерпретации геофизических данных [Текст]: учеб. пособие / А.И. Кобрунов. — Ухта: УГТУ, 2007.
4. Кобрунов А.И. Эволюционно-динамические принципы при реконструкции плотностных моделей седиментационных бассейнов. Геофизический журнал.-2004, №4, т. 26, стр.45—54.
5. Кобрунов А.И., Жаркой Г.С. О постановке и принципах решения обратных задач магнитотеллурического зондирования для сред с распределенными параметрами. Геофизика, 2010, No.4, С. 9-16.
6. ООО «Газфлот» — 10 лет на арктическом шельфе: Сб.статей/ Под общ. ред. А. Я. Манделя, Е.В.Захарова, В. А. Холодилова. — М.: ФГУП Изд-во «Нефть и газ» РГУ нефти и газа им. И.М.Губкина, 2004.-232с.

В. П. Бахарев к.т.н., Е. Е. Кнутова, П. Г. Шаповалов

«Московский государственный индустриальный университет»,
филиал в г. Кинешма,
кафедра технологии машиностроения
Россия, Кинешма
demonu_raz@mail.ru

ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ТЕХНИЧЕСКОЙ КЕРАМИКИ ПУТЕМ ПРИМЕНЕНИЯ ДОВОДКИ ПОВЕРХНОСТИ СВОБОДНЫМ АБРАЗИВОМ

Представлено исследование процессов финишной обработки изделий из вакуумплотной оксидной керамики ВК-100, определяющей показатели надежности изделий. Установлено существенное влияние структуры материала и показателей качества поверхности на прочность. Рекомендованы различные типы технологических сред финишной обработки для обеспечения требуемых показателей качества поверхности.

Ключевые слова: керамика оксидная, прочность, износостойкость, доводка алмазная, качество поверхности.

1. Постановка задачи исследования.

В настоящее время в технологически развитых странах совершенствование машиностроительных производств характеризуется тенденцией увеличения использования технической композиционной керамики для изделий различного функционального назначения. Эта тенденция обусловлена преимуществами композитов перед металлами и сплавами: доступностью сырья и экологической чистотой производства; малым удельным весом; низкой энергоемкостью и высокой коррозионной стойкостью и др. Наиболее широкое применение детали их керамических композиционных материалов находят в высоконагруженных конструкциях авиационной, космической техники, электротехники и электроники. Интенсифицируется внедрение композиционной керамики в двигателестроении, точных опорах скольжения, в технологии резания, в медицине и т.п.

Проведенные в последние годы исследования корреляции прочности с различными влияющими на нее факторами дали большой объем информации о прочности керамических материалов [1, 2]. Количественная сторона этой корреляции остается довольно неточной. Углубление наших представлений о структуре границ зерен и их влияние на прочность связано с внедрением в практику исследований атомно-силовой микроскопии.

Известна зависимость прочности керамики от пористости и размера зерна вида [1]:

$$\sigma_s = kd^{-\alpha} \exp(-bP), \quad (1)$$

где: σ_s – разрушающее напряжение, (МПа); K , α , b – константы;

d – средний диаметр зерна, (мкм); P – пористость, (%).

Для оксидной керамики типа «Лукалокс» ($Al_2O_3 - 100\%$) величина b составляет 4.0. Прочность большинства керамических оксидов зависит от состояния поверхности. В монокристаллах наличие надрезов или царапин на поверхности приводит к систематическому снижению прочности.

Прочность керамики типа «Лукалокс» изменяется в 2 раза с изменением качества обработки поверхности. В настоящей работе исследовано влияние качества поверхности изделий из керамики ВК-100 на прочность (таблица), а также методы достижения качества алмазной доводкой.

2. Результаты исследования.

Физико-механические и физические характеристики керамики ВК-100:

Плотность - $3.99 \cdot 10^3$, кг/м³; Предел прочности на изгиб - 280 МПа;

Модуль упругости – 390, ГПа; Пористость - 0.5-0.0, %;

Теплопроводность – 29, Вт/м·К; Удельная теплоемкость – 280, Дж/кг·К;

Температура плавления – 2050, °С.

Влияние качества поверхности на показатели прочности оценивалось с использованием специального приспособления, где реализовано осесимметричное нагружение исследуемой пластинки размером 48×60×1 мм. Приспособление позволяет исключить влияние краевых эффектов и нагрузить максимальную площадь наибольшими моментами (рис. 1).

Радиальные и кольцевые моменты для такой схемы нагружения определяются по следующим зависимостям:

$$\text{при } \rho = r \quad M_r = -\frac{P}{2\pi}(1+\nu)\left(\frac{R^2-r^2}{2R^2} + \ln \frac{r}{R}\right); \quad M_\theta = -\frac{P}{4\pi}(1+\nu)\left(\frac{R^2-r^2}{R^2} + \ln \frac{r}{R}\right)$$

$$\text{при } \rho = R \quad M_r = -\frac{P}{2\pi}\left(\frac{R^2-r^2}{2R^2}\right); \quad M_\theta = -\frac{P}{2\pi}\nu\left(\frac{R^2-r^2}{R^2}\right),$$

где: R, r – радиус зажима поверхности и пуансона соответственно.

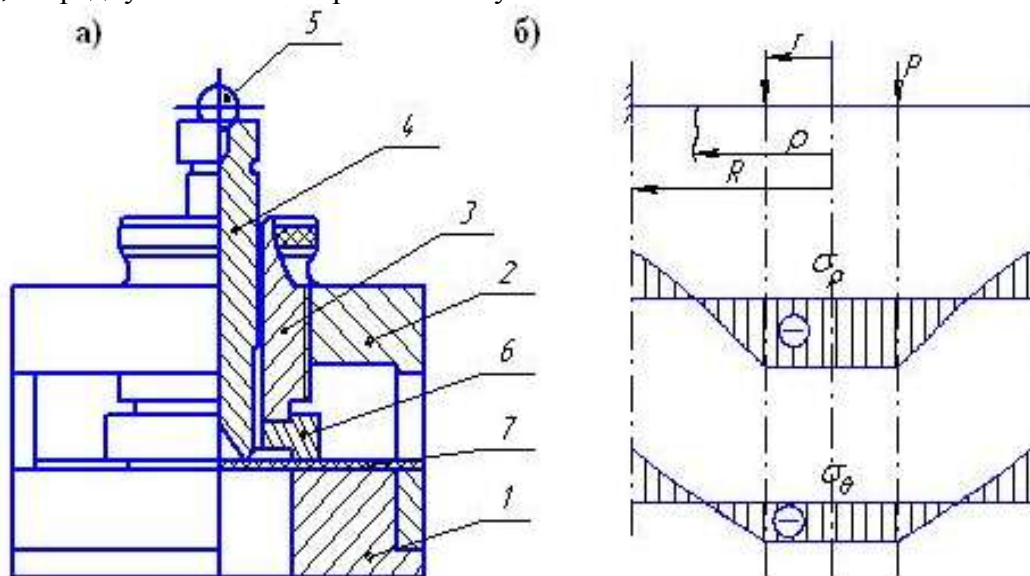


Рис. 1- Приспособление для осесимметричного нагружения пластинки

а) схема приспособления; б) эпюры изгибающих моментов

1 – основание; 2 – корпус; 3 – гайка; 4 – пуансон; 5 – шарик; 6 – кольцо;
7 – испытываемая пластинка.

Некоторое повышение прочности наблюдается на полированных образцах, что свидетельствует о существенном влиянии механической обработки на показатели надежности изделий из низкопористой керамики.

Таблица - Результаты испытаний пластинок на изгиб

Схема испытания	Положение пластинки	Кол-во, шт	Предел прочности, МПа	
			$\bar{\sigma}$	$\pm \Delta\sigma$
Осесимметричное нагружение	Полировка сверху	25	145	18
	Полировка снизу	18	158	10
	Полировка с двух сторон	18	166	10
Трехточечный изгиб	Полировка снизу	18	270	14
	Полировка с двух сторон	14	300	16

Установлены характер распределения размеров зерна керамики (рис.2), подчиняющийся усеченному нормальному распределению, и корреляция этих показателей с распределением параметра шероховатости R_a поверхности. Исследован характер распределения микротвердости поверхности пластин. Установлено логарифмически – нормальное распределение параметра с математическим ожиданием микротвердости $H = 2450$ МПа и квадратичным отклонением $\sigma = \pm 570$ МПа, что свидетельствует о значительной неоднородности показателей механических свойств поверхности.

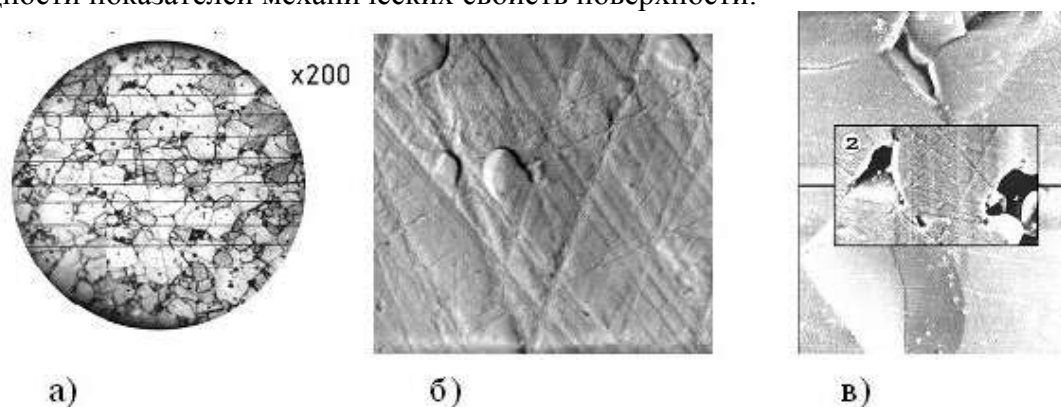


Рис. 2- Показатели качества поверхностей образца из керамики ВК-100:
а) характер распределения размера зерна;
б) топография поверхности после доводки (царапины);
в) наследственные дефекты поверхности (поры, выколы).

Авторами проведено исследование элементарных процессов, сопровождающих диспергирование с использованием алмазных паст АСМ 5/3, 3/2 ПОМ и определяющих эффективность формирования показателей качества керамики ВК-100 на операции доводки свободным абразивом [2]. Приведена оценка характера влияния входных факторов процесса на выходные показатели операции: производительность и качество поверхности. Априорное ранжирование этих факторов показало, что основными из них являются: механические свойства поверхностных слоев заготовки, структурные особенности, технологические факторы (давление, скорость относительного движения и закон изменения, зернистость абразивной суспензии), геометрические и физико-механические характеристики рабочей поверхности инструмента – притира.

Основной комплекс явлений, определяющий показатели финишной обработки (доводка), протекает в пределах зоны контакта. Экспериментальными исследованиями установлено сложное влияние технологических факторов процесса на производительность доводки. Установлено, что взаимовлияние кинематических и динамических параметров процесса и количества подаваемой жидкости в зону резания приводит к различному уровню

производительности. Это взаимодействие особенно заметным становится при обработке мелкозернистыми пастами АСМ 5/3 и АСМ 3/2, где количество и качество СОТС в совокупности с динамическими условиями определяет характер взаимодействия абразивной среды и поверхности.

Анализировались типовые схемы обработки с различной кинематикой рабочих движений: эксцентрикового типа (станок С-15) и поводкового типа (станок ЗШП). Реализован гидродинамический режим доводки путем специального профилирования поверхности притира [2].

Исследован характер изменения абразивной способности суспензии во времени при использовании различных технологических сред уровня операций. На рисунке 3 изображены экспериментальные зависимости скорости съема керамики на операциях доводки свободным абразивом. Для различных сред установлена эмпирическая зависимость, соответствующая уравнению Миндта и Попова С.А. [3]:

$$Q(t) = Q_0 \exp(-\alpha t), \quad Q(t) = Q_{m0}(\exp(-mt_0) - \exp(-mt)) \quad (2)$$

где: Q_0 – абразивная способность новой суспензии (мг/мин);

m, α – коэффициент, зависящий от технологических условий доводки.

Определены значения показателя степени α для исследуемых СОТС и паст различной зернистости, что свидетельствует о различном характере поведения суспензии в зоне резания, обусловленном синергетикой взаимодействия внешних факторов и технологических условий.

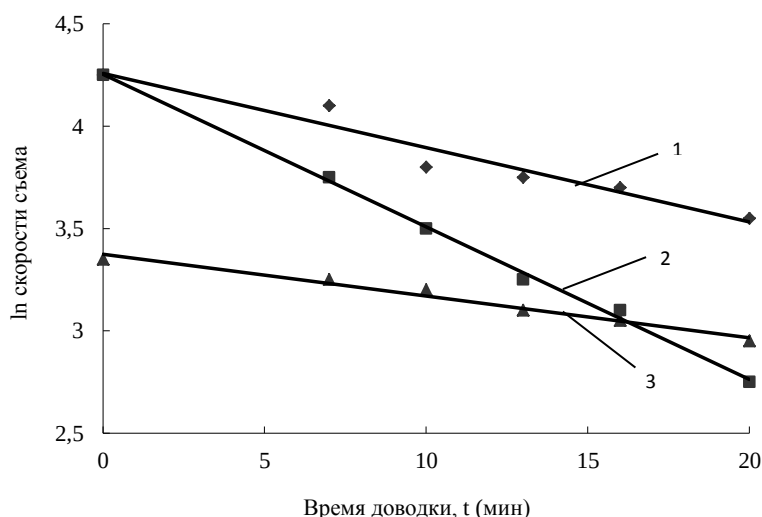


Рис.3- Экспериментальные зависимости скорости съема от времени:

1 – паста 5/3 ПОМ, СОТС – комбинированная; 2 – паста 5/3 ПОМ, СОТС – керосин; 3 – паста 3/2 ПОМ, СОТС – комбинированная.

Рассмотрено влияние различных СОТС на эффективность диспергирования. Исследовано три состава СОТС: керосин – типовой представитель, масляная с добавкой олеиновой кислоты и комбинированная СОТС – масло И5А, олеокс – 5, стеарокс – 6 (СОТС – экспериментальная, А.С. №1162862 СССР). Комбинированная СОТС, содержащая оптимальное количество ПАВ, создает наиболее благоприятные условия диспергирования исследуемой керамики в условиях гидродинамического режима доводки. Интенсификация адсорбционных эффектов и структуризация среды с использованием ПАВ улучшает условия торможения алмазных зерен. При этом повышается производительность, улучшаются показатели качества (уменьшается число царапин и сколов), удаляется нарушенный слой в 1,2 – 1,4 раза быстрее, чем при использовании типовой СОТС (керосин).

Рекомендуемые параметры [2, 4] технологических сред операции доводки и показатели качества поверхности изображены на рисунке 4.

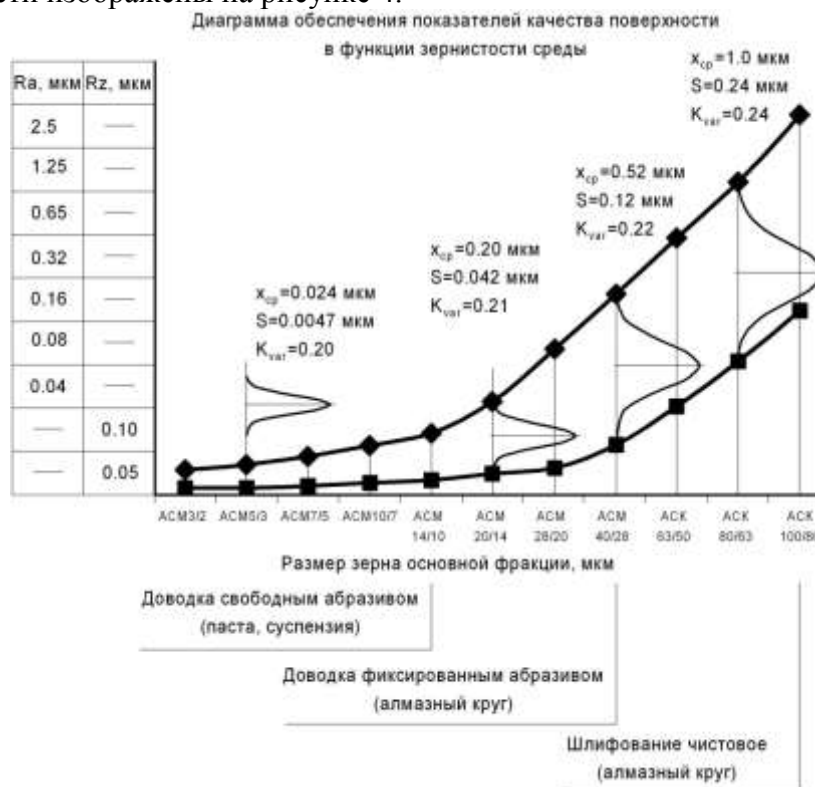


Рис. 4- Диаграмма обеспечения показателей качества поверхности в функции зернистости среды.

Основные выводы.

На основании проведенных исследований установлено, что керамика высокой плотности и низкой пористости может подвергаться упрочнению и, соответственно, повышению надежности изделий выбором рационального метода финишной обработки поверхности. В то же время прочность высокопористых керамик определяется пористостью, поэтому состояние поверхности оказывает несущественное влияние на показатели прочности.

Список литературы:

1. Тонкая техническая керамика. / Под ред. Янагида Х. / Япония, 1982: Пер. с японск. М.: Металлургия, 1986. – 279 с.
2. Бахарев В.П. «Основы проектирования и управления процессами финишной обработки керамических и композиционных материалов» Монография. [Текст] – Изд-во ИвГУ, Иваново, 2009. – 240 с.
3. Попов С.А., Малевский Н.П., Терещенко Л.М. Алмазно-абразивная обработка металлов и твердых сплавов. – М.:Машиностроение,1977.–263 с.
4. Бахарев В.П. Конструкторско-технологическое сопровождение производства изделий из керамических и композиционных материалов [Текст] // Конструкции из композиционных материалов. Межотраслевой научно-технический журнал, ФГУП «ВИМИ». 2008. Вып. 3. С. 34 – 46.

А. Г. Бейгель*, А. Г. Горюнов к.т.н.**

*ОАО «Ангарский электролизный химический комбинат»,
Россия, Ангарск
abejgel@yandex.ru

**«Национальный исследовательский Томский политехнический университет», физико-технический институт,
кафедра электроники и автоматики физических установок,
Россия, Томск
alex1479@mail.ru

ДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО СИНТЕЗА ТРИФТОРМЕТАНСУЛЬФОФТОРИДА

Работа выполнена в рамках реализации ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009 – 2013 годы.

Рассмотрены основные положения динамической модели технологического процесса электрохимического синтеза трифторметансульфофторида. Приведены результаты расчетов и экспериментальных исследований зависимости удельной электропроводности электролита от его параметров. Установлено, что режим работы электролизера при экстремуме электропроводности электролита, позволяет снизить энергозатраты и увеличить выход целевого продукта.

Ключевые слова: математическое моделирование, динамическая модель, удельная электропроводность, электрохимическое фторирование, метансульфохлорид, трифторметансульфофторид.

Электрохимические процессы имеют широкое распространение во многих отраслях промышленности. В первую очередь это производство цветных металлов и получение технического фтора для нужд атомной энергетики. Трифлаты (производные трифтометансульфокислоты) также активно используются в тонком органическом синтезе, в производстве лекарств, фунгицидов, инсектицидов, красителей. Электрохимическое фторирование метансульфохлорида (МС) в безводном фтористом водороде является единственным методом, используемым для промышленного производства трифторметансульфофторида (ТФФ). Создание динамической математической модели синтеза ТФФ позволит исследовать влияние возмущающих и управляющих воздействий на ход процесса, увеличит точность разрабатываемых в дальнейшем алгоритмов управления.

Целью исследований – разработка динамической модели производства трифторметансульфофторида методом электрохимического фторирования метансульфохлорида в безводном фтористом водороде.

Электрохимическое фторирование (ЭХФ) метансульфохлорида в безводном фтористом водороде, осуществляемое в бездиафрагменном электролизере с никелевыми электродами, является на настоящий момент единственным способом, применяющимся для производства трифлатов и ТФФ в частности. Описанный процесс известен как процесс Саймонса [1].



Основными продуктами электролиза являются ТФФ (целевой продукт) и водород. Наиболее перспективным, по мнению многих авторов [2, 3], механизмом является в

настоящее время так называемый механизм *ECbECN*, (где символом *E* обозначают электрохимическую, а *C* – химическую стадии процесса) – механизм, согласно которому окисление вызывает гомолитическое замещение атомов водорода атомами фтора до образования перфторированных соединений.

При разработке математической модели были приняты основные допущения: 1) по результатам аналитического обзора в качестве механизма ЭХФ принят ЕСЕС-механизм; 2) при составлении кинетических уравнений используется принцип Боденштейна [4] для описания изменения концентраций промежуточных короткоживущих ионов; 3) процессами адсорбции и диффузии пренебрегаем, считая, что процесс протекает в кинетической области; 4) удельная электропроводность вычисляется по эмпирическому уравнению Кастила-Аминса [5, 6]; 7) распределение МС в электролизере принимается равномерным.

В качестве входных переменных математической модели (рис. 1) выбраны массовый расход МС (G_{mc}), объемный расход HF (Q_{HF}), ток нагрузки электролизера ($I_{ак}$), температура электролита ($T_{эл}$) и константы скоростей химических реакций синтеза ТФФ (k_i), а в качестве выходных – удельная электропроводность раствора электролита (χ), падение напряжения анод-катод ($U_{ак}$), концентрации веществ (C_i).

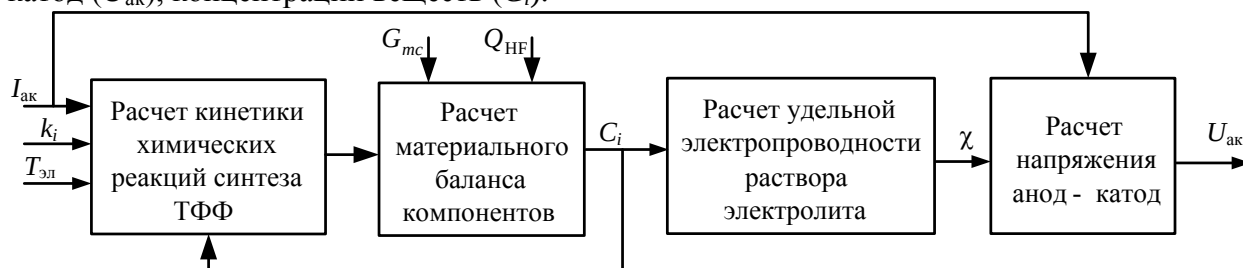
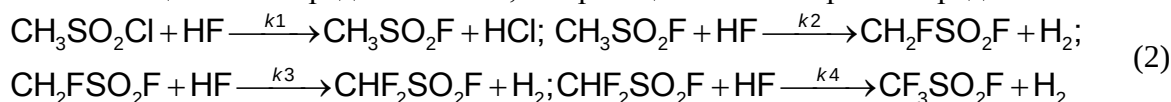


Рис. 1. Структурная схема математической модели электролизера.

При составлении кинетических уравнений процесса фторирования использовались основные реакции без промежуточных веществ (2) и система (3) формальных кинетических уравнений по веществам в предположении, что реакции имеют первый порядок.



$$\left\{ \begin{aligned} \frac{dC_{mc}}{dt} &= -k_1 C_{mc} C_{HF} \\ \frac{dC_{HF}}{dt} &= -k_1 C_{mc} C_{HF} - k_2 C_{mf1} C_{HF} - k_3 C_{mf2} C_{HF} - k_4 C_{mf3} C_{HF} \\ \frac{dC_{mf1}}{dt} &= k_1 C_{mc} C_{HF} - k_2 C_{mf1} C_{HF} \\ \frac{dC_{HCl}}{dt} &= k_1 C_{mc} C_{HF} \\ \frac{dC_{mf2}}{dt} &= k_2 C_{mf1} C_{HF} - k_3 C_{mf2} C_{HF} \\ \frac{dC_{H_2}}{dt} &= k_2 C_{mf1} C_{HF} + k_3 C_{mf2} C_{HF} + k_4 C_{mf3} C_{HF} \\ \frac{dC_{mf3}}{dt} &= k_3 C_{mf2} C_{HF} - k_4 C_{mf3} C_{HF} \\ \frac{dC_{tff}}{dt} &= k_4 C_{mf3} C_{HF} \end{aligned} \right. \quad (3)$$

где обозначено mc – $\text{CH}_3\text{SO}_2\text{Cl}$, $mf1$ – $\text{CH}_3\text{SO}_2\text{F}$, $mf2$ – $\text{CH}_2\text{FSO}_2\text{F}$, $mf3$ – $\text{CHF}_2\text{SO}_2\text{F}$, tff – $\text{CF}_3\text{SO}_2\text{F}$. Концентрации выражены в единицах [моль/м³].

Зависимость константы скорости реакции от температуры электролита определяется по закону Аррениуса. Материальный баланс рассчитывается только для основных веществ (без учета промежуточных).

В теории электропроводности неводных растворов вид зависимости удельной электропроводности от концентрации солей имеет параболический характер. В растворах с диэлектрической проницаемостью ниже 30 максимум сдвигается к диапазону от 17 до 20 %, что объясняется сдвигом равновесия в таких растворителях в сторону ионных пар [5]. В модели используется эмпирическое уравнение [6]:

$$\frac{\chi}{\chi^{\max}} = \left(\frac{C}{\mu}\right)^a \exp\left[b(C-\mu)^2 - \frac{a}{\mu}(C-\mu)\right] \quad (2)$$

где μ – концентрация, при которой реализуется $\chi^{\max}$, a и b – эмпирические коэффициенты, C – концентрация. Падение напряжения на контактах электролизера определяется по выражению:

$$U_{\text{ак}} \approx U_{\text{пр}} + \frac{I_{\text{ак}} \cdot L}{N \cdot S \cdot \chi}, \quad (5)$$

где для рассматриваемого электролизера количество ячеек в электролизере $N = 16$, расстояние между электродами $L = 1,7$ см, площадь электрода $S = 1500$ см², прямое падение напряжения на нелинейной части ВАХ $U_{\text{пр}} = 2,77$ В.

В результате экспериментальных исследований на Ангарском электролизном химическом комбинате с кондуктометром [7] было подтверждено, что зависимость удельной электропроводности электролита от концентрации МС имеет параболический характер, и электролизеры синтеза ТФФ эксплуатируются в области максимума зависимости удельной электропроводности электролита (рис. 2). Среднеквадратичное отклонение модельных данных (напряжение анод-катод и удельная электропроводность электролита) от экспериментальных, приведенное к диапазону измерения, составило менее 10 %, что удовлетворяет заданной точности моделирования и позволяет утверждать, что математическая модель адекватна реальному электролизеру и может быть использована для дальнейших исследований.

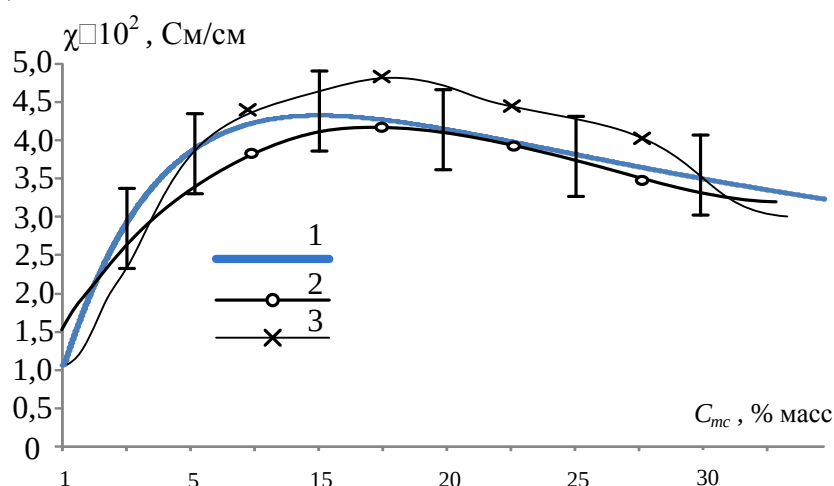


Рис. 2. Статическая характеристика зависимости удельной электропроводности от концентрации МС: 1 – математическая модель; 2 – кондуктометр; 3 – косвенный расчет.

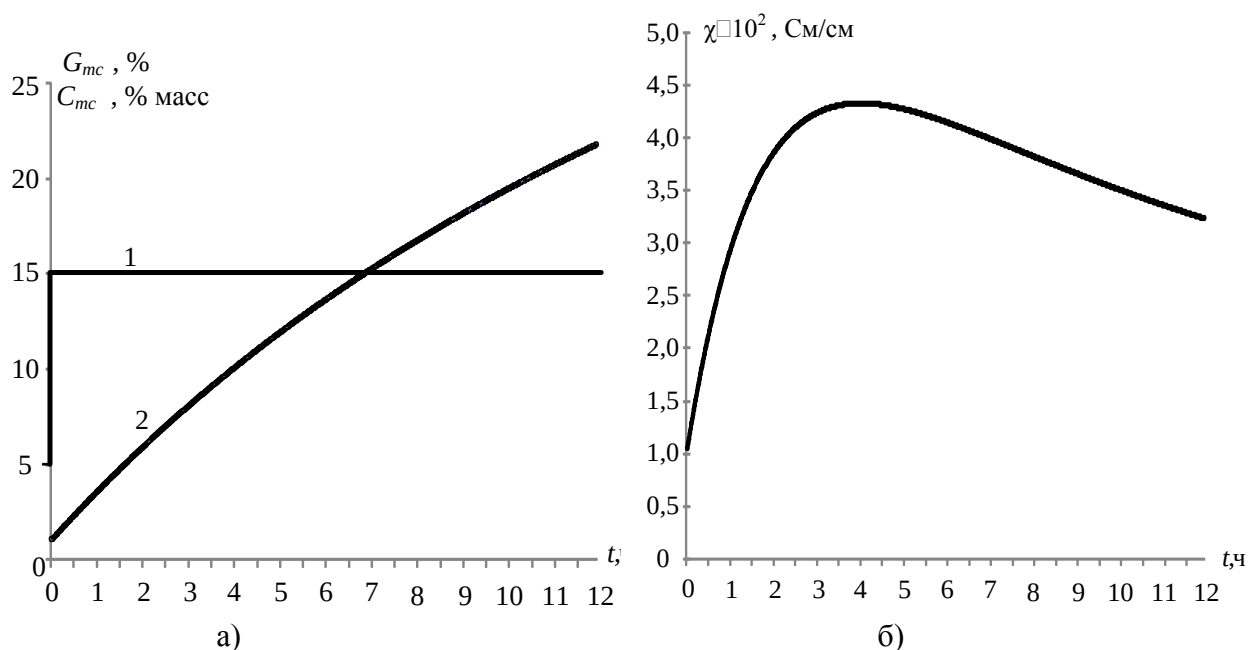


Рис. 3. Временные диаграммы: а) концентрации МС в электролите, б) удельной электропроводности электролита.

Анализ переходных процессов, в том числе представленных на рис. 3 временных диаграмм концентрации МС (2), удельной электропроводности электролита при ступенчатом изменении расхода подпитывающего МС (1) показывает: 1) электролизер по управлению имеет достаточно большую инерционность (≈ 2 часа); 2) при выходе электропроводности на экстремум концентрация целевого продукта ТФФ достигает максимального значения. Существенная инерционность объекта значительно усложняет управления электролизером в ручном режиме.

Проведенный аналитический обзор показал, что электрохимическое фторирование метансульфохлорида в безводном фтористом водороде является на настоящий момент единственным способом, применяемым для производства трифторметансульфохлорида. Разработанная динамическая модель учитывает кинетику химических реакций синтеза трифторметансульфохлорида, материальный баланс, зависимость удельной электропроводности раствора от концентрации метансульфохлорида. Результаты моделирования показали, что режим работы электролизера при экстремуме электропроводности электролита, позволяет значительно снизить энергозатраты и увеличить выход целевого продукта.

Список литературы:

1. *Simons J.H.* // Fluorine Chemistry – New York: Accademic Press, Inc., 1950. – С. 93–102.
2. *Рожков И.Н.* Катион-радикальный механизм анодного фторирования органических соединений // Успехи химии. 1976. N 7 С. 1222–1250.
3. *Conte L.* Electrochemical fluorination: state of the art and future tendencies // Journal of Fluorine Chemistry. – 2004. – N 125 – С. 139–144.
4. *Фиалков Ю.Я.* Электровыделение металлов из неводных растворов – Киев: Наукова думка, 1985. – 238 с.
5. *Каранетян Ю.А.* Физико-химические свойства электролитных неводных растворов – М.: Химия, 1989 – 256 с.
6. *Casteel J.F.* Specific Conductance of Concentrated Solutions of Magnesium Salts in Water-Ethanol System // Journal of Chemical and Engineering Data. – 1972. – N 1 – С. 55–59.
7. *Горюнов А.Г., Бейгель А.Г., Ливенцов С.Н.* Интеллектуальный кондуктометр // Физико-технические проблемы атомной энергетики и промышленности: Сборник тезисов докладов III Международной научно-практической конференции – Томск, 7-8 июня 2005. – Томск: ТПУ, 2005. – С. 129

В. Ф. Беккер к.т.н., И. Ф. Киссельман

Пермский государственный технический университет,
Березниковский филиал, кафедра автоматизации технологических процессов,
кафедра технологии и механизации производства
Россия, Березники,
bekker@bf.pstu.ac.ru

ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА АБСОРБЦИОННОЙ КОЛОННЫ С ВРАЩАЮЩЕЙСЯ ПОДВИЖНОЙ НАСАДКОЙ

На базе математического описания физико-химических процессов и эффектов, сопровождающих абсорбцию аммиака водой в трехфазной гидродинамической структуре потоков, возникающей при работе абсорбционной колонны с вращающейся подвижной насадкой, обоснованы критерии, выполнена постановка и решение задачи выбора параметров технологического режима.

Ключевые слова: абсорбция, вращающаяся подвижная насадка, моделирование, параметры технологического режима, оптимизация.

Поиск наиболее рациональных режимов функционирования абсорбционной колонны с вращающейся подвижной насадкой достигается путем поэтапного определения оптимальных значений конструктивных и режимно-технологических факторов с помощью адекватной процессу математической модели абсорбции аммиака водой [1].

На первом этапе оптимизации были определены основные конструктивные характеристики колонны, наиболее значительно влияющие на целевые функции при решении задачи оптимизации и отвечающие эффективным режимам абсорбции. Проведенный численный эксперимент, описание которого приведено в работе [2], позволил установить в качестве оптимальных следующие значения основных конструктивных параметров: диаметр колонны $D_k = 1,7$ м, высота статического слоя насадки $H_{ст} = 0,275$ м, кажущаяся плотность насадки $\rho_{ш} = 450$ кг/м³, доля свободного сечения опорно-распределительной решетки $f = 0,36$.

На втором этапе производилась оценка влияния режимно-технологических факторов на основные показатели процесса: величину гидравлического сопротивления и эффективность абсорбции. В качестве оптимизируемых режимно-технологических параметров выбраны показатели, наиболее активно влияющие на гидродинамику и процесс массопередачи в абсорбционной колонне: объемный расход газа V_g , плотность орошения $V_{ж}$ и температура в абсорбционной колонне t . Варьирование технологических параметров производилось для значений конструктивных факторов, найденных на первом этапе численного эксперимента [2].

Эффективность процесса абсорбции оценивалась с помощью показателя удельной объемной интенсивности абсорбции аммиака a [2]. Границы выбранных диапазонов изменения технологических параметров, результаты оптимизации и оценка чувствительности параметров представлены в таблице.

Таблица – Диапазон изменения и оценка чувствительности параметров технологического режима

Технологический параметр	Диапазон изменения	Гидравлическое сопротивление, кПа	Оценка чувствительности	Удельная интенсивность, $\text{г}/(\text{м}^3 \cdot \text{с})$	Оценка чувствительности
Объемный расход газа, $\text{м}^3/\text{ч}$	$(5 \dots 6) \cdot 10^3$	1,07...3,0	0,012...0,023	2,92...6,9	0,038...0,406
Плотность орошения, $\text{м}^3/\text{ч}$	5 ... 60	1,46...2,61	0,024...0,042	2,84...7,0	0,38...0,008
Температура $^{\circ}\text{C}$	10 ... 70	–	–	7,6...1,8	1,2...0,3

Полученные результаты позволяют сделать вывод, что для рассматриваемого диапазона конструктивных параметров наибольшие значения удельной объемной интенсивности соответствуют расходу газа $40000 \text{ м}^3/\text{ч}$ и плотности орошения $40 \text{ м}^3/\text{ч}$. Гидравлическое сопротивление двухсекционной абсорбционной колонны при таких режимных показателях составляет 2,3 кПа, степень извлечения газообразного компонента – 0,851. При найденном значении объемного расхода газа и диаметре колонны 1,7 м скорость газа составляет 4,9 м/с. Эта величина лежит в интервале рекомендуемых значений [3] и соответствует устойчивой работе с высокой интенсивностью тепло-массообменных процессов при приемлемом гидравлическом сопротивлении абсорбера.

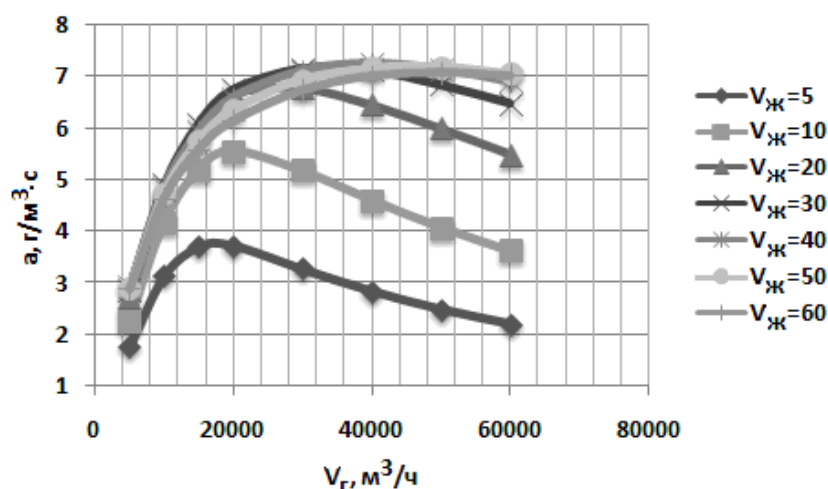


Рис. 1. Зависимость удельной интенсивности от объемного расхода газа при различных значениях объемного расхода жидкости.

Результаты вычислительного эксперимента по оптимизации объемного расхода газа представлены на рис. 1 в виде зависимости $a(V_{\text{г}})$ для различных значений плотности орошения. Функция удельной интенсивности абсорбции имеет экстремумы, значения которых различны для разных расходов газа и жидкости. Однако, наибольшее значение функция $a = 7,26 \text{ г}/(\text{м}^3 \cdot \text{с})$ принимает для расхода газа $V_{\text{г}} = 40000 \text{ м}^3/\text{ч}$ при расходе жидкости $V_{\text{ж}} = 40 \text{ м}^3/\text{ч}$. Это значение объемного расхода газа является оптимальным для выбранных конструктивных параметров и может быть зафиксировано и использовано в качестве базового значения.

Результаты оптимизационных поисков для расхода жидкости по параметру удельной интенсивности абсорбции для тех же диапазонов $V_{\text{ж}}$ и $V_{\text{г}}$ показаны на рис. 2. Характер

зависимостей $a(V_{\text{ж}})$ аналогичен виду функций $a(V_{\text{г}})$ и так же имеет экстремумы для каждого значения расхода жидкости и газа. Наибольшее значение из полученных экстремумов соответствует $V_{\text{ж}} = 40 \text{ м}^3/\text{ч}$ при $V_{\text{г}} = 40000 \text{ м}^3/\text{ч}$. Это значение плотности орошения $a = 7,26 \text{ г}/(\text{м}^3 \cdot \text{с})$ и является оптимальным для всех параметров, определенных на предыдущих этапах оптимизации.

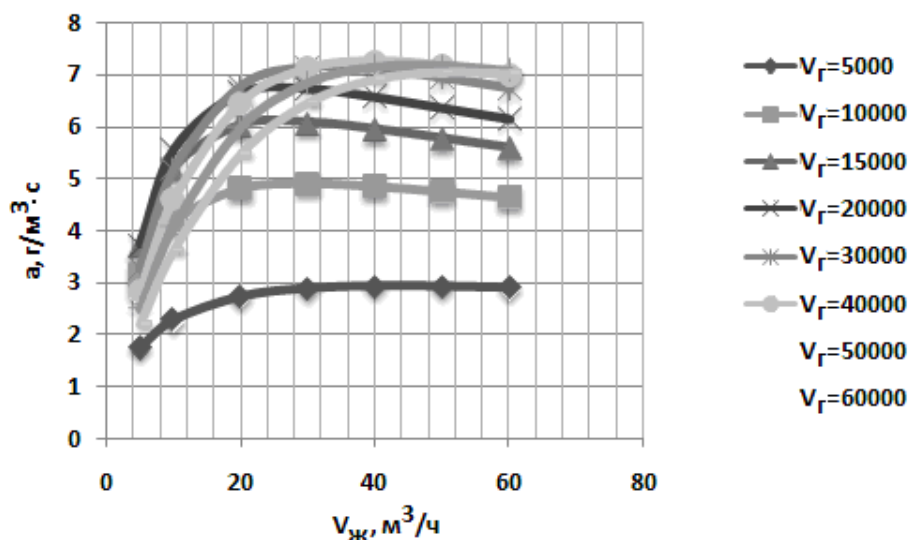


Рис. 2 – Зависимость удельной интенсивности абсорбции от объемного расхода жидкости при различных значениях объемного расхода газа.

С целью оценки энергетической составляющей найденных оптимальных значений объемного расхода газа и объемного расхода жидкости был проведен вычислительный эксперимент, в котором в качестве целевой функции принято гидравлическое сопротивление насадочной колонны. Результаты эксперимента в виде зависимостей $\Delta P(V_{\text{г}})$ и $\Delta P(V_{\text{ж}})$ представлены на рис. 3 и 4.

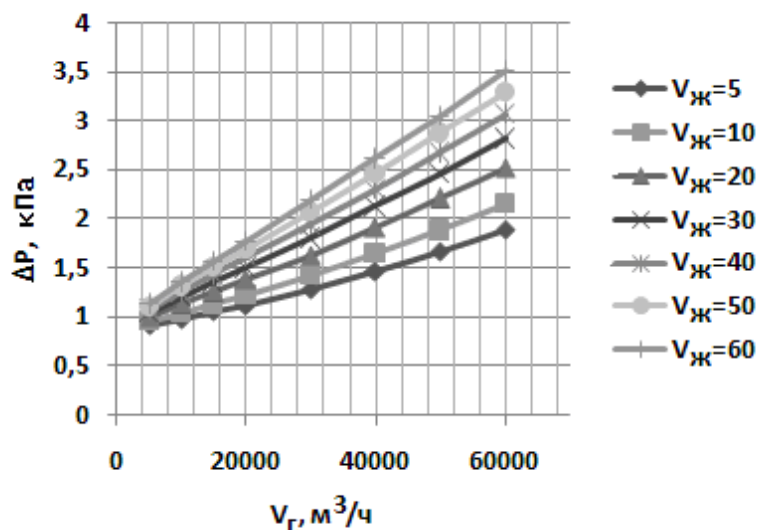


Рис. 3 – Зависимость гидравлического сопротивления от объемного расхода газа.

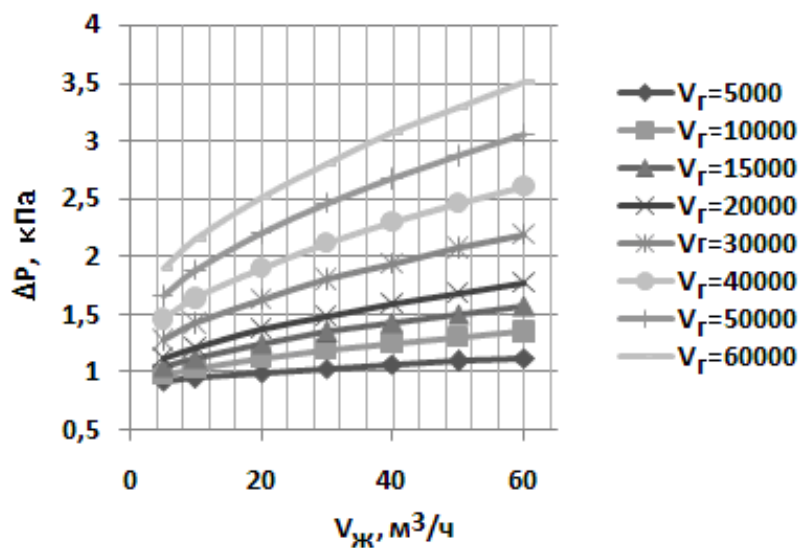


Рис. 4 – Зависимость гидравлического сопротивления от объемного расхода жидкости.

Полученные зависимости позволяют сделать вывод о том, что оптимальным значениям V_g и $V_{ж}$ соответствуют средние значения (для выбранных диапазонов параметров) гидравлического сопротивления, т.е. приемлемые с точки зрения энергетических затрат на проведение процесса. Максимальные же значения гидравлического сопротивления лежат на границах диапазона значений V_g и $V_{ж}$.

Выводы

1. На основе анализа компьютерной модели абсорбции выбраны показатели эффективности технологического процесса: удельная интенсивность абсорбции и гидравлическое сопротивление колонны. Выполнен анализ влияния параметров технологического режима на эффективность технологического процесса и на требуемые для его проведения энергозатраты, количественно оцениваемые соответственно степенью абсорбции и гидравлическим сопротивлением аппарата.

2. Выполнена оценка абсолютной и относительной параметрической чувствительности математической модели по основным параметрам технологического режима: газовому потоку, плотности орошения, температуре в секции колонны.

3. В результате проведенного оптимизационного поиска с использованием математической модели абсорбции аммиака водой были определены оптимальные значения режимных параметров: объемного расхода газа и жидкости.

Список литературы:

1. *Беккер В.Ф.* Управление структурой потоков в аппаратах химической технологии. Пермь: ПГТУ, – 2010. – 208 с.
2. *Беккер В.Ф., Киссельман И.Ф.* Математическое моделирование абсорбции аммиака в колонне с вращающейся подвижной насадкой. Научно-технический вестник Поволжья, №1, 2011. – С. 76-85.
3. *Беккер В.Ф., Киссельман И.Ф.* Оптимизация конструктивных параметров колонны с вращающейся подвижной насадкой. Научно-технический вестник Поволжья, №2, 2011. – С. 41-48.
4. *Заминян А.А., Рамм В.М.* Абсорберы с псевдооживленной насадкой. М.: Химия, 1980. – 184 с.
5. *Киссельман, И.Ф., Беккер В.Ф.* Выбор режимно-технологических параметров абсорбера с вращающейся псевдооживленной насадкой: Сб. трудов XXII Междунар. науч. конф., Т. 9.– Псков: ПГПИ, 2009. – С.59-60.

И. В. Березин, П. Д. Кравченко д.т.н.*, Д. Н. Федоренко,
И. И. Яблоновский*****

*НИИ Перспективных технологий Волгодонского института сервиса (филиала) Южно-Российского государственного университета экономики и сервиса
Россия, г. Волгодонск
krapa21@yandex.ru

**Южно-Российский государственный университет экономики и сервиса Россия, г. Волгодонск

***Волгодонский институт сервиса (филиал) Южно-Российского государственного университета экономики и сервиса
Россия, г. Волгодонск

ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ ЭВРИСТИЧЕСКИХ ПРИЁМОВ ПРИ СОЗДАНИИ АВТОМАТИЧЕСКИХ ГРУЗОЗАХВАТНЫХ УСТРОЙСТВ

Статья посвящена особенностям процедуры поиска во время нахождения лучшего технического решения при создании автоматических грузозахватных устройств. Описаны несколько изобретений устройств для работы в радиоактивной зоне при действии силы тяжести.

Ключевые слова: автоматические грузозахватные устройства; эвристический поиск решения.

Спасательные операции при чрезвычайных ситуациях в опасных средах и демонтажные операции при снятии АЭС с эксплуатации требуют применения автоматических грузозахватных устройств (АГЗУ) для работы с различными объектами

Рассмотрим практические приемы, использовавшиеся авторами при создании новых конструктивных схем АГЗУ для работы с объектами типа сплошного металлического прутка, трубы, каната, многогранника, являющихся захватными элементами объектов, подлежащих захвату, перемещению и установке на требуемую технологическую позицию.

Из многих общих методических приёмов эвристического поиска новых технических решений, представленных во множестве известных работ по методике изобретательского поиска мы выбрали в качестве основного конструктивного направления методические приёмы, представленные в учебнике А.И. Половинкина [1]. В общем виде указанная методика представлена в монографии [2], представляющей множество конструкторских решений.

Рассмотрим процесс эвристического поиска лучшего технического решения путем упрощения конструктивных схем, имеющих существенную новизну, и повышения надежности их эксплуатации.

Штыревое АГЗУ, работающее на принципе использования клинового эффекта [3], создано с использованием множества «подсказок» из приложения 2 [1], основными определяющими были приёмы из разделов преобразования формы, структуры, приёмов дифференциации, преобразования по аналогии и повышения технологичности. Представленное на рисунке 1 АГЗУ состоит из корпуса 1 с вертикальным пазом 2, предназначенным для ориентации и размещения объекта 3 в виде прутка. В корпусе 1 размещены штыревой захватный орган 4 с пружиной 5 и штыревой управляющий орган 6 с пружиной 7. В корпусе 1 также размещён отводящий клин 8, силовое замыкание которого с

взаимодействующими с ним штыревым захватным органом 4 и штыревым управляющим органом 6 обеспечивается действием собственного веса отводящего клина 8 или пружиной.

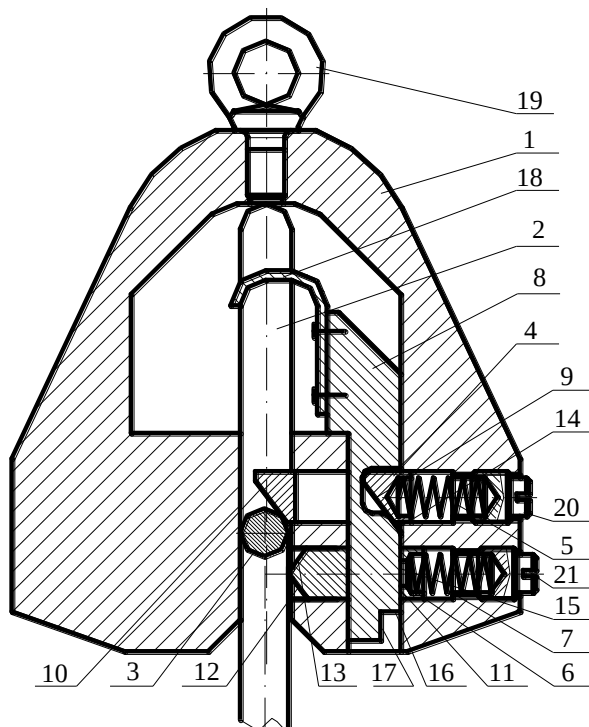


Рис. 1 Общий вид АГЗУ в исходном положении.

Штыревой захватный орган 4 выполнен с наклонной поверхностью 9 для взаимодействия с отводящим клином 8 и с наклонной поверхностью 10 для взаимодействия с объектом 3 при его захвате. Штыревой управляющий орган 6 имеет паз, задняя стенка 11 которого взаимодействует с отводящим клином 8, наклонной поверхностью 12 для взаимодействия с объектом 3 при вхождении его в паз 2 при захвате и наклонной поверхностью 13 для взаимодействия с объектом 3 при его освобождении. Отводящий клин 8 выполнен с наклонной поверхностью 14 и задней кромкой 15 для взаимодействия с наклонной поверхностью 9 штыревого захватного органа 4, с вырезом 16 и задней кромкой 17 этого выреза для взаимодействия с задней стенкой 11 паза штыревого управляющего органа 6 и с зацепом 18, перекрывающим вертикальный паз 2 над штыревым захватным органом 4. Задняя кромка 15 отводящего клина 8 взаимодействует также с задней стенкой 11 паза штыревого управляющего органа 6. Смещение центра тяжести всего устройства вниз и его размещение на оси подвеса груза, обеспечивающее максимальную устойчивость устройства при взаимодействии с объектом 3, осуществляется формой корпуса 1 или вставками. Навешивание устройства на грузовой крюк крана осуществляется за рым-болт 19. Регулировка усилия поджатия пружин 5 и 7 осуществляется винтами 20 и 21.

Устройство работает следующим образом: подвешенное на грузовой крюк крана АГЗУ в исходном состоянии опускают на объект 3, который заходит в вертикальный паз 2 корпуса 1.

При опускании устройства объект 3 упирается в наклонную поверхность 10 штыревого захватного органа 4, скользит по ней и перемещает штыревой захватный орган 4 вправо, сжимая пружину 5 и освобождая дальнейший проход для объекта 3 по вертикальному пазу 2.

После прохода объекта 3 пружина 5 перемещает штыревой захватный орган 4 в исходное положение, перекрывая вертикальный паз 2. Устройство поднимают. При этом штыревой захватный орган 4 подхватывает объект 3 вместе с грузом. Груз поднимают, переносят в необходимую точку и опускают на горизонтальную поверхность или

фиксируют. При дальнейшем опускании устройства объект 3, оставаясь на месте, вступает во взаимодействие с зацепом 18 отводящего клина 8. Отводящий клин 8 останавливается, а все остальные элементы устройства продолжают опускаться. Наклонная поверхность 14 отводящего клина 8 взаимодействует с наклонной поверхностью 9 штыревого захватного органа 4, скользит по ней и перемещает штыревой захватный орган 4, сжимая пружину 5, и открывает вертикальный паз 2 для выхода объекта 3. Наклонная поверхность 9 штыревого захватного органа 4 переходит на заднюю кромку 15 отводящего клина 8 и скользит по ней. Одновременно с этим задняя стенка 11 паза штыревого управляющего органа 6 скользит по задней кромке 15 отводящего клина 8. Силовое поджатие задней стенки 11 паза штыревого управляющего органа 6 к задней кромке 15 отводящего клина 8 осуществляется пружиной 7. При дальнейшем опускании устройства задняя стенка 11 паза штыревого управляющего органа 6 попадает в вырез 16 отводящего клина 8. Штыревой управляющий орган 6 под воздействием пружины 7 перемещается, перекрывая своим концом с наклонной плоскостью 13 вертикальный паз 2. Задняя стенка 11 паза штыревого управляющего органа 6 при этом упирается в заднюю кромку 17 отводящего клина 8, ограничивая этим перемещение штыревого управляющего органа 6.

При дальнейшем опускании устройства верхняя кромка паза 2 упирается в зацеп 18 и устройство останавливается. Поднимают устройство. Отводящий клин 8 своим зацепом 18 в первый момент под действием своего веса или под воздействием пружины остаётся на месте в контакте с объектом 3, однако затем задняя стенка 11 паза штыревого управляющего органа 6 упирается в вырез 16 отводящего клина 8 и обеспечивает этим подъём отводящего клина 8 вместе со всеми остальными элементами устройства.

Оставшийся на месте объект 3 упирается в наклонную поверхность 13 штыревого управляющего органа 6, скользит по ней и перемещает штыревой управляющий орган 6, сжимая пружину 7 и освобождая вырез 16 отводящего клина 8 от контакта с задней стенкой 11 штыревого управляющего органа 6. Отводящий клин 8 под действием своего веса или под действием пружины опускается. Его задняя кромка 15 вступает в контакт с задней стенкой штыревого управляющего органа 6, а наклонная плоскость 9 штыревого захватного органа 4, наоборот, выходит из контакта с задней кромкой 15 отводящего клина 8 и вступает в контакт с его наклонной плоскостью 14. Под действием пружины 5 штыревой захватный орган 4 перемещается, перекрывая паз 3. Устройство вернулось в исходное состояние вышло из контакта с объектом 3 и готово к следующей операции.

Рассмотренная конструктивная схема характеризуется существенными недостатками – сложностью формы элементов, значительным количеством деталей, наличием пружин и необходимостью их настройки.

Представленное на рисунке 2 новое техническое решение позволяет упростить конструкцию и повысить вследствие этого надёжность операции захвата объекта.

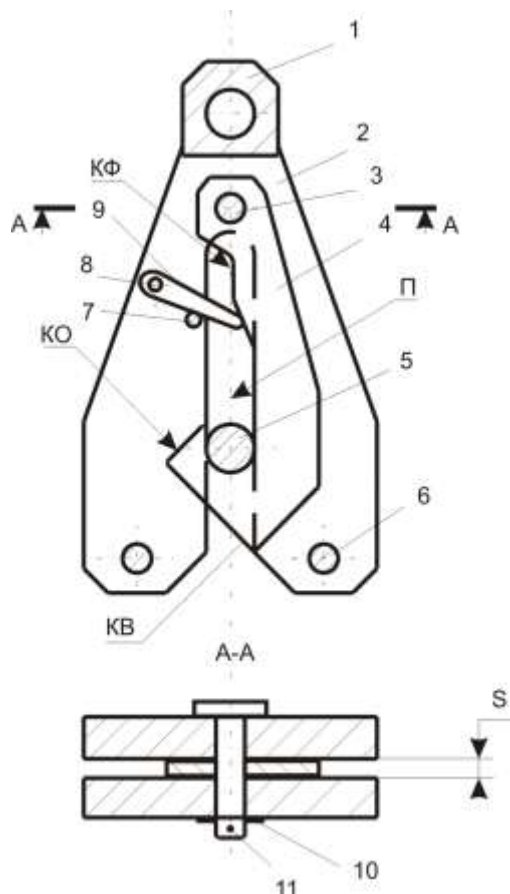


Рис. 2 Подвесное крюковое автоматическое грузозахватное устройство.

Устройство состоит из следующих элементов. Серьга 1 является элементом канатного подъёма и является соединительным звеном для двух боковых пластин 2, являющихся корпусной базой всего устройства.

Ось несущая 3 является опорой для крюка фасонного 4, взаимодействующего с объектом 5 – горизонтальным или слабонаклонным прутком, трубой или кругом в поперечном сечении.

Две вставки 6 совместно с серьгой 1 служат базовыми элементами, к которым присоединены две боковые пластины 2 для образования паза шириной S, обеспечивающего свободный поворот крюка фасонного 4 относительно оси несущей 2, как показано в сечении А-А. Ось несущая 3 фиксируется шайбой 10 и шплинтом 11. В боковых пластинах 2 вырезан вертикальный направляющий паз П, в котором свободно перемещается объект 5.

Опора 7 и ось упора 8 зафиксированы шайбами и шплинтами. Опора 7 служит ограничением угла поворота вниз упора 9, фиксирующего крюк фасонный 4 в положении, позволяющим освободить объект после его перемещения.

Крюк фасонный 4 имеет две плоскости контакта для взаимодействия с объектом 5: КВ – плоскость контакта для обеспечения входа объекта 5 в паз П при опускании устройства и КО – плоскость контакта для создания условий для освобождения объекта 5 при поднятии устройства. После входа объекта в паз П и возврата крюка в исходное положение объект оказывается в геометрически замкнутом пространстве.

Устройство работает следующим образом.

При опускании устройства объект 5 взаимодействует с плоскостью контакта КВ на крюке фасонном 4, поворачивает его против часовой стрелки, и входит в направляющий паз П пластины 2 выше захватной кромки крюка 4, после чего крюк возвращается в исходное положение, осуществляя подхват объекта.

Чтобы освободить объект 5, устройство нужно опустить вниз по вертикали до контакта объекта 5 с упором 9 на плоскости КФ; при дальнейшем опускании устройства объект 5 поднимает упор 9, конечный элемент которого, взаимодействуя с плоскостью КФ, поворачивает крюк фасонный 4 против часовой стрелки в положение, при котором упор 9 фиксирует крюк 4.

При поднятии устройства крюк фасонный 4 остаётся в зафиксированном положении. Плоскость контакта КО крюка фасонного при этом оказывается в пазу направляющем П. Дальнейший подъём устройства приводит к контакту объекта 5 с плоскостью КО крюка фасонного 3, при этом крюк поворачивается против часовой стрелки, освобождая путь объекту 5. Упор 9 под действием силы тяжести поворачивается по часовой стрелке до контакта с опорой 7. После освобождения объекта крюк фасонный 3 под действием момента сил тяжести относительно оси несущей 3 возвращается в исходное положение.

Рассмотренные выше конструктивные схемы АГЗУ предназначены для захвата объектов вышеуказанной формы, перемещения и установки его на требуемую технологическую позицию, причём за время этих операций объект не зафиксирован, и может перемещаться в устройстве по вертикали.

Обеспечение условий надёжного захвата и зажима объекта в устройстве является основным требованием безопасного ведения работ в чрезвычайных ситуациях и при работе по безлюдной технологии, особенно при работе с радиоактивными объектами.

Поиск новых конструктивных схем производим с помощью Приложения 2 [1]. Из 12 разделов фонда эвристических преобразований объекта находим прямые подсказки:

2.2. Один элемент выполняет несколько функций, благодаря чему отпадает необходимость в других элементах...

2.3. Присоединить к объекту новый элемент в виде жёстко или шарнирно соединенной пластины (стержня, оболочки или трубы) ...

3.1. Изменить традиционную ориентацию объекта в пространстве...

3.2. Использовать и «пустое пространство» между элементами объекта. Один элемент проходит сквозь полость в другом элементе.

3.8. Осуществить сопряжение по нескольким поверхностям.

5.2. Заменить поступательное (прямолинейное) или возвратно- поступательное движение вращательным. Инверсия приёма.

10.1. Использовать массу объекта (элемента) или периодически возникающие усилия для получения дополнительного эффекта.

11.7. Использовать эмпатию: мысленно превратить себя в объект (элемент), с помощью своих ощущений найти наиболее целесообразное решение.

12.1. Упростить форму и конструкцию детали путём сокращения числа обрабатываемых поверхностей...

Указанный перечень приёмов был предварительно обсуждён авторами и распечатан на отдельных листах. Каждый из авторов предложил свои варианты решения как устно, так и с помощью эскизов – набросков конструктивной схемы. Происходил своего рода «мозговой штурм» при обсуждении, естественно, с запретом критики вариантов. Вероятно, каждый из авторов предлагаемых вариантов решений применял в процессе проектирования собственные приёмы поиска рационального варианта решения, а вышеуказанный перечень только напоминал о необходимости поиска именно в указанных направлениях и способствовал приближению к принятию окончательного варианта конструктивной схемы.

Предложенные ниже две конструктивные схемы с фиксированием объекта в АГЗУ являются результатом согласования всех предложенных вариантов.

Предлагаемый первый вариант технического решения позволяет осуществить захват и зажим объекта, и перемещение его в зажатом состоянии с использованием подвешенного автоматического захватно-зажимного ловителя (ПАЗЗЛ), представленного на рисунке 3.

Устройство состоит из следующих элементов.

Скоба 1 является местом подсоединения ПАЗЗЛ к подъёмному устройству и соединяется со стержнем подъёмным 2 посредством резьбового соединения с мелким шагом.

Стержень подъёмный 2 воспринимает основную нагрузку при работе устройства и состоит из резьбовой части и цилиндрической части, причём на цилиндрической части имеется отверстие для размещения в нём конечного элемента опорного конца рычага. Между резьбовой и цилиндрической частями имеются опорный буртик для базирования снизу цилиндрической пружины 5 сжатия.

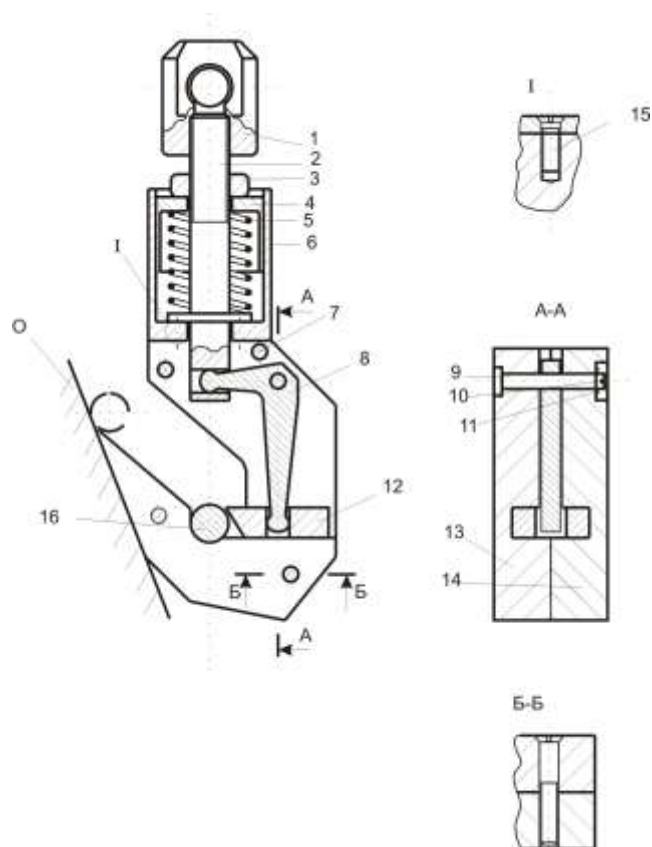


Рис. 3. Подвесной автоматический захватно – зажимной ловитель.

Гайка 3 перемещается по стержню подъёмному, взаимодействуя с гильзой опорной 4, основание которой является верхней базой для цилиндрической пружины 5.

Гильза опорная 4 выполняется в виде цилиндрического тонкостенного стального стакана с отверстием для свободного перемещения её относительно стержня подъёмного 2 и перемещения по ходовой посадке относительно гильзы направляющей 6 при регулировании усилия сжатия пружины 5 посредством вращения гайки 3. Гильза направляющая 6 прикрепляется неподвижно к корпусам левому 13 и правому 14 посредством винтов 15, как показано на выносном элементе I.

Корпуса левый 13 и правый 14 соединяются неподвижно с помощью винтов стяжных 7, как показано в сечении Б-Б.

Корпуса выполнены в виде плоских многогранных деталей, как показано на основном виде и в сечении А-А, с плоской прорезью, в которой размещается фигурный рычаг 8, смонтированный по ходовой посадке на цилиндрической оси 9, зафиксированной в корпусах 13 и 14 шайбой 11 и шплинтом 10.

Фигурный рычаг 8 взаимодействует со стержнем подъёмным 2 и с упором 12 посредством контакта своих конечных элементов со стенками отверстий в стержне подъёмном 2 и упоре 12.

Упор 12 выполнен в форме параллелепипеда со скошенной гранью, взаимодействующей с объектом 16 и отверстием для размещения в ней конечного элемента рычага 8 и перемещается по ходовой посадке в отверстии прямоугольного сечения, образованного при соединении корпусов левого 13 и правого 14.

Захват объекта 16 происходит при наклонном положении устройства. На рисунке 3 основание О показано условно в наклонном положении, а объект перед захватом показан пунктиром. В этом случае при захвате объекта необходимо ПАЗЛ перемещать посредством скобы 1 подъёмного устройства влево и вверх. Усилие сжатия пружины 5 регулируется таким образом, чтобы в начале процесса захвата объект 16 свободно вошел в нижнее положение в зоне действия упора 12, как представлено на рисунке 3.

Устройство работает следующим образом. Подвешенный на скобе ПАЗЛ опускается по вертикали до соприкосновения с горизонтальным или наклонным основанием О. Под действием момента, возникающего от сил тяжести устройства относительно точки контакта устройства с основанием захватная часть устройства подводится к объекту, показанному пунктирной линией. При перемещении устройства влево и вверх объект 16 попадает в нижнее положение, в зону действия упора 12.

При подъеме устройства вместе с объектом и увеличении сопротивления его перемещению пружина 6 сжимается под действием опорного буртика стержня подъёмного 2 и гильзы опорной 4. Стержень опорный 2 перемещается вверх относительно гильзы направляющей 6 и корпусов 13 и 14, при этом конечный элемент рычага 8, размещенный в отверстии стержня подъёмного 2, поворачивает рычаг 8 относительно оси 9 по часовой стрелке.

Другой конечный элемент рычага 8 взаимодействует со стенкой отверстия упора 12, перемещает последний влево, до контакта с объектом 16, причем усилие зажатия объекта будет тем больше, чем больше сопротивление перемещению объекта. Устройство вместе с зажатым объектом перемещается на требуемую технологическую позицию.

Освобождение объекта может быть произведено после его установки на требуемую позицию, при этом пружина 5 возвращает стержень подъёмный 2 в исходное положение; рычаг 8 поворачивается в направлении часовой стрелки и отодвигает упор 12 вправо, освобождая объект.

В предложенной конструктивной схеме усилие зажима объекта передаётся через пружину, двуплечий рычаг и ползун-упор. Схема оказалась конструктивно проще представленной на рисунке 2, однако теперь обеспечивается одновременно захват и зажим объекта. Устройство оказалось конструктивно более простым. Следующей задачей является уменьшение количества элементов, обеспечивающих захват и зажим объекта.

Используя указанные выше приёмы, рассмотрим схему, обеспечивающую условия зажима объекта одним элементом - фигурным фиксатором.

На рисунке 4 представлен общий вид описываемого устройства – подвесного автоматического захвата-ловителя (ПАЗЛ), сечение А-А, сечение Б-Б.

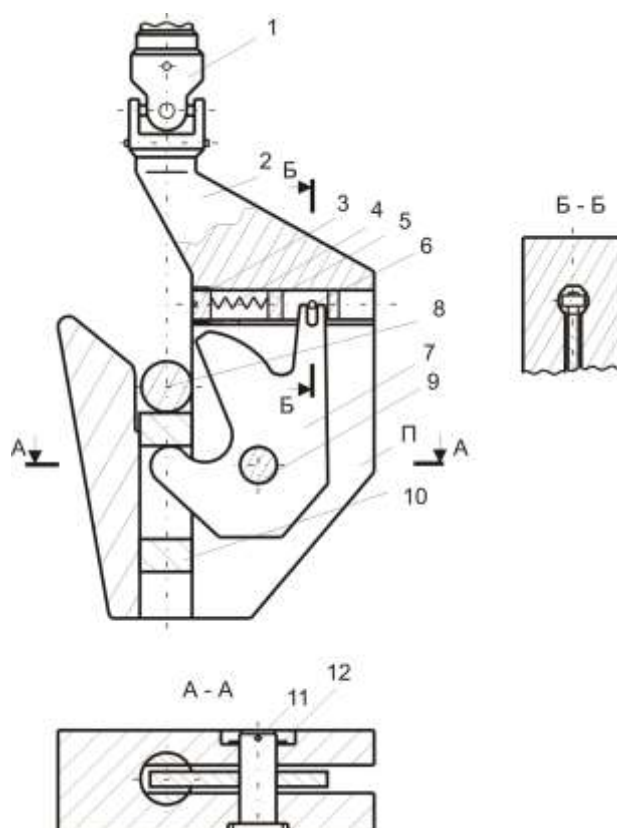


Рис. 4. Подвесной автоматический захват-ловитель.

Шарнирная муфта 1 предназначена для обеспечения возможности отклонения оси ПАЗЛ от вертикального положения при проведении операции подвода устройства под объект при ограничении свободного пространства.

Корпус 2 захвата-ловителя является основной базовой деталью с прорезью П, в которой расположен фигурный фиксатор 7 с возможностью его поворота по посадке скольжения относительно оси 9.

В корпусе 2 расположен опорный стержень 10, который может свободно перемещаться по вертикали в цилиндрическом отверстии корпуса 2. В прорезь стержня 10 входит со свободным зазором кулачковый профиль фиксатора 7 для взаимодействия при передаче усилия от объекта 8 на стержень 10, далее на фиксатор 7, который при повороте относительно оси 9 против часовой стрелки зажимным выступом фиксирует объект 8.

В сечении А-А на рисунке 5 показано положение фиксатора на оси 9, установленной в корпусе 2 с помощью шплинта 11 и шайбы 12. Винт 3 предназначен для поджима и регулирования пружины 4, поддерживающей ползун 5, в прорези которого установлена ось 6, которую охватывает по ходовой посадке вилочная прорезь фиксатора 7, как показано на рисунке 4 и в сечении Б-Б.

Пружина 4 передает только незначительное усилие управляющего воздействия в паре «ось 6 – вилочная прорезь фиксатора 7». Фиксатор 7 выполнен так, чтобы центр его масс совпадал с осью отверстия; таким образом момент сопротивления повороту фиксатора является минимальным. В функцию пружины 4 входит обеспечение условий возврата фиксатора 7 в исходное положение после снятия нагрузки с объекта 8 на стержень опорный 10, который может быть выполненным как в форме цилиндра, так и в форме четырехгранной призмы, если необходимо обеспечить большее усилие зажима объекта; в таком случае толщина фиксатора 7 должна быть больше, что обеспечит большую величину длины контактной линии объекта и фиксатора при зажиме.

Устройство работает следующим образом. Объект 8 под воздействием силы его тяжести или силы сопротивления среды его перемещению надавливает на стержень опорный

10. Верхняя внутренняя плоскость прорези стержня опорного 10 передает усилие на кулачковый профиль фиксатора 7, поворачивая последний относительно оси 9 против часовой стрелки, при этом зажимный выступ фиксатора 7 входит в контакт с поверхностью объекта 8 и прижимает последний к верхней поверхности стержня опорного 10 и к боковой или нижней опорным поверхностям входной полости ПАЗЛ.

При снятии нагрузки с объекта 8 на стержень опорный 10 пружина 4, воздействуя на ползун 5, сдвигает его вправо. Ось 6 ползуна 5, воздействуя на вилочную прорезь фиксатора 7, возвращает последний в исходное положение.

Главной особенностью ПАЗЛ является повышение усилия зажатия объекта при возрастании усилия сопротивления его перемещению, повышая надежность операции захвата, зажима и удержания объекта, что крайне важно при работе по безлюдной технологии в условиях демонтажа радиоактивного оборудования или при подводных и спасательных операциях.

Авторы не претендуют на универсальность представленной методики, т.к. процесс создания изобретений формализовать невозможно в принципе. Однако представленная в данной работе частная методика изобретательского поиска приводит к плодотворным результатам, рассмотренные конструктивные схемы обладают существенной новизной. Кроме того, коллективное обсуждение предложенных вариантов существенно уменьшает время для принятия окончательного решения, т.к. после обсуждения вариантов «без критики» наступает решающий момент, где все варианты обсуждаются только с критическими замечаниями. Усовершенствование указанных схем, их упрощение и поиск новых продолжается именно по рассмотренной методике.

Список литературы:

1. Половинкин А.И. Основы инженерного творчества: Учеб. пособие для студентов вузов. – М.: Машиностроение, 1988. – 368с.
2. Конструкторские решения при проектировании транспортно-технологического оборудования в атомном машиностроении: монография / П.Д. Кравченко [и др.]; Волгодонский институт сервиса (филиал) ЮРГУЭС. – Шахты: Изд-во ЮРГУЭС, 2008. – 186с.
3. Пат. 2268229 Российская Федерация С1 МПК7 В66С 1/66. Автоматизированное грузозахватное устройство / Кравченко П.Д., Березин И.В., Березин Е.В., Шестакова И.А.; заявитель и патентообладатель Южно-Рос. гос. ун-т экономики и сервиса. - № 2004114612/02; заявл. 13.15.2004; опубл. 20.01.2006. – Бюл. №01. – ил.

М. Б. Будько к.т.н., А. С. Соколов

Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий,
механики и оптики, ИКВО (ФВО),
кафедра Мониторинга и прогнозирования информационных угроз,
Россия, Санкт—Петербург
ikvo@grv.ifmo.ru

МАЛОИЗВЕСТНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ БАЗОВЫХ СРЕДСТВ МОНИТОРИНГА ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ

В статье представлены широко неизвестные возможности, включенные в состав таких базовых средств мониторинга вычислительных сетей, как ping, tracert, traceroute и pathping. Выявляются их специфичные функции и сравниваются их реализации в различных операционных системах.

Ключевые слова: мониторинг сети, сетевая безопасность, задержки передачи в сети, протокол ICMP, IP-датаграмма.

Обеспечение безопасности передачи данных в современных вычислительных сетях имеет большое значение. Практика использования и эксплуатации компьютерных сетей определяет необходимость понимания подходов к мониторингу. Мониторинг сети позволяет определять, где, когда и, возможно, по какой причине произошли неполадки. При выяснении данных обстоятельств часто появляются ситуации, в которых требуется узнать, доступно ли то или иное устройство в сети, по какому маршруту двигаются пакеты, сколько теряется пакетов и какие задержки возникают в канале связи. Частично эти задачи решаются путем использования следующих приложений: ping, tracert, traceroute и pathping. Особенность таких базовых программ заключается в том, что их работа с включенными малоизвестными параметрами дает возможности получать специфичные полезные данные, которые не могут быть получены при использовании более мощных средств мониторинга сети. Рассмотрим реализации базовых средств.

Программа Ping. Приложение предназначено для выявления активности удаленного хоста, задержки приема-передачи, обнаружения потерь пакетов.

Особенности программы:

1. Время возврата рассчитывается путем сохранения времени, когда был отправлен эхо-запрос (записывается в поле данных ICMP-сообщения), и сравнения его с временем, когда ответ возвратился. Это позволяет определить корректный оборот датаграммы, даже если пакеты вернулись беспорядочно [1].

2. Приложение ping позволяет установить параметр IP записи маршрута в исходящих датаграммах. Каждый маршрутизатор, который обрабатывает пакет, добавляет свой IP-адрес в список, находящейся в поле параметров IP-заголовка. Поле опций – это список дополнительной информации переменной длины. Когда пакет достигает пункта назначения, то весь список записанных адресов копируется в поле данных ICMP-сообщения и отправляется обратно [1, 2]. Недостаток заключается в ограниченных возможностях записи. Максимальная длина IP-заголовка ограничивается 60 байтами, из которых 20 байт – это фиксированный размер IP-заголовка, а остальные 40 байт отводятся под необязательные опции и данные. Сама опция записи маршрута требует для своей установки 3 байта. Следовательно, для списка адресов остается $60 - 20 - 3 = 37$ байт, куда можно поместить до 9 IP адресов (4 байта для каждого адреса) [3, 4, 5].

Пример: Pinging ya.ru [213.180.204.3] with 32 bytes of data:

Reply from 213.180.204.3: bytes=32 time=140ms TTL=53

Route: 93.100.0.10 -> 93.100.194.2 -> 93.100.192.130 -> 194.226.100.59 -> 213.180.208.147

Ping statistics for 213.180.204.3: Packets: Sent = 4, Received = 4, Lost = 0 (0% loss),
Approximate round trip times in milli-seconds:

Minimum = 20ms, Maximum = 209ms, Average = 138ms

При движении пакета каждый маршрутизатор записывает IP-адрес своего исходящего интерфейса (рис. 1). Но исходный хост, который запустил ping, при возвращении ответа вносит в список IP-адрес своего входящего интерфейса.

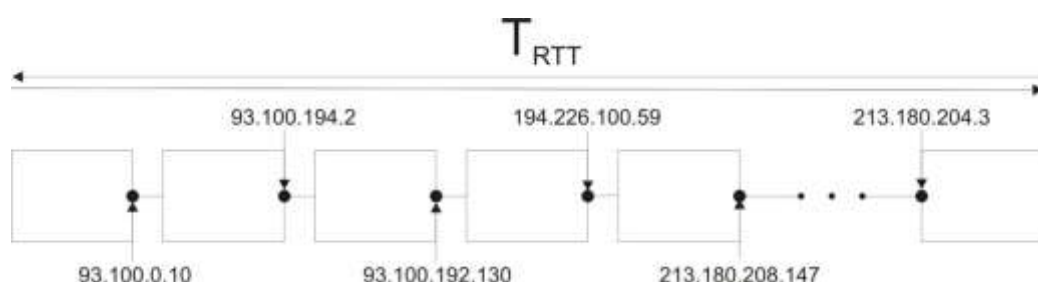


Рис. 1. Схема работы программы ping с включенным параметром IP записи маршрута.

3. Запись временной метки напоминает опцию записи маршрута. При движении пакета записывается IP-адрес маршрутизатора и соответствующее значение времени. Одни временные метки без адреса бесполезны, так как нет соответствия метки и маршрутизатора. Следовательно, количество записываемых пар в датаграмму ограничивается четырьмя (4 байта для каждого адреса и 4 байта для каждой метки). Значение для временной метки это количество миллисекунд, которые прошли после полуночи в формате UTC (Coordinated Universal Time) [2, 4, 6].

Существует аналог ping в системе Linux/Unix. Утилита выполняет те же основные функции, что при работе в Windows, но обладает другими ключами. Главным отличием в Linux/Unix являются ключи: *-f* и *-p_шаблон*.

4. Параметр *-f* задает «лавинный ping», то есть посылает очередной пакет, как только получает ответ на предыдущий или сто раз в секунду, в зависимости от того, что быстрее. Использование программы с таким ключом создает большую нагрузку сети.

5. А ключ *-p_шаблон*, где шаблон используется для заполнения посылаемых пакетов, то есть задает данные, которые будут передаваться. Этот ключ полезен при поиске проблем, связанных с передачей данных.

Приложение *tracert*. Используется для трассировки маршрута, вычисления длины маршрута, определения доступности конечного хоста.

Принцип заключается в том, что отправляется ICMP эхо-запрос и каждый маршрутизатор который обрабатывает пакет, уменьшает в заголовке IP-датаграммы значение поля TTL (Time to Live) на единицу. Когда маршрутизатор получает IP-датаграмму с TTL равным 1, он не отправляет этот пакет дальше, а уничтожает и отправляет обратно ICMP-сообщение «время истекло» (time exceeded).

В системе Linux/Unix программа называется *traceroute* и выполняет те же функции, что и в Windows. Отличие в том, что отправляемая IP-датаграмма включает в себя пакет UDP (User Datagram Protocol) с установленным несуществующим номером UDP-порта, а в ответ генерируется ICMP-сообщение «порт недоступен» (port unreachable). То есть *traceroute* определяет значение вернувшегося ICMP-сообщения и на основании этого делает вывод о том, достиг пакет конечного хоста или нет [6, 7].

Особенности программы:

1. Операцию по подсчету времени полного оборота берет на себя `tracert`, при этом внутреннее устройство протоколов не участвует. `Ping` использует запись времени в исходящем ICMP-сообщении [6].

2. Использование параметра `-p` в программе `tracert` позволяет выбрать используемый протокол (ICMP, UDP, TCP). Опция `-i` включает протокол ICMP. С ее помощью утилита работает, как `tracert` в Windows.

3. При использовании `tracert` IP-адрес, который находится в ICMP-сообщении, это адрес интерфейса, на который маршрутизатор принял пакет, а при использовании `ping` с включенной опцией записи маршрута записывается IP-адрес исходящего интерфейса устройства.

4. Нет гарантий, что маршрут, выбранный утилитой в первый раз, будет такой же, как во второй. Путь по которому возвращается ответ, не всегда совпадает с маршрутом, по которому был отправлен, то есть время пути туда и время обратно может быть разным. Сравнивать маршруты возможно путем использования параметра `-j`. При этом хост, который интересует поставить, как промежуточный узел, а хостом назначения, как хост отправителя. Маршрут записывается только в одну сторону, в отличие от `ping`.

Утилита `pathping` предназначена для трассировки маршрута. Включает в себя возможности приложений `tracert` и `ping`. Более того показывает степень потерь пакетов на каждом промежуточном маршрутизаторе.

Возможности, при использовании параметров такие же, как в `ping` и `tracert`.

Аналогом программы `pathping` в системах Linux/Unix является утилита `MTR`. Работа с приложением осуществляется через консоль, но также программа обладает графическим интерфейсом.

По сравнению с `tracert`, команда `pathping` выполняет трассировку маршрутизации быстрее, так как отводит всего лишь по одному пакету данных на каждый транзитный участок, в отличие от трех команды `tracert`.

Таблица – Сравнение базовых средств мониторинга вычислительных сетей

Программа			ping	tracert	pathping	tracert
Функции	Определение доступности хоста		+	+	+	+
	Трассировка маршрута	По вх. интерфейсам устройства	-	+	+	+
		По исх. интерфейсам устройства	+	-	-	-
	Определение потерь пакетов	На всем маршруте	+	-	+	-
		На промежуточных узлах	-	-	+	-
	Определение задержки пакетов	На всем маршруте	+	+	+	+
		На промежуточных узлах	-	+	+	+
Используемые протоколы	ICMP		+	+	+	+
	UDP		-	-	-	+
	TCP		-	-	-	+
Установка специальных параметров	Размер отсылаемого пакета		+	-	-	-
	Количество посылаемых пакетов		+	-	+	-
	Интервал между запросами		+	+	+	+
ОС			Windows/Linux	Windows	Windows	Linux

Выбор приложения для правильной организации мониторинга узлов и каналов в вычислительной сети должен зависеть от конкретной ситуации. Вышеперечисленные программы не могут выступать в качестве средств комплексного мониторинга. Но они обладают такими редко используемыми возможностями и малоизвестными особенностями, которые позволяют получить ценную и уникальную информацию о состоянии сети. Зачастую такие данные невозможно получить, используя сложные средства.

Список литературы:

1. Request for Comments: 792. Internet Control Message Protocol / J.Postel. – USC, Information Sciences Institute, 1981. – 21 p.
2. Уилсон, Э. Мониторинг и анализ сетей. Метод выявления неисправностей / Э. Уилсон. – М.: Лори, 2002. – 350 с. – ISBN 5-85582-163-3.
3. Основы компьютерных сетей / Б. Д. Виснадул, С. А. Лупин, С. В. Сидоров, П. Ю. Чумаченко П.Ю. – М.: ИД “ФОРУМ” – ИНФРА-М, 2007. – 272 с. – ISBN – 5-8199-0294-7, 5-16-002799-8.
4. Request for Comments: 791. Internet Protocol / J.Postel. – USC, Information Sciences Institute, 1981. – 45 p.
5. Request for Comments: 1180. A TCP/IP Tutorial / T.J. Socolofsky, C.J. Kale. – Spider Systems Limited, 1991. – 28 p.
6. Ричард Стивенс, У. Протоколы TCP/IP. Практическое руководство / У. Ричард Стивенс. – СПб.: BHV – Санкт-Петербург, 2003 – 672 с. –ISBN 5-7940-0093-7, 5-94157-300-6, 0-201-63346-9.
7. Request for Comments: 768. User Datagram Protocol / J.Postel. – USC, Information Sciences Institute, 1980. – 3 p.

А. П. Буйносов к.т.н., И. М. Пышный

Уральский государственный университет путей сообщения
(УрГУПС),
Россия, Екатеринбург
byinosov@mail.ru, igorkz45@mail.ru

РАЗРАБОТАН БОРТОВОЙ ЛОКОМОТИВНЫЙ ГРЕБНЕСМАЗЫВАТЕЛЬ «ТВЕРДОГО» ТИПА

В статье описана конструкция нового бортового локомотивного гребнесмазывателя «твердого типа». Гребнесмазыватель прост по конструкции, изготовлению и обслуживанию. Предложен для разработанной системы лубрикации новые материалы: малозольный среднезернистый графит ГМЗ-0 и ГМЗ ОСЧ в зависимости от участков обращения локомотивов. Приведены результаты применения бортового гребнесмазывателя на железных дорогах Уральского региона.

Ключевые слова: локомотив, колесная пара, бандаж, гребень, износ, гребнесмазыватель, ресурс.

Износ трибосистемы «колесо–рельс» подвижного состава на Свердловской дороге стал чрезвычайной проблемой, угрожающей безопасности движения поездов. В структуре эксплуатационных отказов утрата работоспособности колес по подрезу гребня и боковой поверхности рельса является определяющей величиной, вызывающая колоссальные эксплуатационные расходы. Значимость вопроса возрастает по мере снижения срока службы рельсов и бандажей колесных пар локомотивов [1, 3].

Гребнесмазыватели, в которых используются жидкие смазки, требуют систематической регулировки и наблюдения. В условиях интенсивного использования локомотивов и обслуживания их незакрепленными бригадами обеспечить подобное весьма затруднительно. Предлагаемый контроль за работой гребнесмазывателей в пути следования с записью на скоростемерную ленту для своевременного выявления неисправности не устраняет их основной недостаток – попадание смазки на поверхность катания колесных пар, что ведет к боксованию [2, 4, 5]. Этим вызвана «боязнь» локомотивных бригад использовать гребнесмазыватель на участках с тяжелым профилем пути. Необходимо отметить, что эффект от применения локомотивных гребнесмазывателей может быть получен только тогда, когда ими будет оборудовано значительная часть локомотивного парка, что конечно же требует больших капиталовложений [6].

На кафедре «Электрическая тяга» УрГУПС разработан гребнесмазыватель новой конструкции (рисунок 1). Его опытные образцы были изготовлены при содействии работников экспериментального цеха депо Карталы Южно-Уральской железной дороги. В качестве смазывающего вещества был использован мелкозернистый материал, полученный на основе пропаленного нефтяного кокса, графита марки АРВ-2 и каменноугольного пека [8].

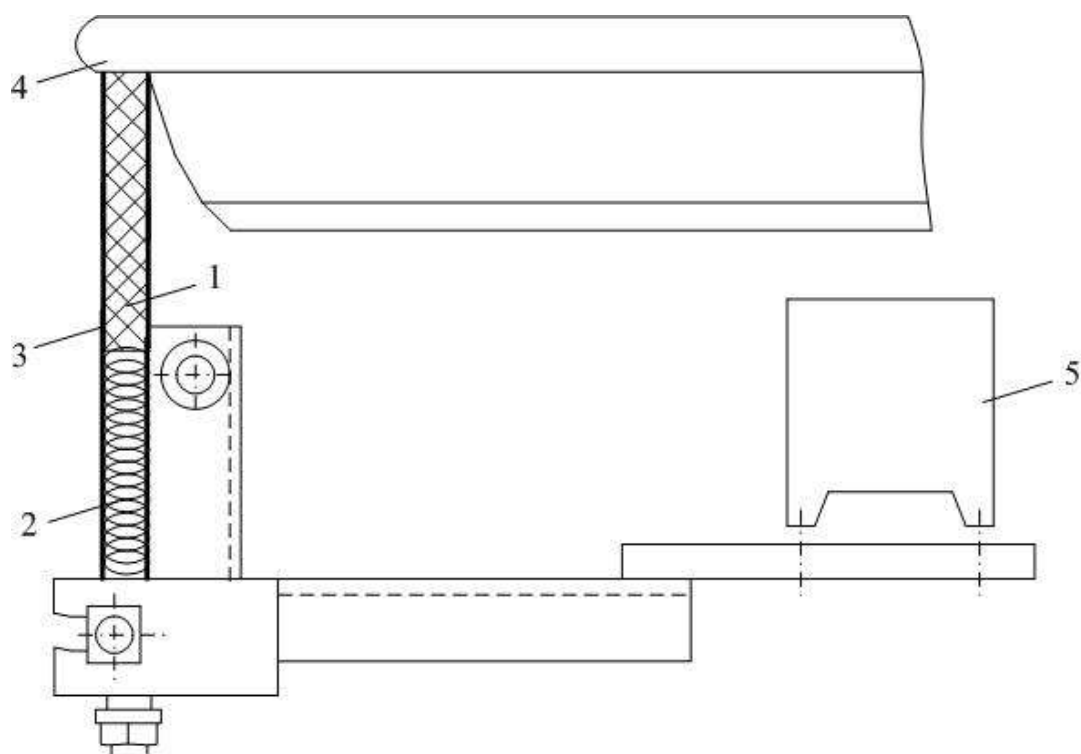


Рис. 1 – Новый гребнесмазыватель:
1 – графитовый стержень; 2 – пружина; 3 – пенал;
4 – бандаж колесной пары; 5 – буксовый узел.

Графит характеризуется высокой механической прочностью и низкой зольностью. В отличие от масел, являющихся вязкими жидкостями, он, как и другие пластические материалы, обладает вязкопластическими свойствами. В нем есть зоны, в которых отсутствует послойное скольжение, течение в них происходит как в идеальной пластической среде, вне этих зон течение вязкое. Наличие у графита самосмазывающих свойств обусловлено его высокой адгезией по отношению к различным поверхностям и легкостью скольжения по поверхности. Он ускоряет приработку поверхностей трения, улучшая одновременно их качество. Графит быстро покрывает обнажающиеся в процессе приработки участки трения, что предотвращает непосредственный контакт колеса с рельсом, наступающий обычно в первые минуты работы пары трения (при трогании локомотива с места или торможении), когда и происходит наибольшее повреждение поверхностей бандажей колесных пар и рельсов. Толщина пленки графита составляет 0,1–0,32 мм. В процессе трения пленка непрерывно восстанавливается, а возникающие деформации локализуются в ее тонком поверхностном слое [2, 10].

Опытные гребнесмазыватели были закреплены на крышках букс электровоза серии ВЛ80 депо Карталы. К гребням бандажей колесных пар графитовые стержни прижимались посредством пружин.

Наблюдение за работой новых гребнесмазывателей позволило сделать следующие выводы:

- гребнесмазыватель прост в изготовлении и обслуживании, обладает низкой себестоимостью;
- конструкция достаточно надежна, не угрожает безопасности движения;
- графит наносится тонким равномерным слоем, снижая интенсивность износа гребней;
- ресурс графитового стержня АРВ-2 при воздействии цилиндрической пружины из стали 60С2А с усилием прижатия 33,5 кгс составляет 350 км [3].

Проведенный эксперимент позволил выявить основное направление дальнейших работ – повышение износостойкости смазки в целях увеличения ресурса графитовых стержней. Для решения данной задачи было предложено вместо графита АРВ-2 применить графит ГМЗ-0 (малозольный среднезернистый), характеризующийся стабильным уровнем качества и выгодно отличающийся от графита других марок повышенной механической прочностью, эксплуатационной стойкостью и малой зольностью. Электровоз ВЛ80 с гребнесмазывателями, оборудованными графитовыми стержнями ГМЗ-0, испытывался на участках Южно-Уральской железной дороги. Ресурс стержней на участке Карталы – Магнитогорск составил 1200–1400 км, а на участке Карталы – Орск – 5000 км. При эксплуатации на первом участке стержни прижимались пружинами с усилием 33,5 кгс, на втором участке пружины были заменены на другие с усилием прижатия 12,5 кгс [4].

Аналогичные гребнесмазыватели были изготовлены в локомотивном депо Свердловск-сортировочный. Их установили на электровоз ВЛ11 № 615/616, работающий в составе трех секций. На данном локомотиве пружины в процессе эксплуатации теряли жесткость, при этом изменялось давление на графитовый стержень. Указанный недостаток потребовал внести изменения в конструкцию гребнесмазывателей. Для новой конструкции был предложен и новый материал стержня – ГМЗ ОСЧ (графит малозольный особой чистоты, не вступающий в химическое взаимодействие с углеродом). Этот материал при температуре до 75°C находится в стеклообразном состоянии, обладая достаточно высокой антифрикционной способностью. При превышении температурой указанного значения пластичность материала увеличивается и, следовательно, улучшается его смазывающая способность. Благодаря своим вязкопластическим свойствам материал обладает хорошей прилипаемостью.

Рабочая поверхность гребня бандажа колесной пары до (а) и после применения (б) гребнесмазывателя «твердого» типа показан на рисунке 2.

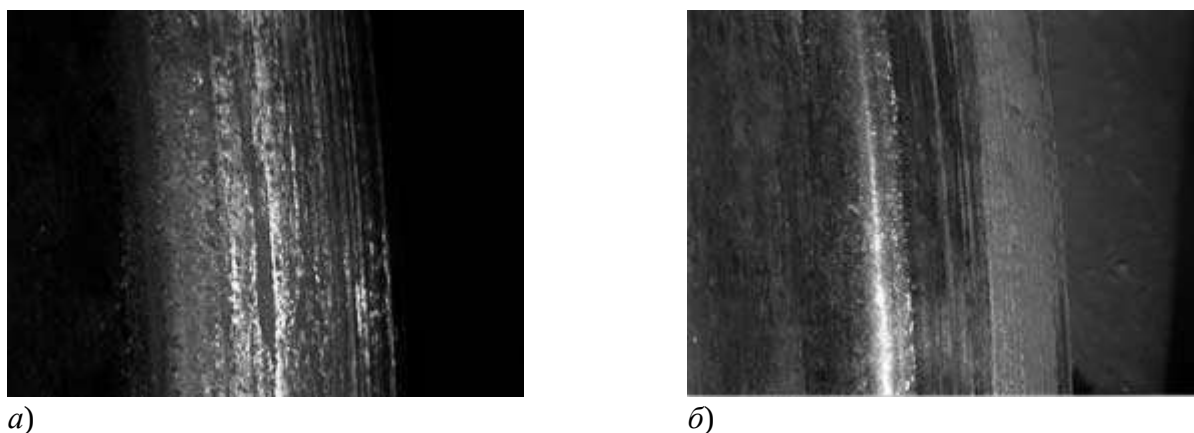


Рис. 2 – Рабочая поверхность гребня бандажа колесной пары до (а) и после применения гребнесмазывателя (б).

Прижатие графитового стержня к гребню бандажа осуществляется с помощью сжатого воздуха, давление которого может регулироваться (от 1,5 до 2,5 кгс/см²). В результате усилие прижатия поддерживается неизменным несмотря на износ стержня в процессе эксплуатации гребнесмазывателя [10]. Такое решение позволило существенно увеличить ресурс графитового стержня, доведя его до 25 тыс. км. Гребнесмазыватель работоспособен при температуре окружающего воздуха от –50 до +50 °С. Схема подвода сжатого воздуха к гребнесмазывателю показана на рисунке 3.

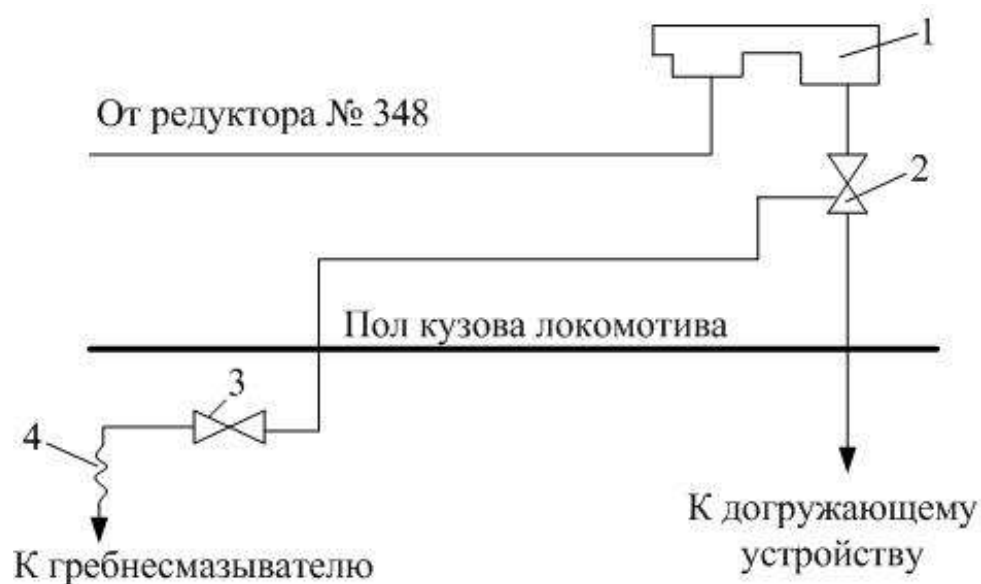


Рис. 3 – Схема подвода сжатого воздуха к гребнесмазывателю:
1 – клапан догружающего устройства; 2, 3 – краны; 4 – гибкий шланг.

За электровозом ВЛ11 № 615/616, на котором были установлены восемь гребнесмазывателей со стержнями ГМЗ ОСЧ, около года велись наблюдения на участке Свердловск-Сортировочный – Дружинино. Собранная информация позволила установить зависимости значений контролируемых параметров бандажей колесных пар (прокат, толщины гребня и бандажа) от пробега электровозов как с гребнесмазывателями, так и без них. Как показали расчеты, ресурс бандажей колесных пар обращающихся на указанном участке электровозов ВЛ11 без гребнесмазывателей составляет 578 тыс. км, при использовании гребнесмазывателей с графитовыми стержнями он увеличивается на 12,6 %, достигая 651 тыс. км. Благодаря применению разработанного гребнесмазывателя износ рельсов снизился на 8,7 %, а экономия электроэнергии составила 2,4 % [7].

Сейчас эксперимент продолжается. В Уральском государственном университете путей сообщения ведется поиск новых видов пластификаторов и конструкций гребнесмазывателей. «Эпидемия» износа пошла на убыль, но праздновать победу еще рано. Предстоит долгая и кропотливая совместная работа ученых, конструкторов, деповчан, путейцев и других специалистов, чтобы этот процесс стал управляемым.

Список литературы:

1. Буйносов А.П. Взаимодействие колеса и рельса // Путь и путевое хозяйство. – 1999. – № 5. – С. 22–25.
2. Буйносов А.П. Износ бандажей и рельсов: причины и возможности сокращения // Железнодорожный транспорт. – 1994. – № 10. – С. 39–41.
3. Буйносов А.П. Методы повышения ресурса колесных пар тягового подвижного состава: Монография. – М.: ГОУ «УМЦ по образованию на железнодорожном транспорте, 2010. – 244 с.
4. Буйносов А.П. Основные причины интенсивного износа бандажей колесных пар подвижного состава и методы их устранения. – Екатеринбург: Изд-во УрГУПС, 2009. – 224 с.
5. Буйносов А.П., Дибров С.А. Обеспечение эффективного смазывания бандажей локомотивов // Железнодорожный транспорт. – 1994. – № 11. – С. 60–61.
6. Буйносов А.П., Наговицын В.С. Гребнесмазыватель твердого типа // Локомотив. – 1995. – № 10. – С. 30–31.
7. Буйносов А.П., Наговицын В.С. Новый гребнесмазыватель на основе графитосодержащего материала // Железнодорожный транспорт. – 1996. – № 2. – С. 39–41.
8. Буйносов А.П., Трофимов М.Н., Цихалевский И.С. Эффект лубрикации // Железнодорожный транспорт. – 1998. – № 5. – С. 41–44.
9. Головатый А.Т., Исаев И.П., Горский А.В., Буйносов А.П. Система ремонта локомотивов на конкретных участках обращения / // Железнодорожный транспорт. – 1992. – № 7. – С. 40–44.
10. Наговицын В.С., Буйносов А.П. Гребнесмазыватели твердого типа // Локомотив. – 1995. – № 10. – С. 30–31. – ISSN 0869–8147.

Т. В. Бурнышева к.т.н.

Новокузнецкий филиал-институт «Кемеровский государственный университет»,
факультет информационных технологий,
кафедра математики и математического моделирования,
Россия, Новокузнецк
tburn@mail.ru

МЕТОДИКА ПРОЕКТИРОВОЧНОГО РАСЧЕТА СЕТЧАТЫХ ОБОЛОЧЕЧНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ СТАТИЧЕСКОМ НАГРУЖЕНИИ

Предложена методика проектировочного расчета сетчатых композиционных оболочек, подверженных статическому осевому сжатию, с учетом концентрации напряжений на вырезах с окантовками. Приведен алгоритм применения предложенной методики на стадии проектирования сетчатых оболочек.

Ключевые слова: сетчатые оболочечные конструкции, композиционные материалы, напряженно-деформированное состояние, концентрация напряжений.

Объектом исследования является цилиндрическая сетчатая оболочечная конструкция из композиционных материалов, содержащая некомпенсированные или усиленные окантовками вырезы технологического или конструктивного назначения. Особенность рассматриваемого класса конструкций - регулярная система кольцевых и спиральных ребер (рисунок 1). Технология намотки многослойной композитной обшивки поверх сетчатой структуры [7] позволяет создать в целом монолитную жесткую конструкцию. Вдоль образующей оболочка нагружена сжимающей силой. Погонная нагрузка распределена равномерно по торцу, на котором запрещен поворот нормали относительно касательной к круговому сечению.

Такие конструкции обладают рядом преимуществ перед гладкими оболочками, подкрепленными продольно-поперечным силовым набором. Они имеют большую несущую способность при осевом сжатии, а критические нагрузки потери устойчивости не чувствительны к начальным несовершенствам формы [7, 6, 11].

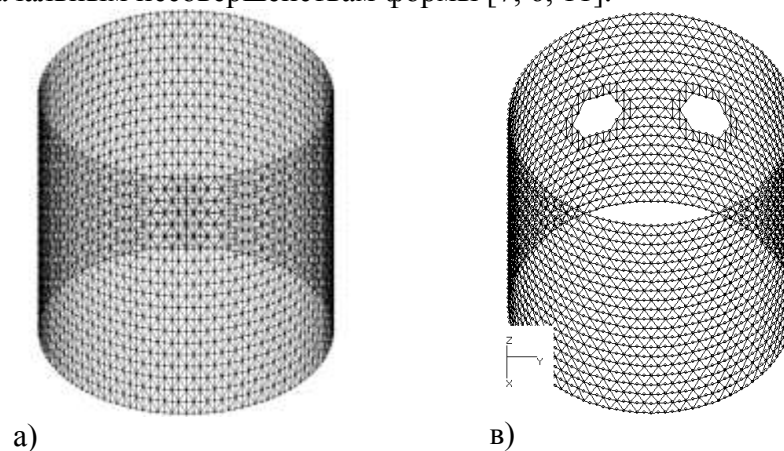


Рис. 1– Модели цилиндрических оболочечных конструкций:
а) без вырезов; в) с усиленными вырезами

Одним из классических методов расчета напряженно-деформированного состояния (НДС) рассматриваемых конструкций, является метод, в котором конструкция считается континуальной, а решение непрерывно везде в её пределах [1]. Такой подход в основном основан на аналитических методах и меньше всего задействует числовые расчеты. Конструктивное исполнение вырезов в сетчатых структурах, как правило, требует удаления целых ячеек сетки, следовательно, контур выреза имеет форму ломаной. Континуальная модель в этом случае резко завышает реальные напряжения, причем в углах отверстий напряжения, определяемые по классической линейной теории упругости, бесконечны.

Избежать появления сингулярностей подобного типа позволяет модель, основанная на полном дискретном моделировании ребер. Использование такой модели дает реальную картину полей напряжений в окрестности вырезов. Данный подход широко применялся и применяется в настоящее время, однако НДС рассчитывается либо для части конструкции, например, сетчатой панели без обшивки, вырезанной из цилиндрической оболочки [5], либо для сетчатой конструкции без технологических вырезов [9].

Полное дискретное моделирование также применяется для рационального проектирования конкретных сетчатых конструкций и расчета концентрации напряжений в них [6, 7, 8]: например, секционной крепи тоннелей в виде оболочечной конструкции сетчатой структуры [10]. Следует отметить, что результаты расчетов описывают НДС конкретной рассматриваемой конструкции при определенных нагрузках и не обобщаются для всего класса сетчатых оболочек. Таким образом, в настоящее время отсутствуют общие результаты исследования концентрации напряжений и методика расчета, необходимые при проектировании сетчатых оболочечных конструкций с технологическими или конструктивными вырезами.

Метод полного дискретного моделирования обладает существенным недостатком, который не позволяет использовать его в качестве универсального инструмента расчета НДС рассматриваемого класса оболочек на стадии проектирования. При изменении или подборе геометрических характеристик элементов конструкции или введении новых элементов в дискретную модель необходимо каждый раз перестраивать модель и заново проводить расчеты, что слишком трудоемко. Поэтому актуально получение на его основе обобщающих количественных зависимостей, позволяющих в первом приближении проводить проектировочный расчет без трудоемкого численного моделирования.

В основе предлагаемой методики проектировочного расчета лежит идея построения математической модели расчета концентрации напряжений в элементах конструкции при статических нагрузках, основанная на аналитическом решении идеализированной задачи, и получение поправок путем полного дискретного моделирования системы стержней, обшивки, окантовок конструкции. В методике используются как аналитические, так и численно-аналитические методы расчета.

На стадии проектирования конструктору без предварительного построения дискретной модели по изначально заданным размерам оболочки, физико-механическим характеристикам конструктивных элементов, приложенной нагрузке, размерам, геометрии и расположению вырезов необходимо подобрать размеры сечений ребер, толщину обшивки, число и толщины окантовок вырезов так, чтобы концентрация напряжений вблизи усилений отверстий была не выше предельно допустимой. Решая поставленную задачу с помощью предложенной методики, необходимо выполнить три этапа.

На первом этапе конструктор определяет $\delta_{обш}$ – толщину обшивки, размеры поперечных сечений ребер конструкции (b – ширина, h – высота) из условия не превышения фоновыми напряжениями ($\sigma_{Sфон}^{обшивка}$, $\sigma_{ифон}^{обшивка}$, $\sigma_{Sфон}^{ребер}$, $\sigma_{ифон}^{ребер}$) предельных значений при наперед заданных статических нагрузках. В качестве фоновых напряжений выступают напряжения в регулярных оболочках, не содержащих конструктивных, технологических вырезов и более жесткие включения (рисунок 1, а) [4].

Включение в конструкцию вырезов приводит к изменению полей фоновых напряжений. Так, в зоне выреза значения напряжений в конструктивных элементах возрастают в k раз. На втором этапе определяются значения коэффициентов концентрации напряжений в элементах конструкции вблизи некомпенсированных вырезов в зависимости от числа перерезанных спиральных и кольцевых ребер [3].

Снижение концентрации напряжений проводится на третьем этапе путем усиления вырезов. Использование аппроксимирующих зависимостей поправочных коэффициентов для коэффициентов концентрации напряжений [2] позволяет подобрать рациональные параметры усиления: количество окантовок и их геометрические размеры.

После определения конструктивных параметров обшивки, ребер и окантовок необходимо провести проверочный расчет. При этом коэффициенты концентрации напряжений на вырезах уточняются, что может выявить перегруженные и перетяжеленные элементы конструкций.

В заключение следует отметить, что предложенная методика расчета коэффициентов концентрации напряжений в обшивке и оребренной структуре оболочки из композиционных материалов при статическом деформировании является универсальной для рассматриваемого класса оболочечных конструкций со сложной структурой, что позволяет более быстро и эффективно подбирать геометрию вырезок и их размеры на стадии проектирования.

Список литературы:

1. *Андреев А.Н., Немировский Ю.В.* Многослойные анизотропные оболочки и пластины: Изгиб, устойчивость, колебания. – Новосибирск: Наука, 2001. – 288 с.
2. *Бурнышева Т.В.* Исследование статического деформирования оребренной оболочечной конструкции с технологическими вырезами // Краевые задачи и математическое моделирование: тематич. сб. науч. ст. по результ. Всеросс. Конф. (Новокузнецк, 26-27 нояб. 2010 г.). – Новокузнецк, 2010. – С. 42-52.
3. *Бурнышева Т.В.* Расчет коэффициентов концентрации при статическом деформировании ферменных конструкций из композиционных материалов // Решетневские чтения: материалы XIV Междунар. науч.конф., посвящ. памяти генерал. конструктора ракет.-космич. систем академика М.Ф. Решетнева (Красноярск, 10-12 нояб. 2010 г.). - Красноярск, 2010. – С. 380-382.
4. *Бурнышева Т.В., Каледин В.О., Миткевич А.Б., Решетникова Е.В.* Статическое деформирование композиционных сетчатых конструкций. Влияние обшивки на фоновые напряжения // Вопросы оборонной техники. – 2009. – Вып. 3(154) – 4(155). – С. 5-10.
5. *Васильев В.В., Никитин М.В., Разин А.Ф.* Исследование влияния формы ячейки на напряженное состояние композитной сетчатой конструкции при локальном нагружении // Вопросы оборонной техники. – 2005. – N 1/2. – С. 78-81.
6. *Васильев В.В., Склезнев А.А.* Продольные и изгибные колебания сетчатого композитного переходного отсека космического аппарата // Механика композиционных материалов и конструкций. – 2009. – Т.15, N 2. – С. 242-255.
7. *Васильев В.В., Разин А.Ф.* Композитные сетчатые балочные элементы для авиационных конструкций // Вопросы оборонной техники. – 2006. – N 1/2. – С. 3-6.
8. *Миткевич А. Б., Пономарев В.П., Никитин О. Д.* Разработка и экспериментальная проверка критериев моделирования напряженно-деформированного состояния эластичных резервуаров подушечного типа для хранения горючего // Вопросы оборонной техники. – 2006. – N 3/4. – С. 16-22.
9. *Пискунов В.Г. и др.* Расчет неоднородных пологих оболочек и пластин методом конечных элементов – Киев: Виша школа, 1987. – 200 с.
10. *Суханов А.В., Попов В.Г., Каледин Вл.О.* Применение стеклопластиков в силовых конструкциях крепи тоннелей, сооружаемых методом продавливания // Вопросы оборонной техники. – 2003. – N 3/4. – С. 18-30.
11. *Шухов В.Г.* Строительная механика. Избранные труды. – М.: Наука, 1977. – 193 с.

Н. В. Бутырлагин, Н. В. Ковбасюк к.т.н, Н. Н. Прокопенко д.т.н

Южно-Российский государственный университет экономики и сервиса
механико-радиотехнический факультет,
кафедра «Информационные системы и радиотехника»,
Россия, Шахты
prokopenko@sssu.ru

МЕТОД ПОВЫШЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ПРЕОБРАЗОВАНИЯ СМЕСИТЕЛЕЙ ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ СИГНАЛОВ ДЖИЛЬБЕРТА С ВЫХОДНЫМ КАСКОДОМ

Статья подготовлена в рамках госконтракта № П507
ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России»
(2009-2013 гг.)»

Предлагается метод улучшения основного технического параметра - коэффициента преобразования (K_y) большого класса низковольтных смесителей ВЧ и СВЧ сигналов Джилльберта, являющихся одним из основных функциональных узлов современных радиоприемных устройств.

Ключевые слова: смеситель, ячейка Джилльберта, каскод, коэффициент преобразования.

В качестве аналоговых смесителей (АС) двух сигналов, обеспечивающих получение колебаний промежуточной (разностной) частоты, в современных системах телекоммуникаций находят широкое применение различные модификации перемножающей ячейки Джилльберта [1-10]. Особое место в этом классе занимают IP-модули и СФ-блоки, в которых для расширения частотного диапазона АС используется выходной каскод, реализуемый как по типовым, так и по так называемым «перегнутым» (folded) схемам [11].

Существенный недостаток АС с классической архитектурой Джилльберта (рис. 1а) состоит в том, что они имеют сравнительно малый коэффициент преобразования по напряжению (K_y), характеризующий уровень амплитуд выходной гармоники промежуточной частоты при заданных значениях входных сигналов u_x , u_y с частотами f_x и f_y . Небольшие значения K_y данных АС обусловлены ограничениями на численные значения сопротивлений резисторов коллекторной нагрузки R_1 и R_2 , которые при малых напряжениях питания (например, $E_n = \pm 2,5$ В) должны выбираться сравнительно низкоомными.

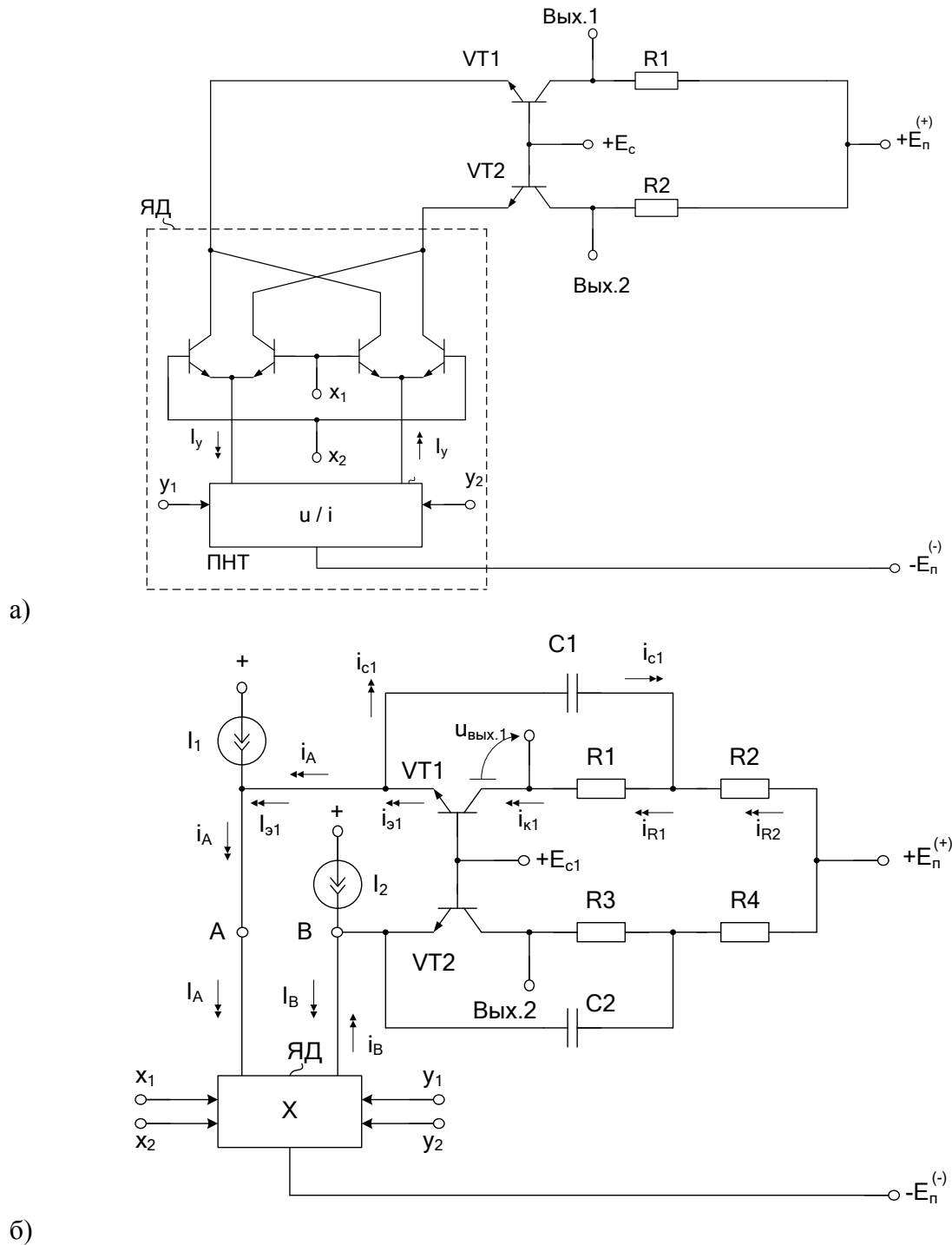


Рис. 1 - Схема классического (а) и предлагаемого (б) АС Джи́льберта.

Синусоидальные напряжения первого сигнала u_x (на входах x_1, x_2) и второго сигнала (на входах y_1, y_2) u_y «перемножаются» традиционным образом [1-4] в ячейке Джи́льберта (ЯД). Приращение тока эмиттера ($i_{э1}$) и коллектора ($i_{к1}$) транзистора VT1 определяются суммой токов конденсатора C1 и выходного тока i_A ячейки ЯД:

$$i_{к1} = \alpha_1(i_A + i_B),$$

где $\alpha_1 \leq 1$ - коэффициент усиления по току эмиттера транзистора VT1.

Причем

$$i_{с1} \approx i_{к1} \frac{R_2}{R_2 + r_{э1}} = K_d i_{к1},$$

где R_2 – сопротивление резистора R_2 ;

$r_{\pi 1}$ – дифференциальное сопротивление эмиттерного перехода транзистора VT1;

$$K_d = \frac{R_2}{R_2 + r_{\pi 1}} \leq 1.$$

Таким образом, напряжение $u_{\text{вых.1}}$ на выходе АС рис. 1б

$$u_{\text{вых.1}} \approx R_1 i_{k1} = \frac{R_1 \alpha_1 i_A}{1 - K_d \alpha_1} \approx \frac{R_1}{1 - T} i_A,$$

где $T = K_d \alpha_1 \approx 1$.

Если обеспечить $T \approx 1$, то амплитуда выходного напряжения в АС (рис. 1б) будет в N_c -раз больше, чем в классическом АС рис. 1а, где

$$N_c = \left| \frac{1}{1 - T} \right| \gg 1.$$

Данные выводы подтверждаются результатами компьютерного моделирования АС в среде Cadence на моделях SiGe интегральных транзисторов, показанными на рисунках 2-4. На рисунке 2 приведена логарифмическая амплитудно-частотная характеристика коэффициента преобразования АС рис. 1б и изменении ёмкости конденсатора $C_1 = C_{\text{var}}$ в диапазоне 0÷500 пФ.

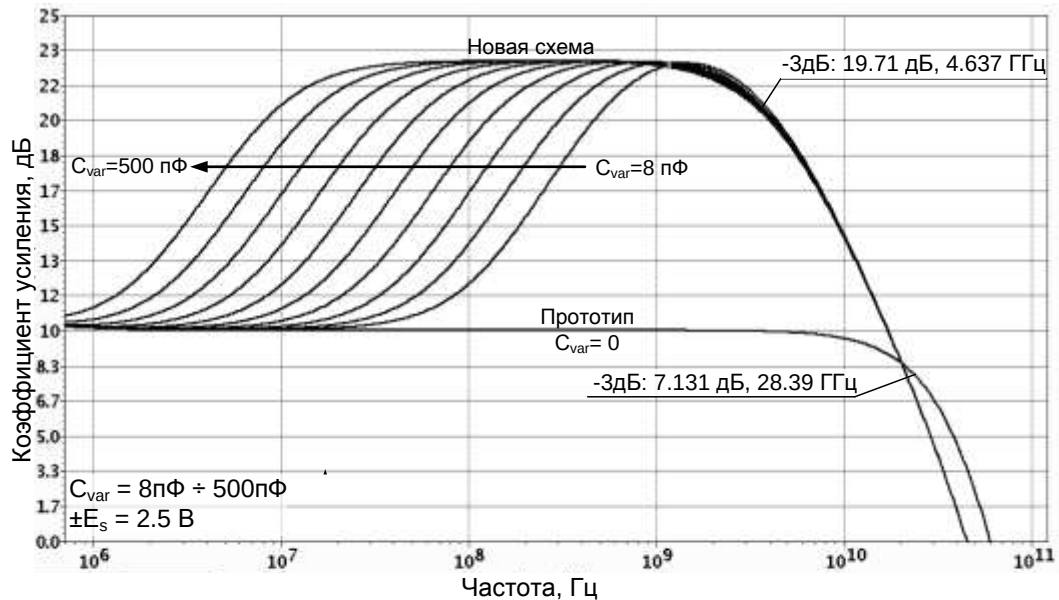


Рис. 2 - Логарифмическая амплитудно-частотная характеристика коэффициента преобразования АС.

Таким образом, предлагаемый АС имеет более высокий коэффициент преобразования, характеризующий уровень выходной гармоники с промежуточной частотой.

Дальнейшее повышение K_y связано с уменьшением отношения $r_{\pi 1} / R_2 \rightarrow 0$. В этом предельном случае выигрыш по K_y в схеме рис. 1б может достигать значения

$$N_c^* = \frac{1}{1 - \alpha_1} \approx \beta_1 \gg N_c,$$

где β_1 - коэффициент усиления по току базы транзистора VT1.

Если стоит задача расширения диапазона рабочих частот АС в сторону более низких значений f_x, f_y , то вместо конденсаторов C_1 и C_2 целесообразно применять цепочки из нескольких р-п переходов или более сложные транзисторных схемы стабилизаторов напряжения с малым дифференциальным сопротивлением (диоды Виллара и т.п.).

Включение токостабилизирующих двухполюсников I_1 и I_2 позволяет обеспечить меньшее статическое напряжение на резисторах R1 и R2 при низковольтном питании и, как следствие, увеличить их сопротивления и тем самым дополнительно повысить коэффициент преобразования АС.

Кроме этого, источники тока I_1 и I_2 (или резисторы) позволяют обеспечить работоспособность схемы АС рис. 1б, выходной каскод которой реализован на р-п-р транзисторах. Данная схема особенно перспективна при низковольтном питании.

На рисунке 3 показана зависимость модуля коэффициента преобразования по напряжению K_y смесителя рис. 1б от тока управления (I_y) по каналу «Y».

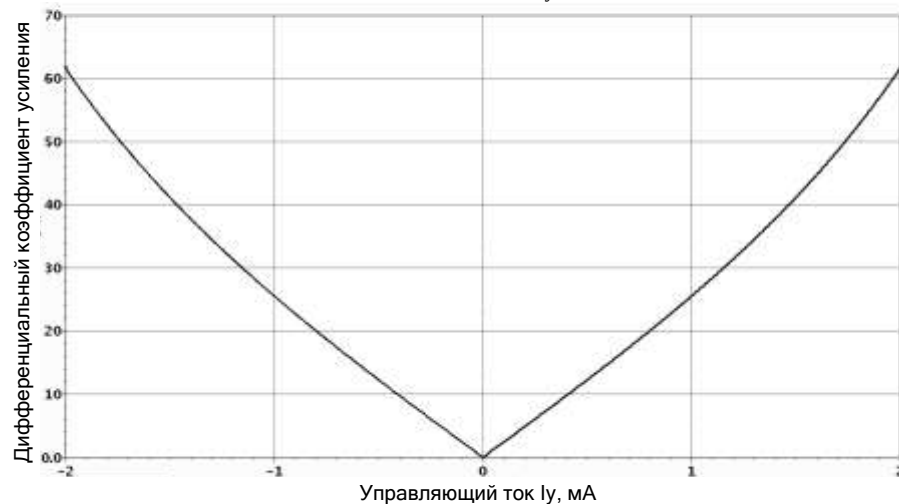
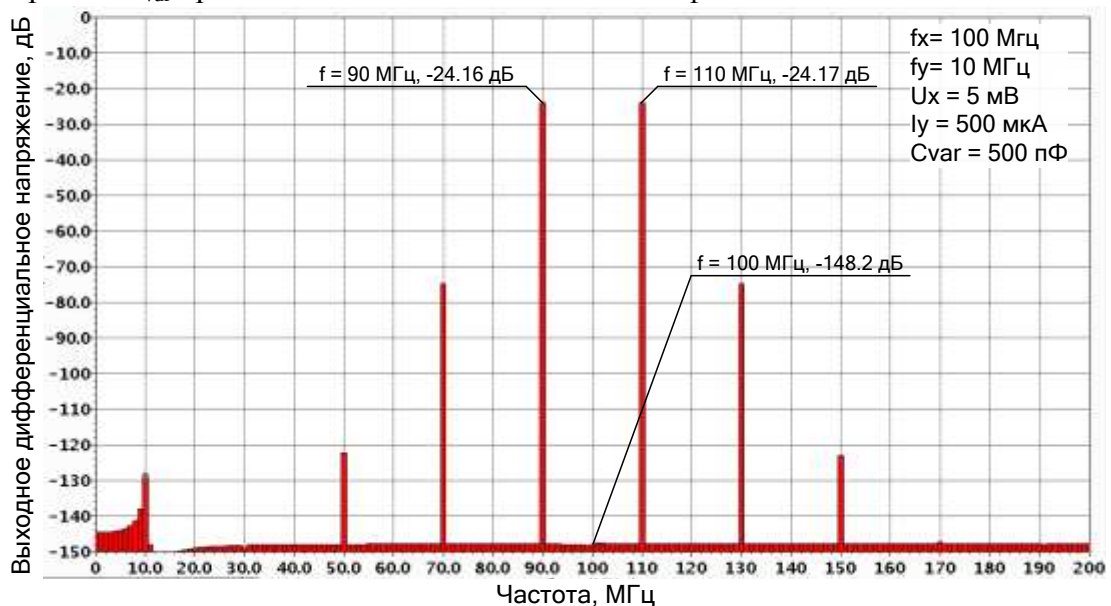
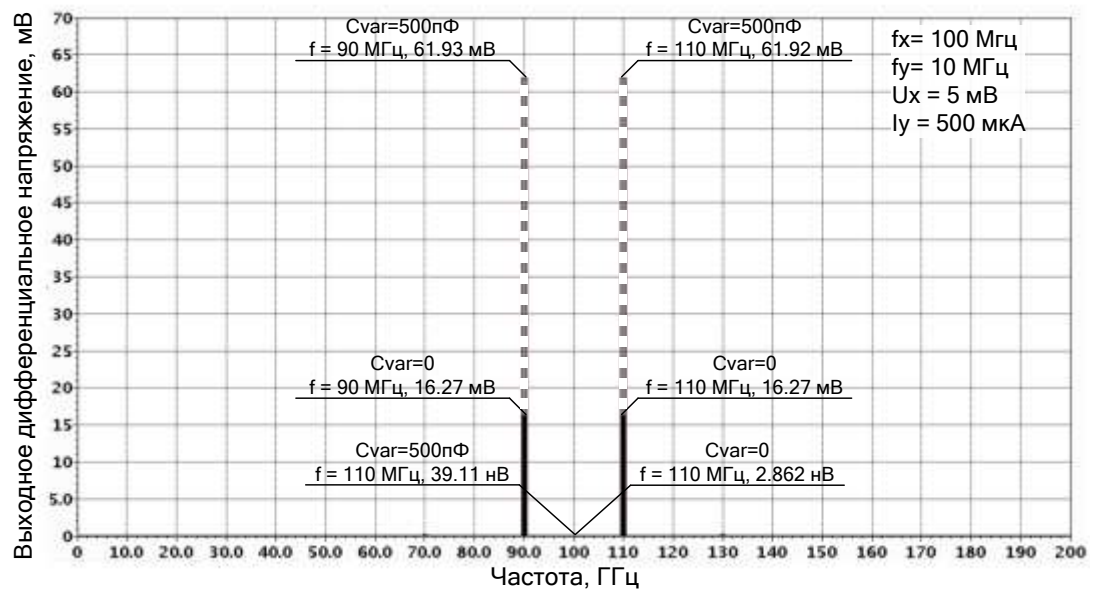


Рис. 3 - Зависимость модуля коэффициента преобразования смесителя рис. 1б от тока управления I_y по каналу «Y».

На рисунке 4 показан спектр выходных сигналов сравниваемых АС, в которых ёмкость конденсатора $C1=C_{var}$ принимает два значения: 500 пФ и 1 фФ.



а)



б)

Рис. 4 - Спектр выходных сигналов предлагаемого (а) и сравниваемых (б) АС.

Таким образом, рассмотренный метод повышения коэффициента преобразования аналоговых смесителей Джилберта обеспечивает улучшение этого параметра в несколько раз.

Список литературы:

1. Prokopenko N.N., Serebryakov A.I., Konev D.N. The BiFET-Technology Voltage Analog Multipliers Based on the Radiation Resistant ABMC «Integral» // International Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON-2009). Proceedings. – Tomsk: The Tomsk IEEE Chapter&Student Branch. Russia, Tomsk, March 27-28, 2009. – Pp. 244-248.
2. Прокопенко Н.Н., Будяков П.С., Серебряков А.И. Архитектуры аналоговых перемножителей напряжения на базе SiGe субмикронной технологии // Труды Международной научно-технической конференции и молодежной школы-семинара «Нанотехнологии-2010». – Изд-во ТТИ ЮФУ, 2010. – С. 109-110
3. Prokopenko N.N., Budyakov P.S., Serebryakov A.I. Analog Controlled Amplifiers and Voltage Multipliers Based on Modified Gilbert Cells // 5th European Conference on Circuits and Systems for Communications (ECCSC'10) November 23–25, 2010, Belgrade, Serbia. – Pp. 140-144
4. Прокопенко Н.Н., Серебряков А.И., Хруслов А.А. Низковольтный аналоговый перемножитель напряжений: пат. 2394358 // Бюллетень. Изобретения. Полезные модели. – 2010. - № 19. – С. 510 (158)
5. Прокопенко Н.Н., Серебряков А.И., Конев Д.Н. Архитектура аналоговых перемножителей напряжений на базе модифицированной ячейки Джилберта // Ежемесячный научный журнал «Молодой ученый». - №2, 2009. – С.22-25.
6. Будяков П.С., Конев Д.Н., Прокопенко Н.Н., Серебряков А.И. Управляемые усилители и перемножители напряжения на основе каскадов с отрицательной обратной связью по синфазному сигналу // Проблемы современной аналоговой микросхемотехники: VII международный научно-практический семинар. В 2 ч. Ч.1 / гл. ред. Н.Н. Прокопенко; редкол.: В.Г.Немудров [и др.]. – Шахты: ГОУ ВПО «ЮРГУЭС», 2009. – С. 52-58
7. Серебряков А.И., Прокопенко Н.Н., Будяков П.С. Четырехквадрантные аналоговые перемножители сигналов двухполюсных сенсоров неэлектрических величин // Проблемы современной аналоговой микросхемотехники: VII Междунар. науч-практ. семинар. В 2 ч. Ч.2 / гл. ред. Н.Н. Прокопенко; редкол.: В.Г.Немудров [и др.]. – Шахты: ГОУ ВПО «ЮРГУЭС», 2010. – С. 97-101
8. Прокопенко Н.Н., Конев Д.Н., Будяков П.С. Особенности архитектур аналоговых перемножителей с малым напряжением питания // Проблемы современной аналоговой микросхемотехники: VII Междунар. науч-практ. семинар. В 2 ч. Ч.2 / гл. ред. Н.Н. Прокопенко; редкол.: В.Г.Немудров [и др.]. – Шахты: ГОУ ВПО «ЮРГУЭС», 2010. – С. 132-138
9. Прокопенко Н.Н., Серебряков А.И., Конев Д.Н. Управляемые усилители и перемножители сигналов на основе комплементарных каскадов // Проблемы современной аналоговой микросхемотехники: VII Междунар. науч-практ. семинар. В 2 ч. Ч.2 / гл. ред. Н.Н. Прокопенко; редкол.: В.Г.Немудров [и др.]. – Шахты: ГОУ ВПО «ЮРГУЭС», 2010. – С. 138-142
10. Будяков П.С., Прокопенко Н.Н., Конев Д.Н. Аналоговые перемножители с несимметричным выходом // Проблемы современной аналоговой микросхемотехники: VII Междунар. науч-практ. семинар. В 2 ч. Ч.2 / гл. ред. Н.Н. Прокопенко; редкол.: В.Г.Немудров [и др.]. – Шахты: ГОУ ВПО «ЮРГУЭС», 2010. – С. 155-159
11. Прокопенко Н.Н., Ковбасюк Н.В. Архитектура и схемотехника аналоговых микросхем с собственной и взаимной компенсацией импедансов: монография. – Шахты: Изд-во ЮРГУЭС, 2007. – 326 с.

В. И. Воловач к.т.н. А. С. Мамедов

Поволжский государственный университет сервиса,
кафедра «Информационный и электронный сервис»,
Россия, Тольятти,
ssunrise@mail.ru, beast-87@yandex.ru

ПРИМЕНЕНИЕ ЛОГИКО-ВЕРОЯТНОСТНОГО ПОДХОДА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ДОСТОВЕРНОСТИ КРИТЕРИАЛЬНЫХ ОЦЕНОК СИСТЕМ ОБНАРУЖЕНИЯ БЛИЖНЕГО ДЕЙСТВИЯ

В статье рассматривается возможность повышения достоверности оценки качества систем обнаружения ближнего действия при помощи логико-вероятностного подхода. В качестве мерил оценки выбраны критерии Байеса и Неймана-Пирсона. Авторами приведен алгоритм применения классического логико-вероятностного подхода с соответствующими аналитическими зависимостями. Также рассматривается возможность применения алгебры corteжей и функции выигрыша для повышения функциональности системы обнаружения.

Ключевые слова: критерий Байеса, критерий Неймана-Пирсона, логико-вероятностный подход, алгебра corteжей, функция выигрыша.

Оценить эффективность работы системы обнаружения ближнего действия можно при помощи критериев качества. Решение о применении того или иного критерия зависит от наличия или отсутствия априорных данных.

Рассмотрим возможность оценки эффективности работы системы обнаружения при помощи двух критериев: Байеса и Неймана-Пирсона. Критерий Байеса применяется в случае наличия априорных данных, а критерий Неймана-Пирсона – при их отсутствии.

Проанализируем условия, необходимые для применения критерия Байеса [2].

Задача обнаружения объекта является вероятностной. Каждому моменту обнаружения предшествует наступление одного из двух событий: H_1 или H_0 . Данные события являются априорными. В зависимости от результата наступившего события (H_1 или H_0) происходит событие A_1 или A_0 , которые, в свою очередь, носят название апостериорных.

Таким образом, можно отметить следующие возможные ситуации:

1. H_1A_1 – произошло проникновение нарушителя, и принято решение, что произошло проникновение нарушителя;
2. H_1A_0 – произошло проникновение нарушителя, и принято решение, что не произошло проникновения нарушителя;
3. H_0A_1 – не произошло проникновения нарушителя, и принято решение, что произошло проникновение нарушителя;
4. H_0A_0 – не произошло проникновения нарушителя, и принято решение, что не произошло проникновения нарушителя.

Для детального анализа каждой из возможных ситуаций им ставится в соответствие цена риска, которая характеризует последствия, возникающие после наступления той или

иной ситуации. Значения рисков удобно представлять в виде матрицы:
$$C = \begin{pmatrix} C_{00} & C_{01} \\ C_{10} & C_{11} \end{pmatrix}.$$

Значения рисков присваиваются в зависимости от желательности или не желательности соответствующей ситуации. Например, события H_1A_1 и H_0A_0 соответствуют случаям, при которых принимается верное решение, поэтому полагают, что $C_{00} < C_{10}$, $C_{11} < C_{01}$. В итоге, в процессе присвоения событиям того или иного значения риска, можно оценить наиболее нежелательное из них.

Логично, что риски, связанные с верными процедурами обнаружения и не обнаружения объекта равны нулю. В случае, если имеет место ложная тревога, то потери будут связаны, например, со снижением бдительности персонала охраны или с затратами ресурсов на транспортировку техники и людей до места возможного нахождения нарушителя. В случае пропуска сигнала, нарушитель не будет замечен системой безопасности, что позволит ему беспрепятственно проникнуть на охраняемую территорию и выполнить поставленные задачи.

Рассматривая многократное повторение моментов обнаружения, можно представить выражение для нахождения среднего риска:

$$\bar{C} = C_{11}P(H_1A_1) + C_{10}P(H_1A_0) + C_{01}P(H_0A_1) + C_{00}P(H_0A_0) \quad (1)$$

В соответствии с критерием Байеса, принятое решение является оптимальным только в случае, если оно приводит к минимизации значения среднего риска, т.е. $\bar{C} \rightarrow \min$.

Принимая во внимание теорему о произведении событий, выражение (1) примет следующую форму:

$$\begin{aligned} \bar{C} = & C_{11}P(H_1)P(A_1 | H_1) + C_{10}P(H_1)P(A_0 | H_1) + C_{01}P(H_0)P(A_1 | H_0) + \\ & + C_{00}P(H_0)P(A_0 | H_0) \end{aligned} \quad (2)$$

Для удобства сделаем следующие замены:

$$\begin{aligned} P_D = P(A_1 | H_1); P_{\bar{D}} = P(A_0 | H_1); P_F = P(A_1 | H_0); P_{\bar{F}} = P(A_0 | H_0); P(H_1) = p; \\ P(H_0) = q. \end{aligned} \quad (3)$$

Учитывая, что $A_0 = \bar{A}_1$, то

$$P_D + P_{\bar{D}} = 1; P_F + P_{\bar{F}} = 1. \quad (4)$$

Выражая из (4) $P_{\bar{D}}$ и $P_{\bar{F}}$ и учитывая (3), получим:

$$\begin{aligned} \bar{C} = & C_{11}pP_D + C_{10}p - C_{10}pP_D + C_{01}qP_F + C_{00}q - C_{00}qP_F = \\ = & (C_{10}p + C_{00}q) - (C_{10} - C_{11})pP_D + (C_{01} - C_{00})qP_F = \end{aligned} \quad (5)$$

$$= (C_{10}p + C_{00}q) - (C_{10} - C_{11})p \left(P_D - \frac{(C_{01} - C_{00})q}{(C_{10} - C_{11})p} P_F \right) = A(1 - B(P_D - \Lambda_0 P_F)),$$

$$\text{где } \Lambda_0 = \frac{(C_{01} - C_{00})q}{(C_{10} - C_{11})p}, A = (C_{10}p + C_{00}q) > 0, B = \frac{(C_{10} - C_{11})p}{C_{10}p + C_{00}q} > 0.$$

Таким образом, руководствуясь выражением (5), можно сделать вывод, что для минимизации среднего риска необходимо максимизировать величину $P_D - \Lambda_0 P_F$, т.е.

$$\bar{C} \rightarrow \min \Leftrightarrow P_D - \Lambda_0 P_F \rightarrow \max \quad (6)$$

Из выражения (6) следует, что для минимизации среднего риска необходимо минимизировать величину Λ_0 , а отсюда следует, что результирующее понижение среднего риска будет определяться платами за ложную тревогу и пропуск объекта, но они будут иметь разные вектора развития, так как плата за пропуск объекта, очевидно, должна быть выше, чем за ложную тревогу. Таким образом, величина Λ_0 является порогом обнаружителя.

В случае применения критерия Байеса определяющую роль играют платы за соответствующие события, а также если известны вероятности наступления или не наступления события. Однако если данные вероятности в виду разного рода причин неизвестны, то возникает так называемая априорная неопределенность и оценить эффективность работы системы обнаружения становится проблематично. В данной ситуации для решения поставленной задачи можно применить критерий Неймана-Пирсона.

В соответствии с критерием Неймана-Пирсона необходимо искать минимум вероятности пропуска объекта $P(H_1 A_0) = p_{no}$ при заданной вероятности ложной тревоги $P(H_0 A_1) = p_{\text{лт}}$. По сути, критерий Неймана-Пирсона является частным случаем критерия Байеса, однако имеют место плотности распределения вероятностей.

Проанализируем возможность повышения достоверности оценки эффективности работы системы обнаружения с помощью логико-вероятностного метода [4]. Необходимо отметить, что основная проблема классического логико-вероятностного подхода, как и любого аналитического метода, заключается в наличии исходных данных. Невозможность получения достоверной информации может не просто снизить эффективность, но и полностью лишить смысла применение конкретного метода. Для логико-вероятностного подхода исходными являются вероятности наступления $P(H_1)$ или не наступления события $P(H_0)$. Для получения исходных данных, как правило, проводятся испытания, от результатов которых напрямую зависит качество работы системы обнаружения.

Приведем пример. В качестве цели анализа эффективности системы обнаружения выступит выполнение ею своей основной функции – своевременное обнаружение нарушителя, проникшего на охраняемую территорию. В качестве возможной тактики поведения нарушителя рассмотрим скрытое проникновение. Ограждение периметра охраняемой территории можно преодолеть такими способами, как перелаз (Z_1), пролом ограждения (Z_2) и подкоп (Z_3). В качестве способов проникновения через контрольно-пропускной пункт выделим: обход системы контроля доступа (Z_5) и ошибочную идентификацию (нарушитель выдает себя за другого человека) (Z_6). Можно также выделить возможность не обнаружения нарушителя системой видеонаблюдения (Z_4). Данные способы проникновения обладают соответствующими вероятностями. На основании этих данных строится граф сценария возможного проникновения нарушителя (рис. 1).

На основании графа событий составляется целевая функция:

$$y = (Z_1 \vee Z_2 \vee Z_3) \wedge Z_4 \vee (Z_5 \vee Z_6) \quad (7)$$

Для удобства выражение (7) можно представить в форме дизъюнкций элементарных конъюнкций, т.е. в ДНФ:

$$y = Z_1 \wedge Z_4 \vee Z_2 \wedge Z_4 \vee Z_3 \wedge Z_4 \vee Z_5 \vee Z_6 \quad (8)$$

Так как выражение (8) не представляет собой совершенную дизъюнктивную нормальную форму, то от него нельзя сразу перейти к вероятностной функции. Однако по данному выражению можно определить кратчайшие пути развития опасности, т. е. минимальный набор событий, конъюнкция которых приводит к возникновению критического состояния: 1) $Z_1 \wedge Z_4$ (перелаз нарушителя через ограждение периметра охраняемой территории и не обнаружение нарушителя системой видеонаблюдения); 2) $Z_2 \wedge Z_4$ (пролом нарушителем ограждения периметра охраняемой территории и не обнаружение нарушителя системой видеонаблюдения); 3) $Z_3 \wedge Z_4$ (подкоп нарушителем ограждения периметра охраняемой территории и не обнаружение нарушителя системой видеонаблюдения); 4) Z_5 (обход нарушителем системы контроля доступа); 5) Z_6 (ошибочная идентификация нарушителя).

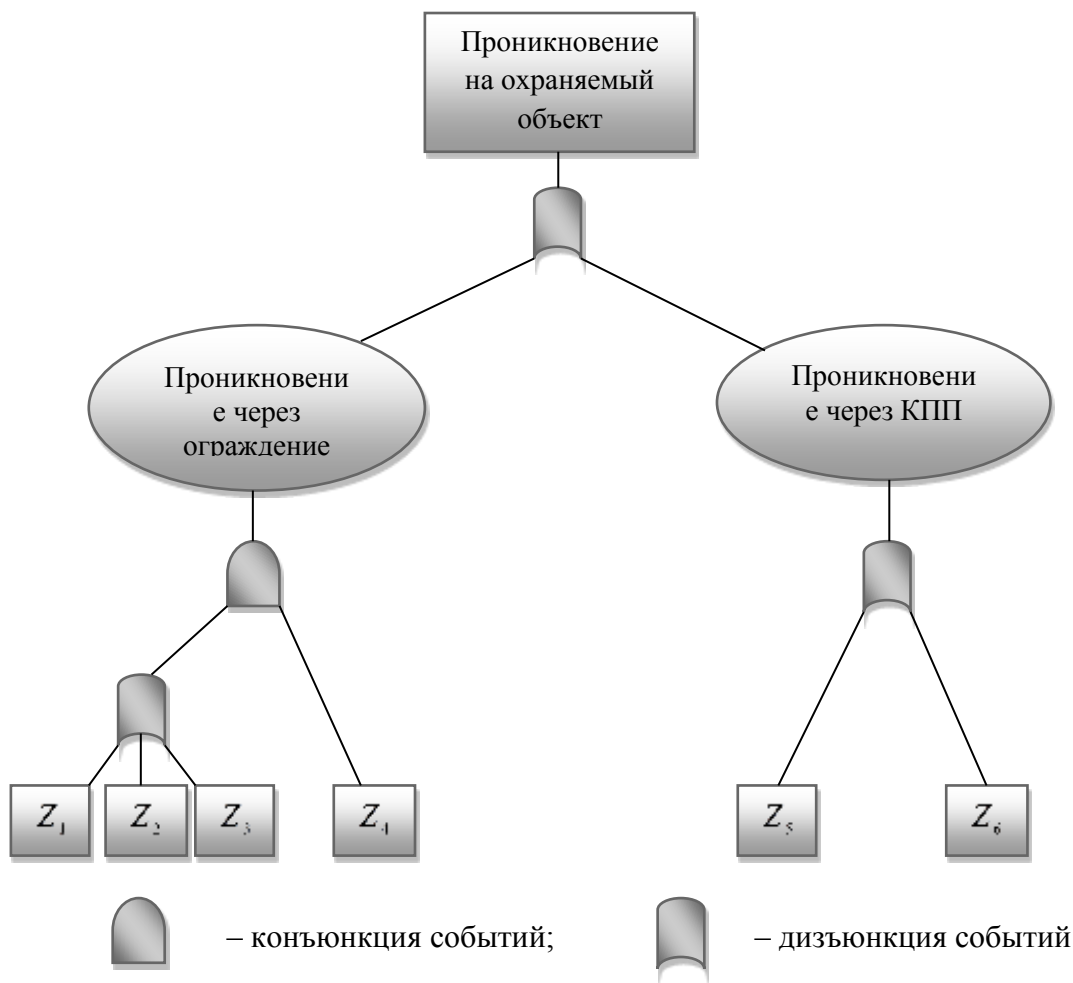


Рис. 1. Граф сценария возможного проникновения нарушителя.

Для получения вероятностной функции можно представить целевую функцию в виде бесповторной булевой функции в базисе конъюнкция-отрицание:

$$y = (Z_1 \vee Z_2 \vee Z_3) \wedge Z_4 \vee (Z_5 \vee Z_6) = Z_4 \wedge \overline{Z_1} \wedge \overline{Z_2} \wedge \overline{Z_3} \wedge \overline{Z_5} \wedge \overline{Z_6} \quad (9)$$

Далее можно составить вероятностную функцию $\Psi(y)$, учитывая, что Z_i заменяется на P_i , $\overline{Z_i}$ – на $Q_i = 1 - P_i$, а вместо логических операций записывают арифметические:

$$\Psi(y) = P_4(1 - (1 - P_1)(1 - P_2)(1 - P_3)(1 - P_5)(1 - P_6)) \quad (10)$$

В итоге, подставляя числовые значения вероятностей тех или иных событий, можно получить конкретную количественную характеристику работы системы обнаружения. На основании построенной логико-вероятностной модели возможного проникновения можно определить уязвимые места системы безопасности и уделить им пристальное внимание.

Необходимо отметить, что применение критерия Неймана-Пирсона целесообразно, в случае если известна функция распределения вероятности [1], даже в условиях отсутствия информации о ее параметрах. Как уже было отмечено, для оценки качества работы системы обнаружения с помощью критерия Неймана-Пирсона не обязательно знать исходные вероятности наличия или отсутствия объекта в зоне обнаружения. В данной ситуации, когда информация об исходных вероятностях событий неизвестна, или она не вызывает достаточной уверенности, можно воспользоваться не логикой вероятностей, а вероятностной логикой – логической системой, в которой оперируют непрерывной шкалой значений

истинности $[0, 1]$. В данном случае 0 соответствует невозможному событию, а 1 – практически достоверному. Таким образом, мы имеем дело с разновидностью многозначной логики. В случае если нет достаточных оснований считать, что событие произойдет или нет, можно сделать предположение о его наступлении или не наступлении, другими словами, соотнести событие с гипотетической вероятностью, которая может принимать действительное значение из интервала $[0, 1]$. Вероятность гипотезы, которая зависит как от ее содержания, так и от эмпирической информации о конкретном событии, представляет собой их функцию. В случае получения истинностных значений гипотез к ним уже можно будет применять логические операции (дизъюнкцию, конъюнкцию, отрицание), и задача сводится к простейшему варианту решения. В результате, вероятностная логика может служить неким промежуточным аппаратом, которым можно будет воспользоваться в случае дефицита исходных данных. Поэтому вероятностная логика представляет собой уточнение индуктивной логики.

Также для повышения универсальности системы можно воспользоваться аппаратом алгебры кортежей [3]. Допустим, что мы создаем некую базу знаний, которая содержит группу объектов. Также выделяем набор атрибутов, характерных для объектов. Каждый атрибут может принимать значения из интервала $[0, 1]$. В алгебре кортежей применяется операция декартова произведения (ДП) множеств $A_1, A_2, \dots, A_k$, которая представляется как структура $[A_1 A_2 \dots A_k]$ и называется C -кортеж (одна из пяти структур АК). Множества A_i называются компонентами C -кортежа. В АК операцию объединения ДП можно выразить с помощью следующего равенства:

$$[A_1 A_2 \dots A_k] \cup [B_1 B_2 \dots B_k] = \begin{bmatrix} A_1 A_2 \dots A_k \\ B_1 B_2 \dots B_k \end{bmatrix}. \quad (10)$$

В правой части равенства (10) появляется структура АК, подобная матрице, которая носит название C -системы. Ее можно интерпретировать как объединение элементарных кортежей, содержащихся в соответствующих C -кортежах. C -система является универсальной структурой, так как с ее помощью можно представить любое многоместное отношение.

Не приводя всех структур и особенностей АК, можно отметить следующее. Как элементарный кортеж, так и C -кортеж может представлять собой конкретный объект со своим набором параметров, имеющих определенные значения. Объединяя элементарные кортежи или, соответственно, C -кортежи, можно получать группы объектов, тем самым, делая базу знаний более гибкой и удобной в эксплуатации. Применение элементарного кортежа, C -кортежа, C -системы в качестве возможных объектов или их групп, позволит нивелировать влияние субъективного фактора сотрудника службы безопасности, тем самым, представляется возможным снизить вероятность ложных тревог за счет определенности записей базы знаний. Но это не говорит о снижении бдительности персонала охраны, а лишь о создании условий для ее эффективной работы.

Необходимо отметить, что рассмотренные (далеко не все) инструменты логико-вероятностного подхода к организации системы обнаружения не представляются авторами универсальным средством обнаружения со стопроцентным КПД, а аппаратом, позволяющим повысить достоверность результатов оценки систем обнаружения при помощи критериев качества.

В качестве инструмента для повышения достоверности обнаружения представляется возможным использование базового метода теории игр – функции выигрыша. В данном случае, можно рассмотреть множество возможных ситуаций, связанных с проникновением нарушителя и выбрать соответствующие методы защиты, базирующиеся на своевременном и качественном обнаружении. Функция выигрыша определена на множестве всех возможных ситуаций проникновения, и ее значение будет соответствовать степени полезности методики

обнаружения. Таким образом, функция выигрыша является неким «фильтром», позволяющим определить наиболее эффективную методику обнаружения.

Рассмотренный инструментарий, в том числе, будет использован в дальнейших исследованиях авторов, которые будут направлены на совершенствование методик обнаружения, связанных с определением параметров движения объектов со сверхмалыми скоростями перемещения, а также на проверку эффективности от комбинации критериев оценки качества систем обнаружения.

Список литературы:

1. Воловач, В.И. Накапливающаяся вероятность обнаружения объектов в зоне контроля радиотехнических охранных устройств [Текст] / В.И. Воловач: // Электротехнические и информационные комплексы и системы. № 1, т. 7, 2011. – М.: Изд-во РГУТиС, 2011. – С. 17–20.
2. Исаков, В.Н. Статистическая теория радиотехнических систем [Электронный ресурс]. – М.: МИРЭА, 2010. – Режим доступа: <http://strts-online.narod.ru/>
3. Кулик, Б.А. Обобщенный подход к моделированию и анализу интеллектуальных систем на основе алгебры кортежей [Текст] // Труды VI Межд. конференции «Идентификация систем и задачи управления» SICPRO '07. – Москва, 2007 г. – С. 679-715.
4. Панин, О.А. Анализ безопасности интегрированных систем защиты: логико-вероятностный подход [Текст] / О.А. Панин: // Специальная техника. – 2004. – №5.

В. И. Дождиков д.т.н., Д. С. Мордовкин, И. Н. Чмырёв к.т.н.

Липецкий государственный технический университет,
Металлургический институт,
кафедра теплофизики
Россия, Липецк
dcmordovkin@rambler.ru

ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ НАГРЕВА СЛЯБОВ ПЕРЕД ГОРЯЧЕЙ ПРОКАТКОЙ

В работе рассмотрена оптимизация режимов нагрева слабов по частным критериям, характеризующим качество нагрева слабов перед горячей прокаткой. Результаты работы показывают качественные и количественные различия в решении задач оптимизации для различных критериев.

Ключевые слова: режим нагрева, методические печи, оптимизация.

Нагрев стали под обработку давлением оказывает существенное влияние на формирование качественных характеристик конечной металлопродукции и экономических показателей металлургического предприятия.

Существенным фактором, влияющим на ресурсоёмкость и себестоимость металлопродукции, являются потери металла вследствие высокотемпературного окисления (угара) достигающие 1-2%. Энергоёмкость процесса нагрева стали перед прокаткой составляет порядка 12-15% всей энергоёмкости производства металлопродукции на металлургическом предприятии полного цикла.

Анализ известных работ в области оптимизации режимов нагрева слитков перед прокаткой, выполненных ведущими отечественными и зарубежными исследователями, показывает, что наибольшее внимание уделено оптимизации режимов нагрева стали по критерию энергопотребления [1, 2, 3]. При этом практически отсутствуют работы, посвящённые оптимизации процесса формирования сложного температурного поля нагреваемого слитка, непосредственно определяющего механические свойства и геометрические параметры готовой продукции. Целью данной работы являлся сравнительный анализ решений оптимизационных задач по режимам нагрева слитков перед горячей прокаткой по выбранным частным критериям качества процесса.

В качестве основы для решения рассмотренных в работе оптимизационных задач использовали математическую модель, включающую в себя модуль расчета внешнего теплообмена, модуль определения параметров теплового состояния заготовки, модуль расчета тепловых балансов и технико-экономических показателей [4].

Геометрические и физические условия однозначности соответствовали технологии нагрева металла в методической печи, показанной на рис. 1.

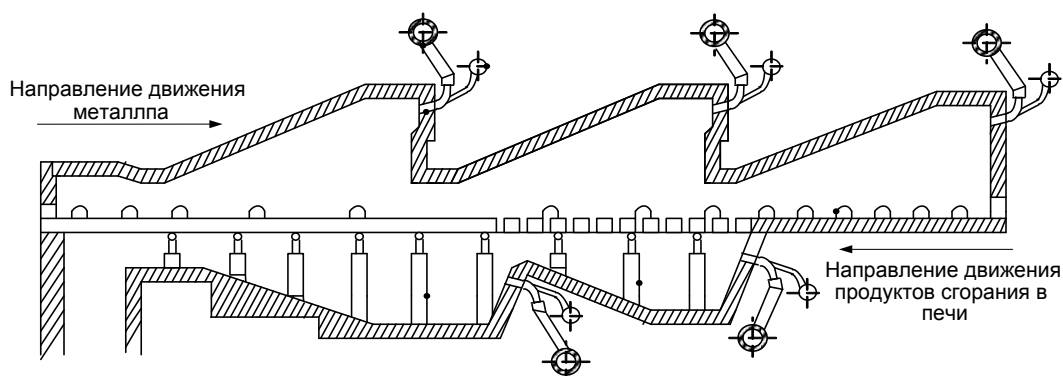


Рис. 1– Схема печи.

Формулирование ограничений для параметров процесса нагрева заготовки производили, учитывая технологические требования к процессу, теплофизические особенности его протекания, а также опыт эксплуатации подобных агрегатов.

Исходя из технологических требований и конструктивных особенностей печи, были заданы следующие ограничения:

1. ограничение на отклонение среднемассовой температуры металла в конце нагрева от заданной температуры - $\Delta t_{\text{нб}} = 50 \text{ }^{\circ}\text{C}$ (заданная среднемассовая температура составляла 1250°C);
2. ограничение на максимальный перепад температур по сечению заготовки в конце нагрева - $\Delta t_{\text{и аен}} = 70 \text{ }^{\circ}\text{C}$;
3. ограничение на перепад температур по толщине металла в конце нагрева - $\Delta t = 50 \text{ }^{\circ}\text{C}$;
4. ограничение на окисление металла - $M = 1,75\%$;
5. ограничение на термические напряжения, действующие в области упругого состояния металла - σ^* .

Управление нагревом металла осуществляется за счёт изменения температурного режима в зонах нагревательной печи, поэтому в качестве параметров управления были выбраны: температуры первой сварочной зоны $t_{1\text{нб}}$, второй сварочной зоны $t_{2\text{нб}}$ и томильной зоны $t_{\text{ои}}$, а также время нагрева τ , определяющее производительность печи (табл. 1).

Таблица 1 – Область определения управляющих параметров

Температура первой сварочной зоны (верх) $t_{1\text{нб}}, ^{\circ}\text{C}$	Температура второй сварочной зоны (верх) $t_{2\text{нб}}, ^{\circ}\text{C}$	Температура томильной зоны $t_{\text{ои}}, ^{\circ}\text{C}$	Время нагрева τ , мин
1000-1400	1200-1390	1230-1300	180-270

С помощью разработанной математической модели проводилась серия вычислительных экспериментов при варьировании параметрами управления процессом нагрева металла. Статическая обработка данных вычислительных экспериментов, позволила получить полиномиальные зависимости параметров нагрева от управляющих воздействий:

$$\Delta t_{\text{нб}} = -555,8 + 0,0403\delta_1 - 0,0002\delta_1^2 + 2,4124\delta_2 - 0,0011\delta_2^2 - 2,1728\delta_3 + 0,0034\delta_3^2, \quad (1)$$

$$\Delta t_{\text{н}} = -179,6 - 0,0930\tilde{\alpha}_1 - 0,0001\tilde{\alpha}_1^2 + 1,0283\tilde{\alpha}_2 - 0,0002\tilde{\alpha}_2^2 -$$

$$-2,8789\tilde{\alpha}_3 + 0,0046\tilde{\alpha}_3^2,$$

(2)

$$\Delta t = -610,2 + 0,0930\tilde{\alpha}_1 - 0,0002\tilde{\alpha}_1^2 + 1,2680\tilde{\alpha}_2 - 0,0003\tilde{\alpha}_2^2 -$$

$$-1,6238\tilde{\alpha}_3 - 0,0026\tilde{\alpha}_3^2,$$

(3)

$$\dot{I} = 11,02 - 0,0032\tilde{\alpha}_1 - 0,0221\tilde{\alpha}_2 + 0,0153\tilde{\alpha}_3,$$

(4)

$$\sigma^* = 39,76 - 0,0004\tilde{\alpha}_1 - 0,0605\tilde{\alpha}_2 - 0,0026\tilde{\alpha}_3.$$

(5)

где $\tilde{\alpha}_1$ - температура второй сварочной зоны, $\tilde{\alpha}_2$ - температура томильной зоны, $\tilde{\alpha}_3$ - время нагрева.

Отличие задач оптимизации друг от друга заключалось в выборе критерия оптимальности, в качестве которого использовался один из перечисленных выше параметров процессов нагрева. При этом остальные параметры использовали для формулирования ограничений рассматриваемой оптимизационной задачи, а в качестве аргументов целевой функции использовали температуру в зонах нагрева методической печи и время нагрева.

В качестве основных частных критериев оптимизации исследуемых процессов были выбраны:

1. отклонение среднемассовой температуры металла в конце нагрева от заданной температуры - $\Delta t_{\text{н}}$

2. перепад температур по толщине металла в конце нагрева - Δt ;

3. угар металла - M .

Результаты исследования показали, что оптимальный режим по критерию минимума отклонения среднемассовой температуры металла в конце нагрева от заданной температуры характеризуется максимальными значениями температур во второй сварочной и томильной зонах (рис. 2). Время нагрева составляет 208 мин. Отклонение среднемассовой температуры от заданной составляет 20 °С. При потерях металла на окалинообразование равных 1,75 %, перепад температур по толщине слитка составляет максимально возможное, исходя из принятых ограничений, значение 50 °С.

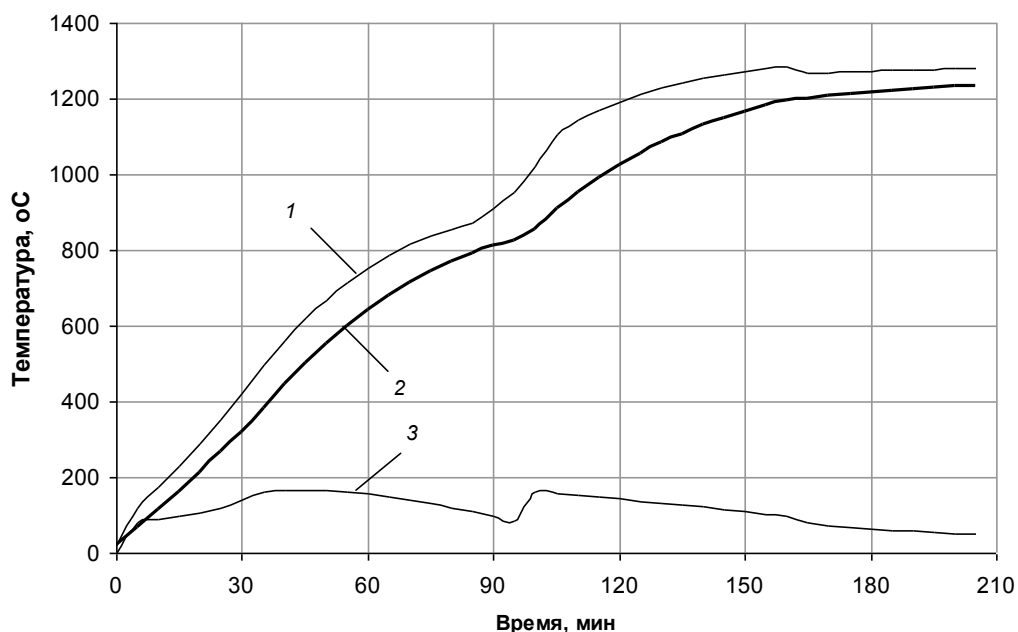


Рис. 2— Динамика нагрева слитка при оптимальном режиме нагрева по минимуму отклонения среднemasсовой температуры слитка в конце нагрева:

1 – температура поверхности сляба, 2 – среднemasсовая температура,
3 - перепад температуры по толщине сляба.

На следующем этапе были определены режимы, при котором перепад температур по толщине сляба в конце нагрева и угар металла были бы минимальным. Сравнение оптимальных режимов представлено на рис. 3. Расчёты показали, что характерной особенностью режима, оптимального по перепаду температур по толщине сляба в конце нагрева, является минимальная температура томильной зоны – 1230 °C, лишь незначительно отличающаяся от конечной среднemasсовой температуры сляба (1228 °C). Для режима с минимальным угаром металла характерно минимальное время нагрева – 193 мин, при этом температуры во 2-ой сварочной и томильной зонах достигают значений, соответствующих максимуму наложенных ограничений.

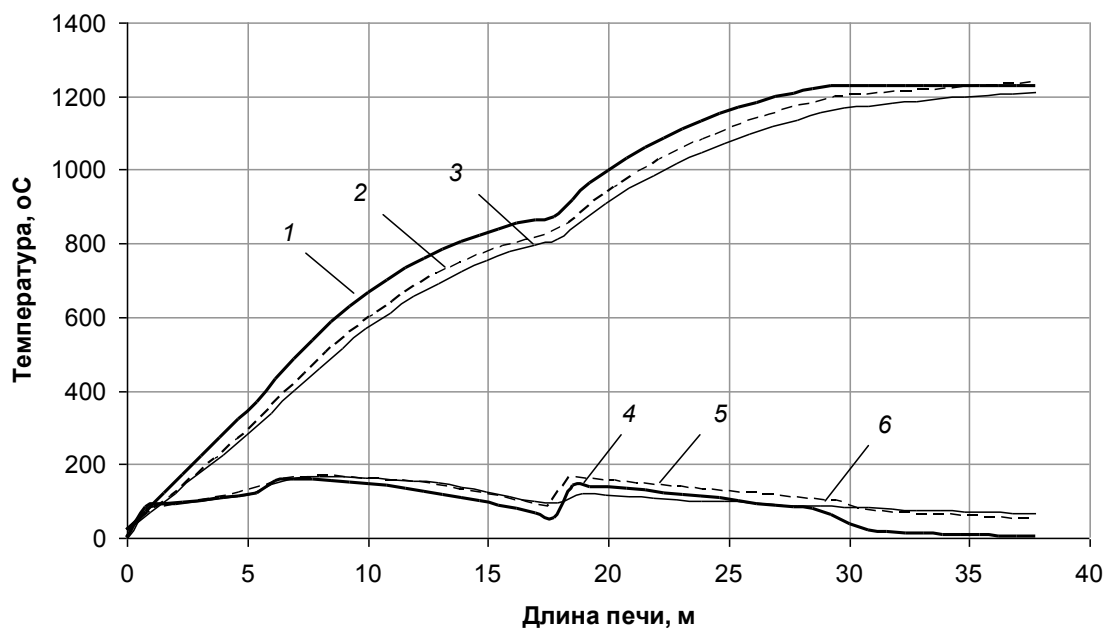


Рис. 3– Сравнение оптимальных режимов:

1,2,3 – среднемассовая температура сляба для критериев Δt , $\Delta t_{\text{нб}}$, M , соответственно;
 4,5,6 – перепад температур по толщине сляба для критериев Δt , $\Delta t_{\text{нб}}$, M , соответственно.

Результаты сравнения полученных оптимальных режимов нагрева представлены в таблице 2. В качестве базового режима был принят режим, оптимальный по минимуму угара металла, параметры нагрева которого приняты за 1.

Таблица 2 – Сравнение результатов оптимизации по частным критериям

	τ	$\Delta t_{\text{нб}}$	Δt	M	b
M	1	1	1	1	1
$\Delta t_{\text{нб}}$	1,08	1,07	0,41	1,00	1,03
Δt	1,27	1,07	0,59	0,10	1,07

Анализ результатов, представленный в таблице 2, показывает качественные и количественные различия в решении задач оптимизации при использовании различных критериев. Так, например, переход от режима, оптимального по угару металла, к режиму, оптимальному по отклонению от заданной температуры или по перепаду температуры по толщине слитка в конце нагрева, требует увеличения времени нагрева на 8 и 27 % соответственно. Удельный расход условного топлива возрастает при этом на 3 и 7 % соответственно.

Список литературы:

1. Бутковский А.Г., Малый С.А., Андреев Ю.Н. Оптимальное управление нагревом металла. – М.: Металлургия, 1972. – с. 439.
2. Панфёров В.И. О принципе экономичного управления нагревом металла и его реализации в методических печах // Труды III междунар. науч.-практ. конф. Metallургическая теплотехника: история, современное состояние, будущее. К столетию со дня рождения М.А. Глинкова. - М.: МИСиС, 2006. - с. 467-470.
3. Парсункин Б.Н., Андреев С.М., Жадинский Д.Ю. Исследование энергосберегающего режима нагрева непрерывнолитых заготовок // Сталь. - 2007. - №4. - с.53-56.
4. Дождиков В.И., Чмырев И.Н., Мордовкин Д.С. Анализ особенностей оптимальных режимов нагрева заготовки перед прокаткой // Черная металлургия : Бюл. НТИ. 2008. № 10. С. 55 – 61.

А. С. Згурский, Е. В. Корбаинова

Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий,
механики и оптики
Россия, Санкт-Петербург
zgurskiy@me.com

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТЕПЕНИ ПОТРЕБНОСТИ ИНФОРМАЦИОННЫХ АКТИВОВ ЦЕНТРА ОБРАБОТКИ ДАННЫХ КРЕДИТНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ В СВОЙСТВАХ БЕЗОПАСНОСТИ

В статье определяется степень потребности информационных активов центра обработки данных кредитной организации в свойствах безопасности. Рассматриваются критерии оценки, выявляются основные направления ответственности.

Ключевые слова: безопасность, свойство безопасности, информационная безопасность, кредитная организация, центр обработки данных.

Введение

В настоящее время, в условиях непрерывного развития информационных технологий, вопросам обеспечения информационной безопасности уделяется все больше и больше времени и ресурсов. Кредитные организации всего мира стараются максимально обезопасить свои информационные активы от действий злоумышленников и техногенных факторов. В центры обработки данных кредитных организаций внедряется все больше и больше новейших средств защиты от информационных угроз. Для увеличения эффективности использования различных средств защиты информации, необходимо как можно точнее оценить и классифицировать возможные угрозы.

Подход к оценке степени потребности актива в свойстве безопасности.

Критерии оценки

Основными свойствами безопасности определим следующие свойства:

- «Конфиденциальность». Свойство, позволяющее не давать права на доступ к информации или не раскрывать ее полномочным лицам, логическим объектам или процессам;
- «Целостность». Свойство сохранения точности и полноты ресурсов;
- «Учетность». Свойство, обеспечивающее однозначное отслеживание собственных действий любого логического объекта;
- «Доступность». Свойство быть доступным и используемым по запросу со стороны уполномоченного логического объекта;
- «Аутентичность». Свойство обеспечения идентичности субъекта или ресурса заявленной идентичности. Аутентичность применяется к таким субъектам как пользователи, процессы, системы и информация;
- «Функциональность/Надежность». Свойство соответствия преднамеренному поведению и результатам.

Определение степени потребности актива в свойстве безопасности основывается на определении объема возможных негативных последствий для Центра обработки данных (далее – ЦОД) кредитной организации в результате инцидентов информационной безопасности, приводящих к нарушению или потери одного или нескольких свойств безопасности.

Для определения объема негативных последствий от нарушения свойства безопасности актива вследствие инцидента информационной безопасности должны оцениваться:

- степень влияния нарушения свойства безопасности актива на деятельность ЦОД;
- уровень ответственности сотрудников ЦОД за нарушение свойства безопасности актива;
- объем дополнительных затрат, необходимых для восстановления свойства безопасности актива и ликвидации последствий инцидента информационной безопасности.

При оценке степени влияния нарушения свойства безопасности актива на деятельность ЦОД используются критерии, представленные в таблице 1.

Таблица 1 — Уровни степени влияния нарушения свойства безопасности актива на деятельность ЦОД

Уровень степени влияния	Критерии, определяющие уровень степени влияния
Нулевой	Свойство безопасности не актуально для актива (негативные последствия отсутствуют)
Низкий	В случае нарушения свойства безопасности актива, ущерб наносится только самому активу. При этом не происходит нарушение процессов деятельности, в которых задействован актив.
Средний	В случае нарушения свойства безопасности актива, ущерб наносится как самому активу, так и процессам деятельности, в которых данный актив задействован. При этом не нарушаются виды основной деятельности, в рамках которых функционируют указанные процессы.
Высокий	В случае нарушения свойств безопасности актива, ущерб наносится активу, процессам деятельности, в которых данный актив задействован, а также некоторым (отдельным) видам деятельности, реализуемым данными процессами.
Критичный	В случае нарушения свойств безопасности актива, возникают нарушения и наносится ущерб для деятельности на всех уровнях, что, в свою очередь, приводит к нарушению деятельности подразделения в целом.

Ответственность за нарушения

Применительно к кредитным организациям можно выделить три группы лиц, на которых может быть возложена ответственность за нарушение требований регулирующих деятельность подразделений нормативно-правовых документов, а именно:

- ответственность несут рядовые сотрудники;
- ответственность несут руководители среднего звена (начальники отделов, секторов, служб);
- ответственность несут руководители высшего звена (высшее руководство).

Применительно к деятельности кредитных организаций можно выделить следующие основные виды ответственности:

- «Дисциплинарная». Дисциплинарная ответственность заключается в наложении дисциплинарного взыскания на сотрудника руководством кредитной организации или вышестоящим в порядке подчиненности органом (выговор, строгий выговор, увольнение).
- «Материальная». Материальная ответственность сотрудников кредитной организации накладывается за ущерб, причиненный их неправильными служебными действиями или невыполнением служебных обязанностей. Материальная ответственность может возлагаться на сотрудников только в случаях, предусмотренных законодательством;

- «Контрактная/договорная». Договорная ответственность возникает при невыполнении обязательств по договору. Ответственность наступает при невыполнении договорных обязательств или их ненадлежащем выполнении, если должник не может доказать, что это не его вина;

- «Административная». Административная ответственность накладывается в случае совершения административного нарушения сотрудниками кредитной организации. При этом к административной ответственности привлекаются только на основании законодательства, действующего на момент совершения нарушения.;

- «Уголовная». Уголовная ответственность заключается в применении к нарушителю государственного принуждения в форме наказания. Привлечение к уголовной ответственности означает возбуждение уголовного дела, последующее расследование и судебное разбирательство, с последующим наказанием.

При оценке уровня ответственности сотрудников ЦОД за нарушение свойства безопасности актива, используются критерии, представленные в таблице 2.

Таблица 2 - Уровни ответственности сотрудников ЦОД за нарушение свойства безопасности актива

Уровень ответственности	Критерии, определяющие уровень ответственности
Низкий	В случае нарушения свойства безопасности актива накладывается дисциплинарная и/или материальная ответственность только на рядовых сотрудников ЦОД
Средний	В случае нарушения свойства безопасности актива накладывается дисциплинарная, материальная или договорная ответственность на руководящий состав среднего звена кредитной организации (начальники отделов, секторов) и/или административная ответственность на рядовых сотрудников ЦОД или на руководство среднего звена (начальники отделов, секторов)
Высокий	В случае нарушения свойства безопасности актива накладывается любой вид ответственности на руководство высшего звена кредитной организации и/или уголовная ответственность на руководство среднего звена (начальники отделов, секторов) или рядовых сотрудников

Негативные последствия от нарушения свойства безопасности актива, приводят к дополнительным затратам, необходимых для восстановления свойства безопасности актива и ликвидации указанных негативных последствий. Можно выделить следующие основные виды дополнительных затрат:

- людские;
- временные;
- финансовые.

При оценке уровня объема дополнительных затрат, необходимых для восстановления свойства безопасности актива используются критерии, представленные в таблице 3.

Таблица 3 — Уровни объема дополнительных затрат, необходимых для восстановления свойства безопасности актива

Уровень объема дополнительных затрат	Критерии, определяющие уровень объема дополнительных затрат
Низкий	Восстановление свойства безопасности актива и ликвидация последствий инцидента информационной безопасности осуществляется сотрудниками отдела (службы) ЦОД, в компетенцию которого входит ликвидация последствий данного инцидента информационной безопасности, (дополнительные временные затраты и/или увеличение объема работ для сотрудников этого отдела (службы))
Средний	Восстановление свойства безопасности актива и ликвидация последствий инцидента информационной безопасности требует привлечения сотрудников нескольких отделов (служб) ЦОД, (дополнительные временные затраты и/или увеличение объема работ для сотрудников этих отделов (служб))
Высокий	Восстановление свойства безопасности актива и ликвидация последствий инцидента информационной безопасности осуществляется сотрудниками отделов (служб) ЦОД совместно с сотрудниками сторонних организаций, привлекаемых для ликвидации последствий инцидента (дополнительные временные затраты и/или увеличение объема работ для сотрудников ЦОД, возможные финансовые затраты, связанные с привлечением сторонних организаций)

Заключение

Определение степени потребности информационных активов центра обработки данных кредитной организации в свойствах безопасности является основным этапом для определения алгоритма оценки степени потребности актива в свойствах безопасности. Выявление такого алгоритма, в свою очередь, позволяет приступить к созданию проекта модели угроз информационной безопасности кредитных организаций.

Список литературы:

1. Савинская Н.А., Калугин Н.М. Банковская безопасность. Комплексная система обеспечения безопасности кредитной организации: Учебное пособие, СПбГИЭУ, 2001г.
2. Стандарт Банка России. Обеспечение информационной безопасности организаций банковской системы Российской Федерации. Общие положения : СТО БР ИББС-1.0-2010 : утв. Распоряжением Банка России от 21.06.2010 № Р-705 : взамен СТО БР ИББС-1.0-2008 : дата введ. 21.06.2010.-М. : ЦБ РФ, 2010. – 46 с.
3. Скотт Бармен. Разработка правил информационной безопасности, Вильямс, 2002г.
4. Малюк А.А. Информационная безопасность: концептуальные и методологические основы защиты информации, 2004г.

Б. Н. Казаков к.ф.-м.н.*, А. В. Михеев к.ф.-м.н.**

*Приволжский федеральный университет, Институт физики,
кафедра квантовой электроники и радиоспектроскопии,
Россия, Казань
Boris.Kazakov@ksu.ru

**Казанский государственный технологический университет,
Институт управления и автоматизации, кафедра высшей математики,
Россия, Казань
veehima@gmail.com

ВЕРОЯТНОСТНАЯ МОДЕЛЬ РЕГИСТРАЦИИ СВЕТОВОГО ПОТОКА В РЕЖИМЕ СЧЕТА ФОТОНОВ

В работе предложена математическая модель, устанавливающая соответствие между вероятностным описанием исследуемого светового потока и вероятностным описанием количества однофотонных импульсов, регистрируемых в режиме счета фотонов. Найдены аналитические выражения для характеристической функции количества однофотонных импульсов и вероятностей, с которыми это количество принимает те или иные значения. С их помощью получена формула для световой характеристики системы счета фотонов, позволяющая использовать режим счета фотонов для регистрации не только слабых световых потоков, но и световых потоков большой интенсивности. Показано, что существующие модели световых характеристик, являются частными случаями модели, предложенной в этой работе.

Ключевые слова: режим счета фотонов, фотоэлектронный умножитель, характеристическая функция (теория вероятностей).

Регистрация световых потоков с помощью систем счета фотонов (ССФ) широко используется в различных областях науки и техники: от медицины и биохимии до оптической спектроскопии [1]. Причинами этого являются, во-первых, высокая чувствительность ССФ, позволяющая регистрировать световые потоки малой интенсивности, а, во-вторых, большой динамический диапазон ССФ, охватывающий до восьми порядков изменения измеряемой интенсивности светового потока.

Основными компонентами ССФ являются: фотоэлектронный умножитель (ФЭУ), усилительный тракт, счетчик импульсов. Конкретные аппаратные реализации ССФ приведены в работах [1,2].

Принцип регистрации светового потока в режиме счета фотонов состоит в том, что каждый фотон, проходящий на вход ССФ, создает электрический импульс конечной длительности и амплитуды. Будем называть его дальше однофотонным импульсом. С помощью счетчика определяется количество однофотонных импульсов $\tilde{N}$ за промежуток времени длительностью T . Обычно, в качестве измеряемой величины (выходного сигнала ССФ) используется не $\tilde{N}$, а $\tilde{\alpha} = \tilde{N}/T$ — количество импульсов, регистрируемых в единицу времени, так называемая зарегистрированная скорость счета однофотонных импульсов. Отношение количества фотонов N , пришедших на вход ССФ за промежуток времени длительностью T , к длительности этого промежутка T , называется истинной скоростью счета: $\alpha = N/T$. Величина α пропорциональна интенсивности светового потока.

Зависимость $\tilde{\alpha}$ от α называется световой характеристикой ССФ. В идеальном случае, когда счетчик регистрирует абсолютно все однофотонные импульсы, световая характеристика является линейной: $\tilde{\alpha} = \alpha$.

Однако, особенности аппаратной реализации ССФ, физические принципы, лежащие в основе работы ФЭУ, а также сама методика подсчета импульсов (фиксируются лишь импульсы, амплитуда которых превышает некоторое пороговое напряжение) приводят к тому, что регистрируются не все однофотонные импульсы [2]. Вследствие этого, зависимость $\tilde{\alpha}$ от α оказывается нелинейной, что является главной причиной, сдерживающей применение ССФ при больших интенсивностях светового потока.

Для математического описания нелинейности световой характеристики ССФ, вводят представление о мертвом времени τ_d ССФ. Как отмечалось в [3], существуют два подхода к моделированию световых характеристик ССФ. Модель мертвого времени продлевающего типа [2,4]:

$$\tilde{\alpha} = \alpha \exp(-\alpha \tau_d), \quad (1)$$

и модель постоянного мертвого времени [2,4]:

$$\tilde{\alpha} = \alpha / (1 + \alpha \tau_d). \quad (2)$$

Обе эти модели описывают экспериментальные световые характеристики лишь в той области интенсивностей световых потоков, где отклонение световых характеристик от линейной зависимости мало [2-4].

В [3] впервые была высказана идея о том, что у ССФ нет постоянного мертвого времени. Мертвое время – это реакция ССФ на взаимодействие с приходящим фотоном и, следовательно, мертвое время, меняется от одного однофотонного импульса к другому.

В данной работе, на основе этой идеи, построена строгая математическая модель регистрации светового потока в режиме счета фотонов. Получено полное вероятностное описание случайной величины $\tilde{N}$. Показано, что выражение, предложенное в [3], для описания световой характеристики, представляет собой отношение математического ожидания случайной величины $\tilde{N}$ к T , в приближении пуассоновского светового потока.

Пусть на вход ССФ в течение достаточно длительного промежутка времени поступает световой поток. В некоторый момент времени t_0 начинается процедура регистрации (счета) однофотонных импульсов, порождаемых этим световым потоком. В момент времени $t_0 + T$ регистрация импульсов заканчивается. Обозначим через Δ_j – интервал времени между j -м импульсом и предшествующим ему $(j-1)$ -м импульсом, $j = 1, 2, \dots, N$.

Предположение, лежащее в основе предлагаемого подхода к моделированию световой характеристики ССФ, состоит в том, что после каждого однофотонного импульса, в течение некоторого промежутка времени, ССФ не может регистрировать импульсы. Обозначим через τ_j промежуток времени после $(j-1)$ -го импульса, в течение которого ССФ не может регистрировать следующие за ним импульсы.

Ясно, что в такой модели j -й импульс будет зарегистрирован, только если интервал времени Δ_j больше мертвого времени τ_j , т.е. при выполнении условия: $\Delta_j > \tau_j$. С

помощью единичной ступенчатой функции $\theta(x) = \begin{cases} 1, x \geq 0 \\ 0, x < 0 \end{cases}$ легко записать количество $\tilde{N}$

импульсов, зарегистрированных ССФ за интервал времени $t \in [t_0; t_0 + T]$:

$$\tilde{N} = \sum_{j=1}^N \theta(\Delta_j - \tau_j). \quad (3)$$

Величины N , Δ_j и τ_j являются случайными. Следовательно, количество зарегистрированных импульсов $\tilde{N}$ – тоже случайная величина. Для описания случайной величины $\tilde{N}$ найдем её характеристическую функцию $\chi_{\tilde{N}}(q)$, $q \in (-\infty; +\infty)$ – безразмерный аргумент характеристической функции. С этой целью сделаем несколько предположений:

1. $\Delta_1, \Delta_2, \dots, \Delta_N$ одинаково распределены, попарно независимы и имеют плотность распределения вероятности $\varphi_{\Delta}(x)$;
2. $\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_N$ одинаково распределены, попарно независимы, не зависят от случайных величин $\Delta_1, \Delta_2, \dots, \Delta_N$ и имеют плотность распределения вероятности $\varphi_{\tau}(x)$;
3. N не зависит от τ_j и имеет производящую функцию факториальных моментов $\gamma_N(s) = \sum_k P(N=k) s^k$, где $P(N=k)$ – вероятность того, что $N=k$, а сумма вычисляется по всем возможным значениям N .

Далее воспользуемся определением характеристической функции [5] и формулой (3):

$$\begin{aligned} \chi_{\tilde{N}}(q) &= M(\exp(iq\tilde{N})) = M\left(\exp\left(iq\sum_{j=1}^N \theta(\Delta_j - \tau_j)\right)\right) = \\ &= \sum_k P(N=k) \int_0^{+\infty} \varphi_{\Delta}(x) dx \int_0^{+\infty} \exp\left(iq\sum_{j=1}^k \theta(x-y)\right) \varphi_{\tau}(y) dy, \end{aligned}$$

где $M(A)$ – математическое ожидание случайной величины A .

Отсюда, учитывая сделанные выше предположения, получим:

$$\chi_{\tilde{N}}(q) = \gamma_N(1 + (\exp(iq) - 1)\beta), \quad \beta = \int_0^{+\infty} \varphi_{\Delta}(x) dx \int_0^x \varphi_{\tau}(y) dy. \quad (4)$$

Формула (4) позволяет получить всю необходимую информацию для описания работы ССФ в режиме счета фотонов: математическое ожидание $M(\tilde{N})$, дисперсию $D(\tilde{N})$ и вероятности $P(\tilde{N}=k)$, с которыми количество зарегистрированных импульсов принимает свои значения k :

$$M(\tilde{N}) = M(N)\beta, \quad (5)$$

$$D(\tilde{N}) = \beta^2 D(N) + \beta(1-\beta)M(N), \quad (6)$$

$$P(\tilde{N}=k) = \beta^k \gamma_N^{(k)}(1-\beta)/k!, \quad k = 0, 1, 2, \dots, \quad (7)$$

где $\gamma_N^{(k)}(1-\beta)$ – это k -я производная от $\gamma_N(s)$ при $s=1-\beta$.

Чтобы получить выражение для световой характеристики ССФ будем считать последовательность однофотонных импульсов пуассоновской. При этом N является случайной величиной, имеющей распределение Пуассона с параметром $M(N) = \alpha T$, а

длительности между соседними импульсами $\Delta_1, \Delta_2, \dots, \Delta_N$ являются случайными величинами, имеющими одинаковое показательное распределение [5]:

$$\gamma_N(s) = \exp(\alpha T(s-1)), \quad \varphi_\Delta(x) = \begin{cases} \alpha \exp(-\alpha x), & x \geq 0 \\ 0, & x < 0 \end{cases}. \quad (8)$$

Подставив (8) в (4)-(7), убеждаемся, что $\tilde{N}$, как и N , имеет распределение Пуассона, но с параметром $M(\tilde{N}) = \alpha T \int_0^{+\infty} \varphi_\tau(x) \exp(-\alpha x) dx$.

Обычно, процедура измерения $\tilde{N}$ многократно повторяется при одних и тех же условиях. После чего вычисляется среднее значение $\tilde{N}_{av}$ количества зарегистрированных однофотонных импульсов. Среднее значение $\tilde{N}_{av}$ мало отличается от $M(\tilde{N})$, поэтому экспериментально зарегистрированная скорость счета $\tilde{\alpha} = \tilde{N}_{av}/T$, может быть найдена по формуле:

$$\tilde{\alpha} = M(\tilde{N})/T = \alpha \int_0^{+\infty} \varphi_\tau(x) \exp(-\alpha x) dx. \quad (9)$$

Выражение (9) для световой характеристики ССФ было найдено в [3] путем нестрогих рассуждений. Там же было показано, что модель (1) мертвого времени продлевающего типа получается из (9), если положить функцию распределения мертвого времени равной $\varphi_\tau(x) = \delta(x - \tau_d)$, т.е. считать, что для всех импульсов мертвое время равно τ_d . Модель (2) тоже следует из формулы (9) в приближении показательного распределения мертвого времени: $\varphi_\tau(x) = \begin{cases} \exp(-x/\tau_d)/\tau_d, & x \geq 0 \\ 0, & x < 0 \end{cases}$. Существует еще один частный случай, не

описанный в [3], но приводящий к очень простой модели световой характеристики ССФ:

$$\varphi_\tau(x) = \begin{cases} 1/\tau_d, & \tau_0 \leq x \leq \tau_0 + \tau_d \\ 0, & (x < \tau_0) \vee (x > \tau_0 + \tau_d) \end{cases} - \text{равномерное распределение мертвого времени. При}$$

этом из (9) получается следующее выражение для световой характеристики:

$$\tilde{\alpha} = \exp(-\alpha \tau_0)(1 - \exp(-\alpha \tau_d))/\tau_d. \quad (10)$$

Модель (10) при $\tau_0 = 0$ так же, как и (2), с ростом интенсивности светового потока приводит к эффекту насыщения, когда регистрируемая скорость счета $\tilde{\alpha}$ достигает своего максимального значения $\tilde{\alpha}_{\max} = 1/\tau_d$ и дальше не меняется. При этом в (10), с ростом α , эффект насыщения наступает быстрее, чем в (2).

Если $\tau_0 > 0$, то в модели (10), как и в (1), зависимость $\tilde{\alpha}$ от α имеет максимум и стремится к нулю с ростом α . Однако, в зависимости от значения параметра τ_0 , спад световой характеристики до нуля с ростом α может быть как более быстрым, так и более медленным, чем в (1).

Вероятностное описание процедуры регистрации светового потока в режиме счета фотонов, даваемое формулами (4)-(7), обладает рядом очевидных преимуществ. Прежде всего, функция $\varphi_\tau(x)$ позволяет учитывать аппаратную реализацию ССФ, физические принципы, лежащие в основе работы отдельных элементов ССФ, например фотоэлектронного умножителя, а также особенности методики измерения $\tilde{N}$. Построение

математической модели конкретной ССФ, с помощью определения для нее функции $\varphi_{\tau}(x)$, даст возможность использовать режим счета фотонов не только для регистрации слабых световых потоков, но и для регистрации потоков большой интенсивности. Кроме того, в этих формулах заключена возможность определения не только математического ожидания интенсивности светового потока, но и функции распределения этой случайной величины. Например, как было выяснено в этой работе, пуассоновское распределение количества зарегистрированных однофотонных импульсов $\tilde{N}$, свидетельствует о том, что интенсивность светового потока тоже имеет распределение Пуассона. Получение информации о характере распределения интенсивности светового потока открывает совершенно новые перспективы в исследовании физических процессов, порождающих этот поток.

Список литературы:

1. Каримуллин К. Р. Детектирование световых импульсов в режиме счета фотонов / К. Р. Каримуллин, В. А. Зуйков, В. В. Самарцев // Ученые записки Казанского государственного университета. – 2006. – Т. 148, кн. 1. – С.135-141.
2. Казаков Б. Н. Дифференцирующая RC-цепь в усилительном тракте системы счета фотонов / Б. Н. Казаков, А. В. Михеев, И. Г. Мотыгуллин // Приборы и техника эксперимента. – 2005. – № 3. – С. 42-45.
3. Михеев А. В., Казаков Б. Н. Новый подход к моделированию световых характеристик систем счета фотонов // Математические методы в технике и технологиях: сб. трудов XIX Международ. конф. Т. 8. Секция 8 (Воронеж, 30 мая – 2 июня 2006 г.). – Воронеж, 2006. – С.13-15.
4. Gavrilov, D. N. Dynamic range of fluorescence detection and base-calling accuracy in DNA sequencer based on single-photon counting / D. N. Gavrilov, B. Gorbovitski, M. Gouzman, et al. // Electrophoresis. – 2003. – Vol. 24, № 7-8. – P. 1184–1192.
5. Королук В. С. Справочник по теории вероятностей и математической статистике / В. С. Королук, Н. И. Портенко, А. В. Скороход, А. Ф. Турбин. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Наука, 1985. – 640 с.

М. А. Карягин, А. С. Лелюхин к.т.н., Д. А. Муслимов

Оренбургский государственный университет, физический факультет, кафедра
проектирования и технологии радиоэлектронных средств,
Россия, Оренбург
alex-ray@inbox.ru

СРАВНЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЯ ПРАКТИЧЕСКОГО ПИКОВОГО НАПРЯЖЕНИЯ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ УСЛОВИЯХ ГЕНЕРАЦИИ РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

В работе приводятся результаты экспериментального исследования влияния условий генерации рентгеновского излучения на величину практического пикового напряжения (PPV). Выполнено сравнение PPV в диапазоне анодных напряжений для четырех типов питающих устройств. Показано, что калибровка излучателей по эффективной энергии приводит к завалу PPV на высоких «установках» анодного напряжения.

Ключевые слова: рентгеновское излучение, практическое пиковое напряжение (PPV), неинвазивные измерения.

Стандартом РФ на дозиметрические приборы, используемые для неинвазивного измерения напряжения на рентгеновской трубке в диагностической радиологии [2], предусматривается, что измеряемым параметром, определяющим уровень контраста на радиограммах, является практическое пиковое напряжение (PPV). Но методика прямых измерений PPV по контрасту воздушной кермы может быть реализована только в лабораторных условиях.

В работе [4] было предложено определять PPV по скорости изменения яркостного сигнала, зарегистрированного линейным дискретным GaAs детектором, расположенным в пучке рентгеновского излучения таким образом, что каждый предыдущий микродетектор линейки является фильтром для последующего. Однако представленные в работе результаты были получены путем расчета PPV на математической модели рентгеновской системы и не были подтверждены экспериментально.

В развитие метода измерений, предложенного в [4], нами было выполнено экспериментальное исследование по нахождению PPV для четырех типов рентгеновских аппаратов с разными схемами питания рентгеновской трубки. Поскольку исследуемые аппараты являются коммерческим продуктом, информация о названии и фирме - производителе в работе не раскрывается. Аппаратам даны условные названия в соответствии с таблицей 1.

Таблица 1 – Типы исследуемых рентгеновских аппаратов

№ п/п	Условное обозначение аппарата	Схема питания рентгеновской трубки
1	A1	Двухполупериодная, мостовая от однофазного питающего устройства
2	A2	Высокочастотное (100 кГц) питающее устройство моноблочного типа с умножением напряжения на 4
3	A3	Высокочастотное (80 кГц) питающее устройство
4	A4	Среднечастотное (20 кГц) питающее устройство

Очевидно, что если детектор неподвижен, а время набора строки изображения меньше длительности рентгеновского импульса, то совокупность сигналов, считанных с детектора, формирует матрицу изображения, по одной координате которой фиксируется временной ход интенсивности рентгеновского пучка, а по другой - кривая затухания излучения по мере его распространения в веществе детектора.

Для каждого из аппаратов с помощью линейного дискретного GaAs детектора регистрировались рентгеновские изображения в диапазоне «установок» анодного напряжения (U_a) от 50 до 110 кВ с шагом 10 кВ и эквивалентной фильтрации - 2 мм Al. Период строк составлял 2,7 мс, при длительности рентгеновского импульса от 0,5 до 2 с.

Дополнительно осуществлялся контроль эффективного анодного напряжения ($U_{\text{эфф}}$) с помощью неинвазивного киловольтметра УКРЭХ, откалиброванного по эффективной энергии рентгеновского излучения [1].

Пример изображения, полученного в момент включения высокого напряжения, показан на рисунке 1. Здесь рентгеновский импульс представляет собой широкую светлую полосу, расположенную в горизонтальной плоскости. Источник излучения находится справа.



Рис. 1 – Фрагмент рентгеновского изображения, зарегистрированного с помощью линейного дискретного GaAs детектора.

По зарегистрированным изображениям восстанавливалась форма рентгеновского импульса для каждого из исследуемых аппаратов (рис. 2).

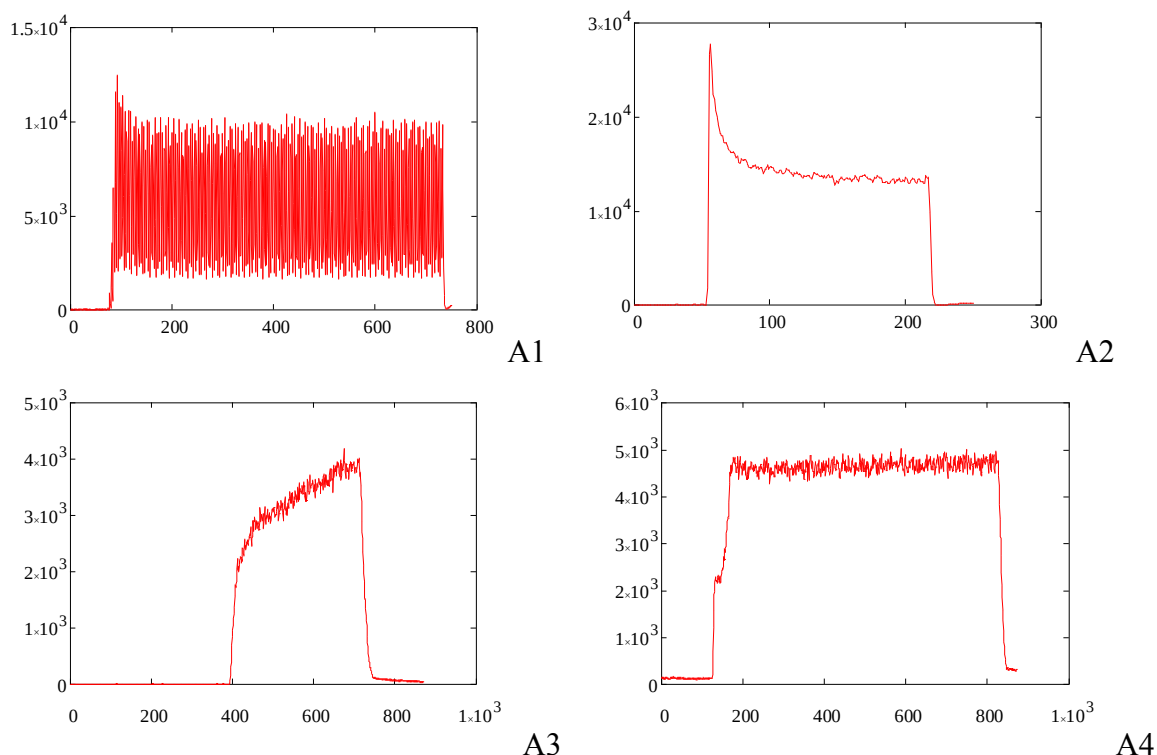


Рис. 2 – Характерная форма рентгеновского импульса для четырех типов рентгеновских аппаратов при U_a , равном 100 кВ. На диаграммах по оси абсцисс отложен номер строки изображения, по оси ординат - значение яркостного сигнала, считанного по изображению.

Нетрудно видеть, что форма рентгеновского импульса, определяющая характер изменения интенсивности рентгеновского пучка во времени, для исследуемых аппаратов существенно различается. Так, при двухполупериодном выпрямлении (А1) выборки производятся при разных мгновенных значениях напряжения, что приводит к уширению вершины импульса. В схеме с умножением напряжения (А2) наблюдается выброс по фронту импульса, а в схеме с высокочастотным питающим устройством (А3) наоборот – плавное нарастание интенсивности излучения. Только в случае со среднечастотным питающим устройством (А4) форма рентгеновского импульса близка к прямоугольной.

Для каждого из исследуемых аппаратов по полученным изображениям были построены абсорбционные кривые и определены углы наклона касательных (φ , гр.) в пределах линейных участков. Далее, по методике, изложенной в [3], рассчитывалась эффективная энергия ($E_{\gamma\delta\delta}$) рентгеновского пучка. Результаты измерений и рассчитанные значения эффективной энергии представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Экспериментальные и расчетные данные

U_a , кВ	А1		А2		А3		А4	
	φ	$E_{\gamma\delta\delta}$, кэВ	φ	$E_{\gamma\delta\delta}$, кэВ	φ	$E_{\gamma\delta\delta}$, кэВ	φ	$E_{\gamma\delta\delta}$, кэВ
50	-	-	-	-	30,5	43,6	30,2	43,8
60	24,7	46,4	21,2	48,6	23,3	47,2	21,7	48,3
70	18,3	50,9	17,3	51,8	18,8	50,5	17,5	51,6
80	15,2	54,0	14,8	54,4	14,3	55,1	14,1	55,4
90	13,1	56,6	13,2	56,6	11,7	58,7	12,2	57,9
100	12,1	58,2	12,6	57,3	10,2	61,6	10,5	60,9
110	11,3	59,4	-	-	8,9	64,3	9,4	63,1

Затем была осуществлена калибровка *GaAs* детектора по *PPV* путем сопоставления углов φ , полученных для аппарата А4, значениям U_a , поскольку известно [2], что в случае малых пульсаций (менее 3%) приложенное анодное напряжение и *PPV* практически совпадают. Калибровочная кривая задавалась полиномиальной функцией четвертого порядка: $PPV(\varphi) = C_8\varphi^4 + C_7\varphi^3 + C_6\varphi^2 + C_5\varphi + C_4$, где коэффициенты C_i определены вектором $C^T = (3 \ 3 \ 4 \ 234,191 \ -8,975 \ 0,143 \ -1,045 \times 10^{-3} \ 2,902 \times 10^{-6})$.

Для аппаратов А1-А3 по калибровочной кривой рассчитывались значения *PPV*. Полученные результаты по *PPV* и значения $U_{\gamma\delta\delta}$, измеренные с помощью УКРЭХ, отражены в таблице 3 и иллюстрируются рисунком 3.

Таблица 3 – Результаты измерений *PPV* и $U_{\gamma\delta\delta}$

U_a , кВ	А1		А2		А3	
	<i>PPV</i> , кВ	$U_{\gamma\delta\delta}$, кВ	<i>PPV</i> , кВ	$U_{\gamma\delta\delta}$, кВ	<i>PPV</i> , кВ	$U_{\gamma\delta\delta}$, кВ
50	-	-	-	-	49,6	46,1
60	55,9	53,4	61,2	52,5	57,8	57,1
70	67,0	60,0	69,7	60,5	66,0	68,3
80	76,5	68,6	77,9	68,9	80,0	79,1
90	85,4	77,0	85,2	77,0	92,3	90,5
100	90,5	84,0	87,8	85,2	102,0	101,2
110	94,7	-	-	-	111,8	112,6
Среднее по диапазону отклонение <i>PPV</i> от $U_{\gamma\delta\delta}$, %	8,5		10,3		2,3	

Особенностью аппарата А2 является то, что он откалиброван путем сопоставления «уставок» анодного напряжения «уставкам» аппарата с однополупериодным питающим

устройством моноблочного типа при идентичных показаниях *УКРЭХ*. Так, согласно таблице 3, для аппаратов А1 и А2 при одинаковых U_a различия в данных *УКРЭХ* малы и в среднем составляют всего 0,9 %.

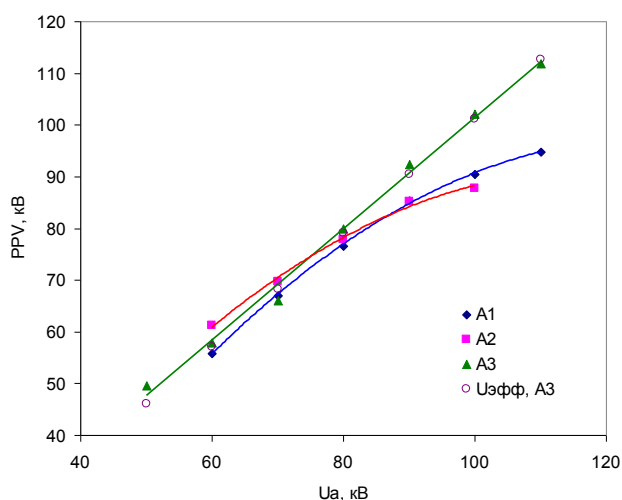


Рис. 3 – Зависимость *PPV* от U_a для аппаратов А1, А2 и А3.

Анализ зависимостей, приведенных на рисунке 3, показывает, что на «установках» до 80 кВ для рассматриваемых аппаратов *PPV* меняется почти линейно, причем абсолютные значения *PPV* сравнимы по величине. Однако выше «установки» 80 кВ для аппаратов А1 и А2 наблюдается явная нелинейность и завал характеристики. Последнее можно объяснить тем, что при больших напряжениях спектральный состав излучения в меньшей степени зависит от величины суммарной эквивалентной фильтрации и определяется формой анодного напряжения. Очевидно, что при малых пульсациях анодного напряжения аппарат А2 достигает эффективных значений напряжения, эквивалентных $U_{y\delta\delta}$ для аппарата с однополупериодным выпрямлением, при гораздо меньших значениях *PPV*. Аппарат А3 имеет линейную характеристику как по *PPV*, так и по $U_{y\delta\delta}$.

Полученные результаты показывают, что метод измерения *PPV* по скорости затухания тормозного излучения в веществе полупроводникового детектора может использоваться в производственных условиях при настройке рентгеновских аппаратов.

Список литературы:

1. Бердяков Г.И., Блинов Н.Н. типовой ряд радиационных киловольтметров // Мед. техника. – 2005. - №5. – С. 19 – 21.
2. Медицинское электрическое оборудование. Дозиметрические приборы, используемые для неинвазивного измерения напряжения на рентгеновской трубке в диагностической радиологии: ГОСТ Р МЭК 61676-2006. – М.: Стандартинформ, 2007.- 24с.
3. Муслимов Д.А., Лелюхин А.С. Определение эффективной энергии рентгеновского пучка по скорости затухания излучения в полупроводниковом детекторе // Материалы III Евразийского конгресса по медицинской физике и инженерии «Медицинская физика-2010». Сб. материалов. Том 2. – М., 2010. – С.100-103.
4. Muslimov D.A., Lelyukhin A.S. New Method for Direct Non-Invasive Measurement of Practical Peak Voltage // Bioinformatics and Biomedical Engineering, (iCBBE) 2011 5th International Conference on, Digital Object Identifier: 10.1109/icbbe.2011.5780474. Wuhan, China: 2011, Pages: 1 – 4.

**А. И. Каяшев д.т.н., Е. А. Муравьева к.т.н., Л. Ю. Полякова к.т.н.,
Т. В. Сазонова**

Кумертауский филиал «Оренбургский государственный университет», кафедра
«Электроснабжение промышленных предприятий»,
Россия, Кумертау
t.sazonowa@yandex.ru

КОМПЕНСАЦИЯ ВЗАИМНОГО ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ И ДАВЛЕНИЯ В АВТОКЛАВЕ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ГАЗОЗОЛОСИЛИКАТНЫХ ШЛАКОБЛОКОВ

В работе представлена система управления автоклавом на основе двумерного четкого логического регулятора с компенсацией взаимного влияния контуров с помощью дополнительных систем продукционных правил.

Ключевые слова: автоклав, энергосбережение, ресурсосбережение, многомерные логические регуляторы, четкие термы, золошлакоотходы.

Автоклав широко используется в строительстве при производстве силикатного кирпича, бетонов и шлакоблоков [1]. С точки зрения управления автоклав относится к числу многосвязных объектов управления. Из-за сложности управления производством газшлакоблоков автоклавного твердения (ПГШАТ) к настоящему времени его удалось реализовать только в полуавтоматическом режиме с использованием типовых нечетких регуляторов (ТНР) [2], а информация об этих алгоритмах существует только в виде устных знаний небольшой группы экспертов фирмы «Спецстройматериалы».

В отличие от ТНР многомерные четкие логические регуляторы (МЧЛР), более близки по логике управления с четкими термами к человеческому мышлению и естественному языку и позволяют построить алгоритм управления, адекватный реальному технологическому процессу ПГШАТ. Поскольку потенциальных возможностей по быстродействию и точности у МЧЛР больше, чем у ТНР, то целесообразность их использования в качестве регуляторов в системе управления автоклавом становится очевидной. В данной работе на основе МЧЛР представлена система управления автоклавом ООО «Спецстройматериалы».

Технологический регламент ПГШАТ состоит из пяти стадий: загрузка автоклава, прогрев, выдержка, охлаждение и выгрузка готового продукта. Для получения качественных шлакоблоков температура и давление в автоклаве на стадиях прогрева, выдержки и охлаждения должны изменяться по графикам, изображенным на рис.1., с допустимым отклонением $\pm 5\%$. Причем изменение температуры в стадии охлаждения состоит из 10 заданных временных интервалов

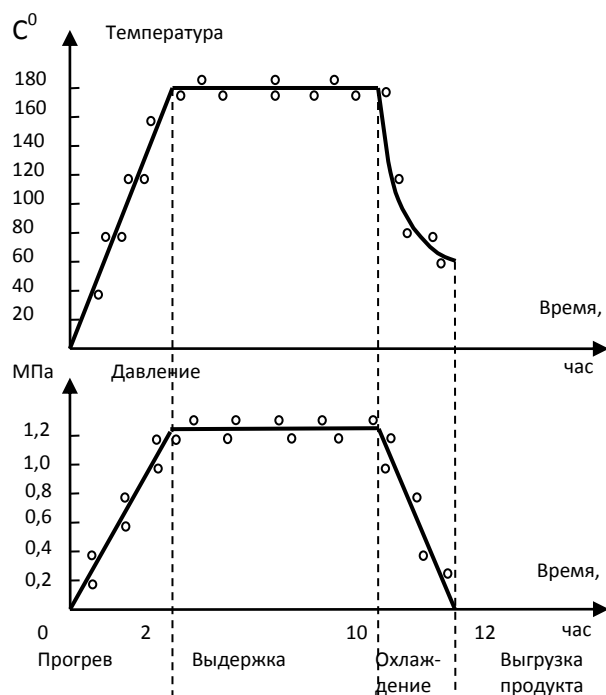


Рис.1 – Один из шести режимов работы автоклава: эксперимент; технологический регламент.

Технологический регламент ПГШАТ состоит из пяти стадий: загрузка автоклава, прогрев, выдержка, охлаждение и выгрузка готового продукта. Для получения качественных шлакоблоков температура и давление в автоклаве на стадиях прогрева, выдержки и охлаждения должны изменяться по графикам, изображенным на рис.1., с допустимым отклонением $\pm 5\%$.

Причем изменение температуры в стадии охлаждения состоит из 10 заданных временных интервалов продолжительностью 12 мин. со «своими» законами изменения температуры, в то время как давление в этой стадии уменьшается по линейному закону. Задача управления усложняется еще и тем, что длительность стадий 2 ÷ 4 и законы изменения температуры и давления в автоклаве меняется в зависимости от количества вводимой добавки в шлакоблочную смесь для нейтрализации оксида железа, содержание которого в составе золошлакоотходов Кумертауской теплоэлектроцентрали меняется в широких пределах.

Увеличение давления в автоклаве поднимает температуру насыщения а его уменьшение повышает температуру насыщенности. В данной работе предложена двухконтурная схема МЧЛР для регулирования температуры и давления в автоклаве с компенсацией взаимного влияния контуров (рис.2).

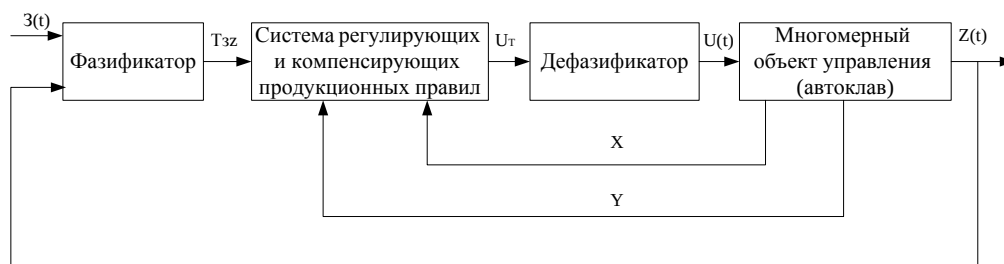


Рис.2 – Структурная схема двумерного четкого логического регулятора: $Z(t)$, $Z(t)$, $U(t)$ – двумерные векторы задающих регулируемых и регулирующих параметров соответственно; T_{zz} , U_T – векторы термов задающих, регулируемых и управляющих параметров соответственно; X, Y – дискретные входные и выходные переменные автоклава.

В данной схеме входные и выходные параметры представлены совокупностью четких термов [3], а система продукционных правил МЧЛР состоит из регуливающей и компенсирующей частей. Основная проблема при разработке МЧЛР [4,5] – компенсация взаимного влияния контуров, в данном случае решается введением для каждого канала регулирования компенсирующей системы продукционных правил, предназначенной для исключения взаимного влияния контуров регулирования.

Информацию для разработки компенсирующих систем продукционных правил предлагается получить из двух экспериментов:

1. Снимается зависимость управляющего воздействия (U_a) от задающего параметра (Z) в автономном режиме работы контуров регулирования МЧЛР (на рис. 3. кривая U_a). Число таких зависимостей должно равняться размерности МЧЛР.

2. Для каждого контура при тех же значениях задающего параметра снималась такая же зависимость, но при работе обоих контуров МЧЛР в штатном режиме. На рис. 3 кривая (U_{mi}) представлена для i -го контура многомерного четкого логического регулятора. Аналогичные зависимости получены для второго контура МЧЛР. Из рис. 3 следует, что заштрихованная площадь характеризует степень влияния на первый контур второго контура регулирования МЧЛР.

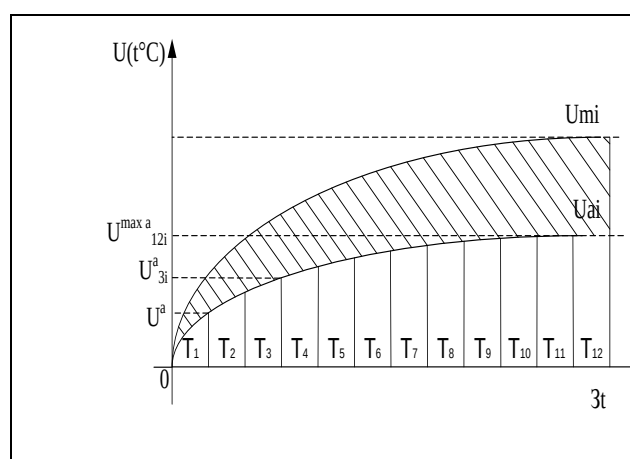


Рис. 3. – Зависимость управляющего воздействия U_i от задающего параметра Z_i i -го канала МЛР: U_{ai} – в автономном режиме; U_{mi} – в режиме взаимного влияния контуров регулирования.

Идея компенсации взаимного влияния контуров МЧЛР состоит в выработке с помощью соответствующей системы продукционных правил функции U_{ki} , являющейся зеркальным

отображением относительно оси абсцисс экспериментально полученной функции U_{pi} . Совершенно очевидно, что при точной зеркализации функция U_{ki} полностью скомпенсирует влияние других контуров на i -ый контур МЧЛР.

Для интерпретации U_{ki} в виде совокупности аргументов двузначной логики [3] использованы четкие термы ($T_1 \div T_{12}$). Они вырабатываются фаззификатором МЧЛР из условий: $3_i = T_1$ при $0 \leq 3_i < 3_{1T}$; $3_i = T_2$ при $3_{1i} \leq 3_i < 3_{2i}$; ...; $3_i = T_{12}$ при $3_{11i} \leq 3_i < 3_{12}$.

Во всех остальных случаях термы ($T_1 \div T_{12}$) равны логическому нулю. Система продукционных правил, реализующая компенсирующую функцию U_{ki} для i -го контура регулирования с помощью термов ($T_1 \div T_{12}$), имеет следующий вид:

Если $3_i = T_1$, то $U_{ki} = U_{1ki}$;

Если $3_i = T_2$, то $U_{ki} = U_{2ki}$;

...

Если $3_i = T_{11}$, то $U_{ki} = U_{11ki}$;

Если $3_i = T_{12}$, то $U_{ki} = U_{12ki}$.

В общем случае число четких термов для представления функции U_{ki} определяется точностью регулирования и разрешающей способностью программируемого контроллера, на котором построен МЛР.

Термы задающих и регулируемых параметров МЧЛР, а также дискретные сигналы объекта управления имеют единую логическую природу – они являются аргументами двузначной логики. Поэтому в составе условной части продукционных правил МЛР появилась возможность использовать не только термы входных, но и выходных параметров регулятора, а также дискретные (входные и выходные) параметры объекта управления. Кроме того, управляющее воздействие в консеквентах правил имеет две составляющие: регулируемую – при отсутствии влияния других контуров МЛР (сепаратный, автономный режим) и компенсирующую, которая при конкретном значении антецедента правила нейтрализует влияние других контуров регулирования. Учет приведенных обстоятельств приводит к изменению структуры системы продукционных правил n -мерного логического регулятора со статической компенсацией взаимного влияния контуров, которая принимает следующий вид:

Если $3_1 = 3_{11} \cap ДНФ_{11}$, то $U_{11} = U_{1a1} + U_{1k1}$;

Если $3_1 = 3_{12} \cap ДНФ_{12}$, то $U_{12} = U_{1a2} + U_{1k2}$;

...

Если $3_1 = 3_{1m1} \cap ДНФ_{1m1}$, то $U_{1m1} = U_{1am1} + U_{1km1}$;

Если $3_2 = 3_{21} \cap ДНФ_{21}$, то $U_{21} = U_{2a1} + U_{2k1}$;

Если $3_2 = 3_{22} \cap ДНФ_{22}$, то $U_{22} = U_{2a2} + U_{2k2}$;

...

Если $3_2 = 3_{2m2} \cap ДНФ_{2m2}$, то $U_{2m2} = U_{2am2} + U_{2km2}$;

...

Если $3_n = 3_{nmn} \cap ДНФ_{nmn}$, то $U_{nmn} = U_{namn} + U_{nkmn}$,

где $m_1 \div m_n$ – количество четких термов, используемых для изображения задающих воздействий в $1 \div n$ контуров регулирования МЛР; $3_1 \div 3_n$ – задающие воздействия $1 \div n$ контуров регулирования; $ДНФ_{11} \div ДНФ_{nmn}$ – функции двузначной логики в дизъюнктивно-нормальной форме, реализующие взаимные блокировки между контурами регулирования МЛР.

Список литературы:

1. *Боженов П.И.* Технология автоклавных материалов. - Л.: Стройиздат, Ленинг. отделение. – 1978. 368 с.
2. *Васильев В.И., Ильясов Б.Г.* Интеллектуальные системы управления. Теория и практика: учебное пособие. – М.: Радиотехника. – 2009. 392 с., ил.
3. *Каяшева Г.А., Муравьева Е.А., Байманов И.Ф.* Дискретно-логическая система регулирования величины рН электролита в производстве хлора методом электролиза // Автоматизация, телемеханизация и связь в нефтяной промышленности: Науч.-техн. журнал. – М.: ОАО «ВНИИОЭНГ», 2008. №1. – С.10-13.
4. *Леоненков А.В.* Нечеткое моделирование в среде MATLAB и Fuzzy TECH.-СПб.: БХВ-Петербург. – 2005. 736с.: ил.
5. Методы классической и современной теории автоматического управления: Учебник в 5-ти т.; 2-е изд., перераб. и доп. Т3: синтез регуляторов систем автоматического управления / Под ред. К.А. Пупкова и Н.Д. Егупова. – М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана. - 2004. 616 с.; ил.

Н. В. Ковбасюк к.т.н., Н. Н. Прокопенко д.т.н.

Южно-Российский государственный университет экономики и сервиса,
механико-радиотехнический факультет,
кафедра «Информационные системы и радиотехника»,
Россия, Шахты
izdat-servis@sssu.ru

МЕТОД ВЗАИМНОЙ КОМПЕНСАЦИИ ВХОДНЫХ ИМПЕДАНСОВ В КАСКОДНЫХ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УСИЛИТЕЛЯХ

Статья подготовлена в рамках гос. контракта № П507 ФЦП
«Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» (2009-2013 гг.)»

Рассматривается архитектура каскодных дифференциальных усилителей, позволяющая получить мегаомные значения входных сопротивлений и наноамперные статические входные токи при их реализации на биполярных транзисторах стандартных техпроцессов АБМК_1_3 (НПО «Интеграл», НЛW, ФГУП НПП «Пульсар» и др.)

Ключевые слова: каскодный дифференциальный усилитель, компенсация, входное дифференциальное сопротивление, входной статический ток.

Совершенствование технологических процессов производства аналоговых микросхем (АМ) на биполярных транзисторах, имеющих ряд известных преимуществ в сравнении с КМОП изделиями [1] – основное направление развития этого сегмента электронной компонентной базы. Однако, значительную роль при этом играют архитектурные и схемотехнические решения, обеспечивающие в рамках конкретных технологий существенное повышение обобщённых показателей качества АМ [2-8].

В настоящей статье рассматривается метод взаимной компенсации входных токовых координат в классических дифференциальных каскодах [2], являющихся базовым функциональным узлом многих микроэлектронных изделий и интерфейсов систем связи и телекоммуникаций.

Существенный недостаток известных каскодных усилителей (ДУ) состоит в том, что они имеют небольшое входное дифференциальное сопротивление ($R_{вх}$), зависящее от абсолютных значений коэффициента усиления по току базы (β) применяемых транзисторов и их статического режима. Для повышения $R_{вх} = y_{вх}^{-1}$ в известных ДУ применяется местная отрицательная обратная связь. Однако при этом ухудшаются [9] многие параметры ДУ – коэффициент усиления по напряжению, э.д.с. смещения нуля, коэффициент подавления помехи по питанию, крутизна усиления ДУ и др. Так, для классической схемы каскодных ДУ увеличение $R_{вх}$ возможно только ценой уменьшения K_y , так как для данных архитектур эти параметры связаны друг с другом обобщённым показателем качества:

$$K_y = Q / R_{вх},$$

где $Q = \beta_1 R_1 = \text{const}$, β_1 – коэффициент усиления по току базы транзистора VT1.

Для повышения входного сопротивления $R_{вх}$ ДУ без ухудшения его K_y и токопотребления предлагается схемотехническое решение (рис. 1), позволяющее обеспечить повышение обобщённого показателя качества Q и одновременно с этим уменьшить входные статические токи.

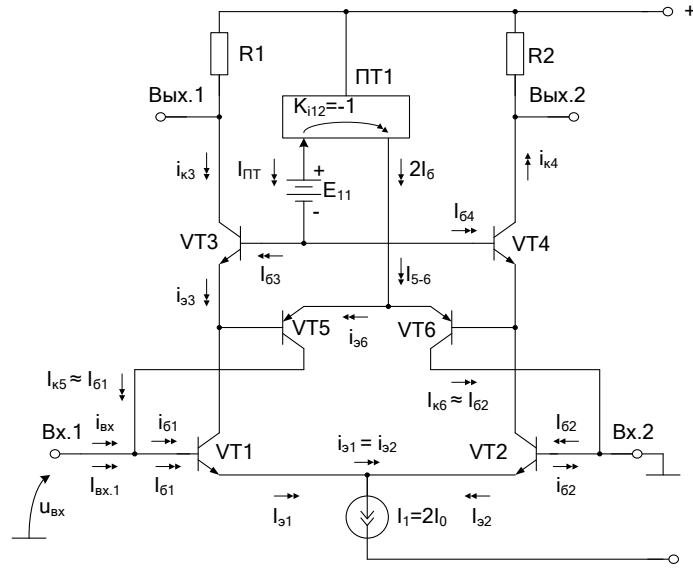


Рис. 1 – Метод компенсации входных токов
и входных дифференциальных проводимостей в касковом ДУ.

Рассмотрим работу схемы ДУ (рис. 1), в котором ПТ1 – классическое токовое зеркало с единичным коэффициентом передачи ($K_{112} = -1$), E_{11} – цепь смещения потенциалов на базах VT3, VT4.

При нулевом входном напряжении $u_{вх}=0$ эмиттерные токи транзисторов VT1, VT2, VT3, VT4 устанавливаются источником опорного тока I_1 :

$$I_{\varepsilon 1} = I_{\varepsilon 2} = I_{\varepsilon 3} = I_{\varepsilon 4} = \frac{I_1}{2} = I_0, \quad (1)$$

где $I_1 = 2I_0$ – суммарный ток общей эмиттерной цепи ДУ.

Поэтому входной ток токового зеркала ПТ1:

$$I_{вх.ПТ1} = I_{\varepsilon 3} + I_{\varepsilon 4} = \frac{I_0}{\beta_3} + \frac{I_0}{\beta_4} = \frac{2I_0}{\beta_{3-4}}, \quad (2)$$

где $\beta_3 = \beta_4 = \beta_{3-4}$ – коэффициент усиления по току базы транзисторов VT3 и VT4.

Учитывая, что коэффициент передачи по току ($K_{112} \approx 1$) подсхемы ПТ1 близок к единице, находим статические входные токи ДУ:

$$I_{вх.1} = I_{\varepsilon 1} - I_{\varepsilon 5} = I_0 \left(\frac{1}{\beta_1} - \frac{1}{\beta_{3-4}} \right) = \frac{I_0}{\beta_1} \left(1 - \frac{\beta_1}{\beta_{3-4}} \right), \quad (3)$$

$$I_{вх.2} = I_{\varepsilon 2} - I_{\varepsilon 6} = I_0 \left(\frac{1}{\beta_2} - \frac{1}{\beta_{3-4}} \right) = \frac{I_0}{\beta_2} \left(1 - \frac{\beta_2}{\beta_{3-4}} \right). \quad (4)$$

При идентичных β п-р-п транзисторов VT1, VT2, VT3, VT4 входные статические токи ДУ (рис. 1) существенно меньше, чем в классических касковых усилителях.

На переменном токе увеличение $u_{вх}$ приводит к приращению тока базы транзистора VT1:

$$i_{\varepsilon 1} = \frac{i_{\varepsilon 1}}{\beta_1} = \frac{u_{вх}}{\beta_1(r_{\varepsilon 1} + r_{\varepsilon 2})} = \frac{u_{вх}}{2\varphi_T \beta_1} I_0, \quad (5)$$

где $r_{\varepsilon 1} = r_{\varepsilon 2} = \frac{\varphi_T}{I_{\varepsilon 1}} = \frac{\varphi_T}{I_{\varepsilon 2}} = \frac{\varphi_T}{I_1}$ – дифференциальное сопротивление эмиттерных переходов

транзисторов VT1 и VT2; $\varphi_T \approx 26$ мВ – температурный потенциал; $I_1 = 2I_0$ – суммарный ток эмиттерной цепи ДУ.

Так как на малом сигнале дифференциальные сопротивления эмиттерных переходов транзисторов VT3 и VT4 равны дифференциальным сопротивлениям эмиттерных переходов транзисторов VT1 и VT2, то напряжение между базами транзисторов VT5 и VT6 можно найти по формуле:

$$U_{6.5-6} = i_{э1}r_{э3} + i_{э2}r_{э4}, \quad (6)$$

$$U_{6.5-6} \approx \frac{U_{вх}(r_{э3} + r_{э4})}{r_{э1} + r_{э2}} \approx U_{вх}. \quad (7)$$

Поэтому под действием $U_{6.5-6} = U_{вх}$ коллекторный ток транзистора VT5 увеличивается, а транзистора VT6 – уменьшается. Как следствие, дифференциальная входная проводимость ($y_{вх.1}$) ДУ уменьшается:

$$y_{вх.1} = \frac{i_{вх.1}}{U_{вх}} = \frac{i_{б1} - i_{кб}}{U_{вх}} = \frac{I_0}{2\varphi_T} \left(\frac{1}{\beta_1} - \frac{1}{\beta_{3-4}} \right) = y_{вх.1}^* \left(1 - \frac{\beta_1}{\beta_{3-4}} \right) \ll y_{вх.1}^*, \quad (8)$$

где $y_{вх.1}^* = \frac{I_0}{2\varphi_T\beta_1}$ – входная проводимость классического ДУ без цепей компенсации.

Так как транзисторы VT1–VT4 идентичны ($\beta_1 \approx \beta_{3-4}$), то из (8) следует, что входное сопротивление ДУ (рис. 1) значительно выше $R_{вх}$ в классических ДУ.

Компьютерное моделирование сравниваемых схем ДУ проведено в среде PSpice на моделях интегральных транзисторов ФГУП НПП «Пульсар» (рис. 2).

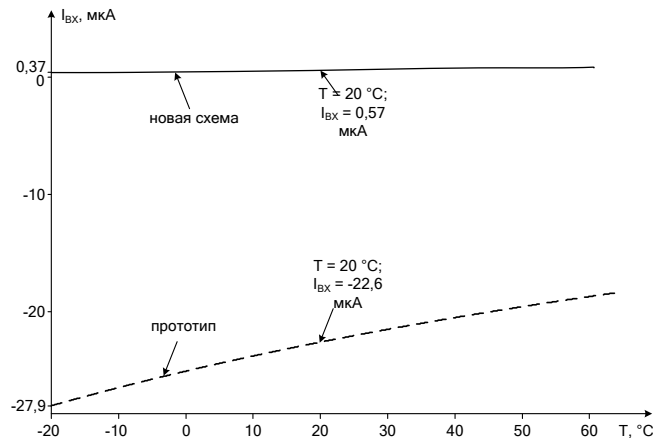


Рис. 2 – Температурные зависимости входных токов сравниваемых ДУ.

Следует заметить, что зависимость β_1 , β_2 и β_3 , β_4 транзисторов VT1–VT4 от их статического напряжения коллектор-база $U_{кб}$ не позволяет получить полную компенсацию $y_{вх} = R_{вх}^{-1}$ при произвольных величинах $U_{кб.1-2}(U_{кб.3-4})$. В этой связи для получения предельных значений $R_{вх}$ в схему необходимо ввести дополнительную цепь согласования потенциалов, условно показанную на рисунке 1 в виде источника э.д.с. E_{11} . В частных случаях её функции могут выполнять различные транзисторные каскады. Такое схемотехническое решение позволяет получить мегаомные значения $R_{вх}$ (рис. 3) и наноамперные статические входные токи $I_{вх.1}$ (рис. 2).

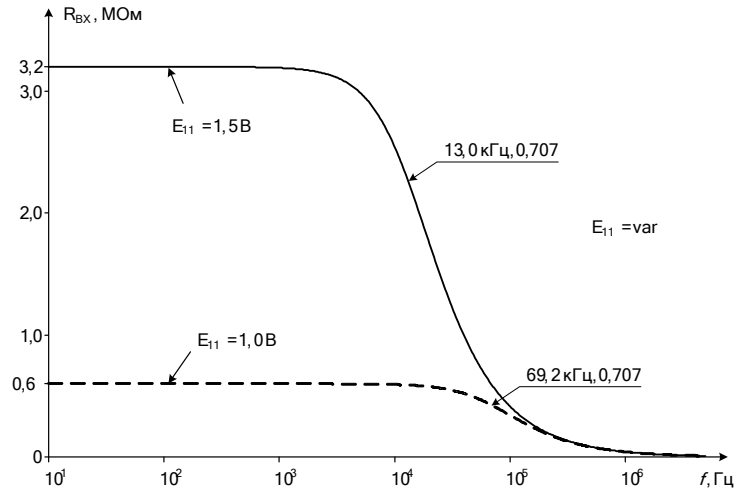


Рис. 3 – Частотные зависимости входного сопротивления
ДУ рис. 1 при $E_{11} = \text{var}$.

Компьютерное моделирование показывает, что в предлагаемой схеме ДУ входной статический ток более чем в 40 раз меньше, а его входное сопротивление более чем в 20 раз лучше входного сопротивления классического каскодного ДУ.

Список литературы:

1. Коротков А.С. Интегральные (микроэлектронные) радиоприемные устройства систем связи – обзор // Микроэлектроника, 2006. – Том 35, № 4. – С. 285-305
2. Прокопенко Н.Н., Ковбасюк Н.В., Хорунжий А.В. Дифференциальный усилитель с повышенным коэффициентом усиления по напряжению: пат. 2331965 Рос. Федерация. № 2007115713/09; заявл. 25.04.07; опубл. 20.08.08, Бюл. № 23. 9 с.
3. Прокопенко Н.Н., Ковбасюк Н.В., Хорунжий А.В. Дифференциальный усилитель: пат. 2331974 Рос. Федерация. № 2007115712/09; заявл. 25.04.07; опубл. 20.08.08, Бюл. № 23. 7 с.
4. Прокопенко Н.Н., Ковбасюк Н.В. Архитектура и схемотехника аналоговых микросхем с собственной и взаимной компенсацией импедансов: монография. – Шахты: Изд-во ЮРГУЭС, 2007. – 326 с.
5. Прокопенко Н.Н., Ковбасюк Н.В., Хорунжий А.В. Архитектура дифференциальных каскадов с повышенным коэффициентом усиления // Проблемы современной аналоговой микросхемотехники : сб. материалов VI Междунар. науч.-практич. семинара. В 3-х ч. Ч. 1. Функциональные узлы аналоговых интегральных схем и сложных функциональных блоков / под ред. Н.Н. Прокопенко. – Шахты: Изд-во ЮРГУЭС, 2007. – С. 95–105.
6. Прокопенко Н.Н. Нелинейная активная коррекция в прецизионных аналоговых микросхемах. – Ростов н/Д.: Изд-во СКНЦ ВШ, 2000. – 224 с.
7. Prokopenko N.N., Krutchisky S.G., Kovbasjuk N.V. Methods of compensation of parasitic parameters of transistors in analogue integrated circuits (статья) // 2st IEEE International Conference on Circuits and Systems for Communication, Moscau, Russia, June, 2004. – Moscau, 2004.
8. Prokopenko N.N., Krutchinsky S.G., Budyakov A.S., Savchenko J.M., Kovbasjuk N.V. Compensation Methods of Basic Transistors Output Capacitance Components in Analog Integrated Circuits // Third IEEE International Conference on Circuits and Systems for Communications (ICCSC'06), July 6-7 2006, Poitehnica University, Bucharest, Romania. – Bucharest, 2006. – P. 44–49.
9. Операционные усилители с непосредственной связью каскадов / Анисимов В.И., Капитонов М.В., Прокопенко Н.Н., Соколов Ю.М. - Л., 1979. - 148 с.

Г. Б. Коптяева, О. М. Тимохова, Н. Р. Шоль к.т.н.

Ухтинский государственный технический университет,
лесотехнический факультет, кафедра лесных,
деревообрабатывающих машин и материаловедения,
Россия, Ухта,
zav_ldm@ugtu.net

ПОВЫШЕНИЕ КОРРОЗИОННОЙ СТОЙКОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ И ДЕТАЛЕЙ МАШИН

Повышение коррозионной стойкости деталей машин, технологического оборудования и их восстановление методом газотермического напыления. Порошковые материалы для газотермического напыления. Экономическая выгода для восстановления изношенных деталей.

Ключевые слова: газотермическое напыление, коррозионная стойкость, восстановление, порошковые материалы.

По мере развития техники вопросы повышения долговечности, надежности современных машин и оборудования приобретают все большее значение. Высокий коррозионный износ технологического оборудования и машин в любых отраслях промышленности все более остро ставит вопрос внедрения современных технологий эффективного ремонта, восстановления работоспособности, повышения надежности, продления сроков эксплуатации при снижении затрат на ремонтно-восстановительные работы.

Поэтому основная задача заключается в том, чтобы решить проблему надежности, долговечности в эксплуатации деталей, металлических элементов конструкций и узлов, которые работают в условиях агрессивных сред путем использования технологий и устройств для газотермического напыления (ГТН) защитных покрытий из полимерных порошков, установить порядок влияния условий ГТН на свойства защитных покрытий из полимерных порошков.

Основным средством защиты от коррозионного износа является комплексная упрочняющая обработка деталей химико-термической метод с последующим напылением, в результате которых структура стали насыщается редкоземельными металлами, что повышает коррозионную стойкость в 3,5...4 раза.

Повышение коррозионной стойкости деталей машин, возможно, достичь как непосредственно в процессе изготовления детали и последующим химико-термическим упрочнением, так и при восстановлении износостойких деталей методом газотермического напыления [4].

Широкое применение для газотермического напыления получили порошки никелевых самофлюсующихся сплавов на основе Ni, Cr, Co, Cu, термореагирующие порошки на основе Ti, Ni, Cu, Al, порошки аморфизирующих сплавов, применяемые для газоплазменного, плазменного и детонационного напыления. [2].

Постановка задачи:

- изучить коррозионную стойкость покрытий;
- изучить влияние технологических параметров ГТН на устойчивость в агрессивных средах.
- добиться экономического эффекта от восстановления деталей, оборудования.

Методы исследования:

Адгезионную прочность полимерных покрытий полученных с помощью ГТН и известных порошков, в состав которых были введены наночастицы отходов целлюлозного производства, изучили при помощи штифтового метода оценки прочности сцепления, который состоит в том, что штифт отрывается от слоя приложенной нормальной нагрузкой [3]. Данный метод состоит из нескольких этапов:

1. Подготовка образцов для напыления.
2. Нанесения покрытия.
3. Определение его прочности.

Для проведения эксперимента были изготовлены образцы из стали 45 ГОСТ 1050-88, которые подвергались газотермическому напылению. Инструментом для напыления порошка была выбрана газопламенная горелка (рис. 1), в которой источником тепла является ацетиленкислородное пламя. Температура пламени не превышает 3000 С. Попадая в факел ацетиленкислородного пламени, порошок с наночастицами разогревается до температуры, близкой к температуре плавления и имеет скорость примерно 20-30м/сек. При ударе с изделием разогретые частицы соединяются с поверхностью детали и друг с другом, при этом образуется плотное и равномерное по всей поверхности наноструктурированное покрытие толщиной до 20 мкм.

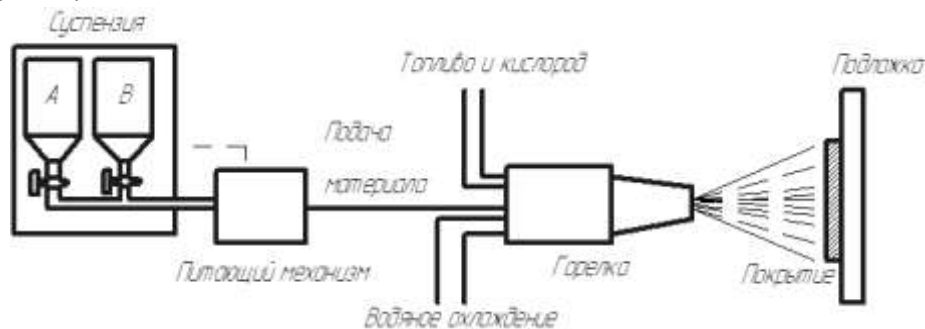


Рис. 1 - Схема нанесения газотермического покрытия.

В процессе были исследованы составы стандартных порошков, а также новый состав порошка, в который включены наночастицы отходов целлюлозного производства (таблица 1), которые обеспечивают высокую прочность и коррозионную стойкость поверхности.

Таблица 1- Порошковые сплавы на никелевой основе

Марка	Химический состав, %							Твердость	Назначение и характеристика сплава
	Cr	B	Si	Fe	C	Al	Ni		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ПГ-12Н-01	8-14	1,7-2,3	1,2-3,2	2,0-5,0	0,3-0,6	-	ост.	35-44 HRCэ	Для упрочнения и восстановления поршней насосов, валов

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ПТ-19Н-01	8-14	1,7-2,3	1,2-3,2	2,0-5,0	0,3-0,6	0,8-1,3	ост.	28-40 HRCэ	Наносится на деталь через подслой
ПТ-НА-01	-	-	-	-	-	4,0-5,3	ост.	-	Применяется в качестве подслоя. Наносится на все металлы.

Исследуемый порошок на основе ПТ-19Н-01 с добавкой наночастиц (0,5% -1,5%)	6-12	1,1-2,0	0,7-2,9	1,5-4,3	0,1-0,4	0,4-4,6	ост.	50 HRC	Для упрочнения и восстановления поршней насосов, валов
--	------	---------	---------	---------	---------	---------	------	--------	--

Из таблицы видно, что новый разрабатываемый состав материала имеет повышенную твердость, вероятно за счет упрочняющей фазы наполнителя наночастиц [3], которые повышают коррозионную стойкость в 3,5...4.

После нанесения покрытия был проведен рентгеноструктурный анализ для изучения изменений структуры исследуемых покрытий при выборе режимов напыления. Полимерные покрытия на коррозионную стойкость изучали методом, основанным на ГОСТ 9.083-78. Данный метод заключается в экспериментальном определении зависимости ресурса испытаний от свойств агрессивной среды. Критерием предельного состояния (отказа) является снижение электрического сопротивления покрытия до сопряжения разрушения.

Зависимость между электрическими сопротивлениями и продолжительностью испытания приведена на рисунке 2.

Испытания в других режимах заканчивают, когда величина приведенного электрического сопротивления покрытия уменьшится до средней величины приведенного критического сопротивления разрушения [1].

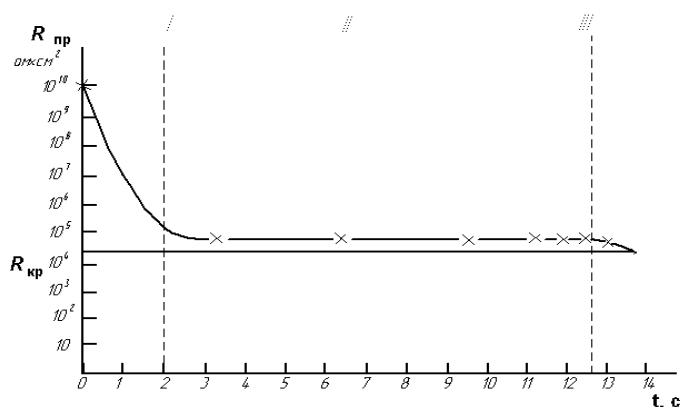


Рис. 2 – Зависимость приведенного электрического сопротивления от продолжительности испытаний.

Обработка данных, полученных путем эксперимента, выполнена в соответствии с общими принципами математической статистики с использованием ПЭВМ.

Проведенный анализ показывает, что при использовании современных технологий упрочнения в течение длительного периода помогает поддерживать оборудование в работоспособном состоянии без замены его новым. Это позволяет на 25...30% снизить затраты на капитальный ремонт.

Восстановление и ремонт изношенных деталей будет экономически выгоднее, чем изготовление новых (40% цены от новых). К тому же сокращается число производственных операций примерно в 5...8 раз по отношению с изготовлением новых. Оборудование для напыления порошков слоем от 0,1 мм до нескольких как на большие, так и на маленькие детали, не занимает много места, даже помещается в небольшой чемодан. При этом идет меньший расход материалов за счет пониженных припусков на обработку, а так же получается более высокая точность размеров восстановленных поверхностей и высокая производительность процесса нанесения покрытия.

Список литературы:

1. Кулик, А. Я. Газотермическое напыление композиционных порошков [Текст]: учебник / А. Я. Кулик, Ю. С. Борисов, А. С. Мнухин, М. Д. Никитин. – Л.: Машиностроение, 1985. – 199 с.
2. Панталеенко, Ф. И. Материалы, технология и оборудование для восстановления и упрочнения деталей машин. Ч.1. Наплавка и напыление [Текст]: учебное пособие / Ф. И. Панталеенко, С. Н. Любецкий. – Новополюцк, 1994.–116 с.
3. Тимохова, О. М. (Чувьюрова, О. М.) Исследование коррозионной стойкости стали после термической обработки [Текст]: материалы IX международная молодежная научная конференция "Севергеозкотех-2008" (19-21 марта 2008 г., Ухта): в 3 ч.; ч. 1. - Ухта: УГТУ, 2008. - С. 254-256.
4. Шоль, Н. Р. Ресурсосберегающие технологии ремонта, восстановления и упрочнения деталей машин, механизмов, оборудования, инструмента и технологической оснастки от нано- до макроуровня [Текст]: материалы 12-й международной научно-практической конференции: в 2 ч.; ч. 1 / Н. Р. Шоль, Г. Б. Коптяева, О. М. Тимохова. – СПб: Изд-во Политехн. ун-та, 2010. – С. 217-220.

В. А. Лысов*, О. В. Шевченко, А. В. Щеголев*****

*Орский гуманитарно-технологический институт (филиал)
«Оренбургский государственный университет»,
Механико-технологический факультет,
Россия, Орск
lysov.vladimir-orisk@yandex.ru

**ОАО «Орскнефтеоргсинтез»
Россия, Орск
oksnavsh@yandex.ru

***ОАО «Механический завод»
Россия, Орск
andrej-shhegolev@yandex.ru

АППРОКСИМАЦИЯ ПЛОСКИХ КРИВОЛИНЕЙНЫХ КОНТУРОВ ГЛАДКИМИ КРИВЫМИ НА ДИСКРЕТНОМ МНОЖЕСТВЕ ОПОРНЫХ ТОЧЕК

В работе рассматривается методика автоматической аппроксимации криволинейных контуров гладкими кривыми, образованными дугами окружностей, обосновывается производственная необходимость создания, приводится необходимый теоретический и прикладной математический аппарат, осуществляется теоретическое обоснование результативности, перечисляется состав исходных и результирующих данных, анализируется производственный опыт авторов разработки, внедрения и эксплуатации на предприятии машиностроительного профиля.

Ключевые слова: аппроксимация, криволинейный контур, гладкая кривая, осевое сечение, технологический инструмент, глубокая вытяжка, матрица и пуансон.

Применение методов автоматической аппроксимации и интерполяции в решении различных инженерных задач, в частности технологических, является неотъемлемой составляющей производственных информационных технологий. Эти методы, основанные на применении прикладного аппарата математического (оптимизационного) моделирования с использованием компьютерных технологий, по своей универсальности и экономичности не имеют альтернативы.

В настоящей работе рассматривается методика автоматической аппроксимации криволинейных контуров, определяющих осевые сечения цилиндрических осесимметричных деталей с плоской и рельефной донной частью, а также осевые сечения рабочих частей инструмента (пуансонов и матриц) в технологических процессах изготовления методом глубокой вытяжки. Аппроксимация осуществляется *гладкими* кривыми, образованными дугами окружностей.

Предложенная методика является одной из основных составляющих «Системы автоматизированного оперативного проектирования технологических процессов изготовления цилиндрических осесимметричных деталей с плоской и рельефной донной частью методом глубокой вытяжки» на предприятии машиностроительного профиля ОАО «Механический завод», г. Орск, Оренбургская область.

Анализируется результативный опыт разработки, внедрения и эксплуатации представленной методики в основном и инструментальном производстве.

Производственная необходимость создания методики обусловлена практической потребностью снижения появления складок и гофрообразований на операциях вытяжки.

Решить данную задачу позволяют средства и методы аналитической геометрии, составляющие основу прикладного математического аппарата методики, предполагающие электронное представление геометрических объектов в координатной форме. Таким образом, создаётся благоприятная основа формирования свойств осевых сечений, которые обеспечивают необходимые физические и механические пооперационные параметры полуфабрикатов изделий и технологического инструмента.

Результирующие данные аппроксимации (Таблица 2) используются для изготовления технологического инструмента (пуансонов и матриц) на металлорежущих станках с ЧПУ, что способствует решению задачи за счёт повышения точности инструмента.

Методика предполагает создание электронно-аналитических образов в виде функциональных зависимостей, приемлемых для результативного исследования численными и прикладными методами дифференциального исчисления.

Для эффективного функционирования методики возникает необходимость создания соответствующих математических моделей и программного обеспечения. Очевидно, что получение формального аналога исследуемого объекта требует строгого теоретического обоснования. В данном случае таковым является следующие утверждения, сформулированные и обоснованные в процессе исследования.

Утверждение 1.

Пусть $A_1, A_2, \dots, A_n$ – последовательность точек, определяющая некоторый плоский криволинейный контур, возможно, замкнутый. Через точки $A_1, A_2, \dots, A_n$ проходят регламентирующие касательные $a_1, a_2, \dots, a_n$ (Рис.1).

Тогда, существует хотя бы одна плоская гладкая кривая, образованная дугами окружностей, последовательно проходящая через все точки $A_1, A_2, \dots, A_n$, касаясь прямых $a_1, a_2, \dots, a_n$ соответственно.

Утверждение 2.

Пусть $A_1A_2\dots A_n$ – ломаная линия, ограничивающая некоторый плоский криволинейный контур, возможно, замкнутый (Рис.2).

Тогда, существует хотя бы одна плоская гладкая кривая, образованная дугами окружностей, последовательно касающаяся всех звеньев ломаной линии $A_1A_2\dots A_n$ в некоторых точках $K_1, K_2, \dots, K_{n-1}$ соответственно.

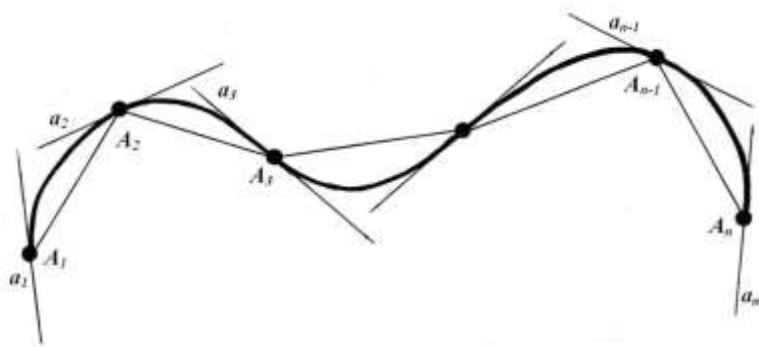


Рис. 1 – Контур определён опорными точками и касательными.

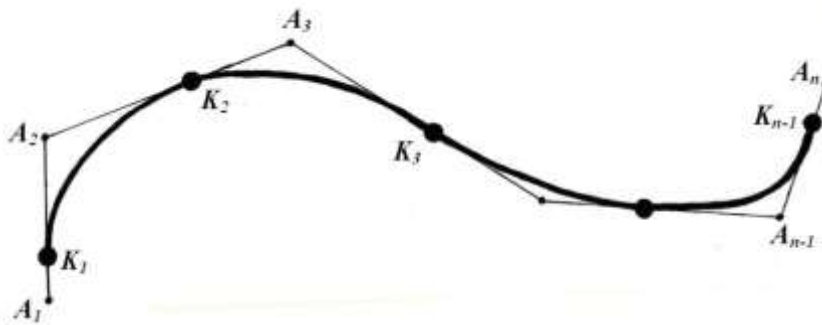


Рис. 2 – Контур ограничен ломаной линией.

Обоснование утверждения 1.

Точки $A_1, A_2, \dots, A_n$ определены в полярной или декартовой системе координат с полюсом (началом координат) в точке O . Рассмотрим построение кривой по фрагментам для каждого сектора, например, A_1OA_2 .

Возможны два варианта взаимного расположения точек A_1, A_2 , для которых точка пересечения касательных a_1, a_2 находится внутри сектора A_1OA_2 (Рис.3) и вне сектора A_1OA_2 (Рис.4).

В том и другом случае треугольник A_1XA_2 определяет равнобедренные треугольники A_1O_1X и A_2O_2X так, что точки O_1, X, O_2 лежат на одной прямой. Таким образом, показано существование точки X такой, что дуга A_1X окружности с центром в точке O_1 радиуса $O_1A_1 = O_1X$ и дуга A_2X окружности с центром в точке O_2 радиуса $O_2A_2 = O_2X$ в точке X имеют общую касательную, т.е. имеет место сопряжение (плавный переход) из точки A_1 в точку A_2 через точку X .

Последовательность таковых пар дуг для всех секторов представляет искомую гладкую кривую, образованную дугами окружностей.

Важную роль играют углы φ_1, φ_2 треугольника A_1XA_2 , величины которых определяются по формуле

$$\varphi_1 + \varphi_2 = \frac{\pi - (\alpha_1 + \alpha_2)}{2}$$

Частный случай при $\varphi_1 = \varphi_2 = \varphi$

$$\varphi = \frac{\pi - (\alpha_1 + \alpha_2)}{4}$$

Необходимо отметить следующее. Точка X определяется однозначно, если $\varphi_1 = \varphi_2 = \varphi$. Если углы φ_1, φ_2 различны, то, **варьируя** их значениями с некоторым шагом, можно определить положения центров O_1, O_2 , при которых переход из точки A_1 в точку A_2 через точку X **наиболее плавный** - разность радиусов O_1A_1, O_2A_2 наименьшая, **наиболее быстрый** - суммарная длина дуг A_1X, A_2X наименьшая.

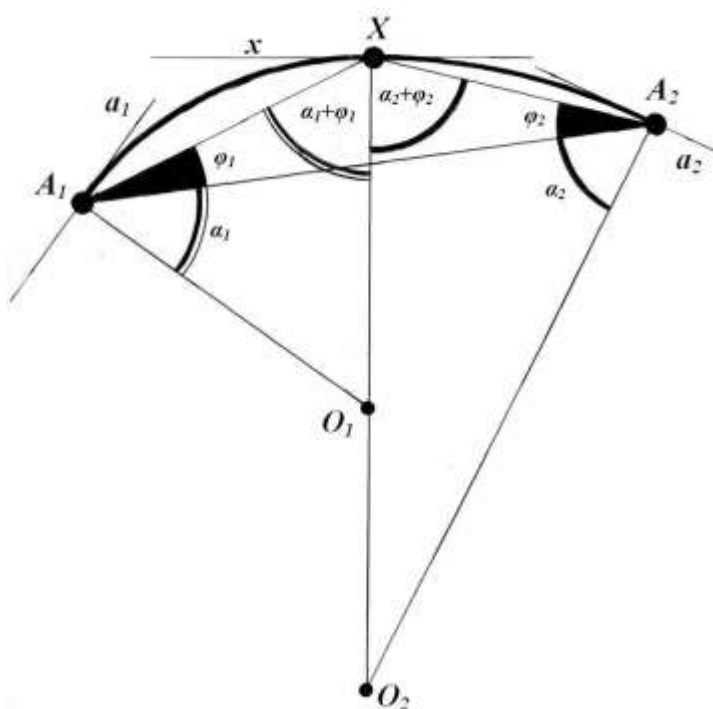


Рис. 3 – Точка пересечения касательных внутри сектора.

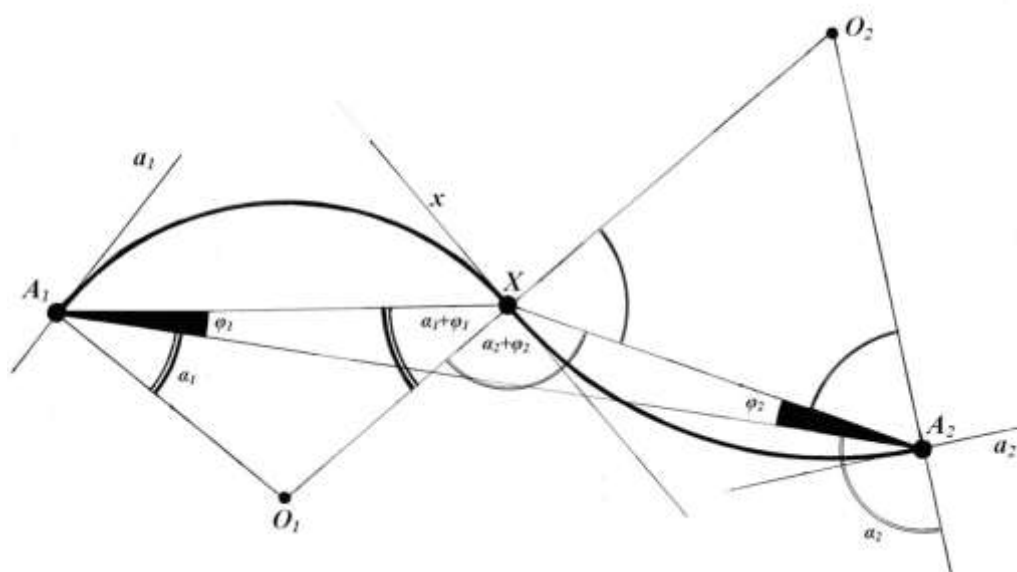


Рис. 4 – Точка пересечения касательных вне сектора.

Обоснование утверждения 2 проводится аналогично.

Далее представлен состав исходных и результирующих данных для аппроксимации плоских криволинейных контуров гладкими кривыми, образованными дугами окружностей.

Таблица 1 – Исходные данные

№ сектора	Координаты точек A_i в декартовой и полярной системах координат					Угловой коэффициент a_i		Угол α_1		Угол α_2	
	Ось X	Ось Y	Радиус - вектор	Угол в градусах	Угол в радианах	в градусах	в радианах	в градусах	в радианах	в градусах	в радианах

Таблица 2 – Результирующие данные

№ сектора	Координаты			Радиус $R_1=O_1X$	Длина дуги $L_1=A_1X$	Координаты			Радиус $R_2=O_2X$	Длина дуги $L_2=XA_2$
	A_1	X	O_1			X	A_2	O_2		

Рассмотренная методика в течение эксплуатации с 1993 года получила широкое применение в основном и инструментальном производстве предприятия машиностроительного профиля ОАО «Механический завод», г. Орск, Оренбургская область, в технологических процессах изготовления контрольно-мерительного инструмента, рабочих поверхностей кулачков, поверочных шаблонов и целого ряда других.

В процессе эксплуатации снижение станкоёмкости изготовления составило 12 – 17 % на операциях черновой и чистовой обработки на металлорежущих станках с ЧПУ и на 8 – 10 % на операциях шлифования.

В результате внедрения методики полностью исключено появление выступов и впадин в точках сопряжения.

Наиболее значимым является применение методики в инструментальном производстве для технологических процессов изготовления цилиндрических осесимметричных деталей с плоской и рельефной донной частью методом глубокой вытяжки.

Г. В. Маврин к.х.н., И. Ф. Сулейманов, Д. А. Харлямов

Камская государственная инженерно-экономическая академия,
строительный факультет, кафедра «Химия и экология»
Россия, Набережные Челны
chem_ineka@inbox.ru

ЗАБОЛЕВАЕМОСТЬ ЖИТЕЛЕЙ ГОРОДА – КАРТЫ РАССЕИВАНИЯ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ – КВОТЫ НА ВЫБРОСЫ

В рамках настоящего исследования впервые собраны и проанализированы сведения об источниках загрязнения атмосферы и заболеваемости жителей города Набережные Челны, проведены сводные расчеты загрязнения атмосферного воздуха выбросами промышленных предприятий и автотранспорта. Получено более 150 карт рассеивания загрязняющих веществ. Составлен прогноз концентраций загрязняющих веществ в жилой зоне города и выявлены вещества и группы суммации, для которых вероятно превышение ПДК. Представлен пример квотирования загрязняющих веществ.

Ключевые слова: атмосферный воздух, загрязняющие вещества, расчет рассеивания, предельно допустимая концентрация, карты рассеивания, заболеваемость, квоты на выбросы.

Урбанизация территории, рост промышленных объектов и постоянное увеличение интенсивности автомобильного транспорта сопровождается рядом негативных явлений и, прежде всего, чрезмерным скоплением в атмосфере различных загрязняющих веществ. По данным Всемирной организации здравоохранения, в настоящее время в мире используется до 500 тысяч химических соединений. При этом около 40 тысяч соединений обладают весьма вредными для живых организмов свойствами, а 12 тысяч соединений - токсичны [1,2]. Основными источниками поступления данных загрязняющих веществ (ЗВ) в атмосферный воздух являются промышленное производство и транспортные средства.

Выбросы промышленного производства и транспортных средств оказывают неблагоприятное воздействие на организм человека через кожу, желудочно-кишечный тракт и наиболее негативно – через органы дыхания. Химические вещества, находящиеся в газообразном состоянии, а также в виде аэрозолей, интенсивно поглощаются в первую очередь органами дыхания и часто действуют незамедлительно. Также они проникают во внутренние органы и влияют на здоровье всего организма человека.

В работах Э.Ю. Безугловой исследовалась степень воздействия загрязнения атмосферы на возникновение злокачественных новообразований у взрослых и на заболеваемость болезнями дыхательных путей у взрослых и детей [3,4]. При этом учитывались не только концентрации веществ, но их сочетание, которое было представлено индексом загрязнения атмосферы [3,4]. В указанных работах по 84 городам была показана связь загрязнения воздуха со здоровьем населения. При этом расчет индекса загрязнения атмосферы в данных городах производился на основании инструментального мониторинга, включающего наблюдения за загрязнением атмосферного воздуха с помощью стационарных постов и передвижных лабораторий Управления по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. Следует отметить, что при экспериментальном мониторинге информация недостаточна в части описания загрязнения атмосферы города всеми поступающими в нее вредными веществами и не дает полную картину рассеивания ЗВ. Для проведения анализа влияния заболеваемости населения от качества атмосферного воздуха в условиях определенных районов города необходимо более полное представление загрязнения

атмосферного воздуха. Исходя из положения Федерального закона «Об охране атмосферного воздуха» [5], для эффективного решения проблемы обеспечения чистоты воздушного бассейна и оценки качества атмосферного воздуха необходимо проведение сводных расчетов загрязнения воздушного бассейна городов (регионов) выбросами промышленности и автотранспорта.

В этой связи, в соответствии с методическими пособиями и нормативными документами [6,7,8,9] собраны, обработаны и систематизированы сведения о действующих источниках загрязнения атмосферы предприятий и автотранспорта города Набережные Челны.

На основании полученных данных с помощью программного обеспечения фирмы «Интеграл» выполнен сводный расчет рассеивания 143 загрязняющих веществ, в том числе образующих 28 групп суммации. Проведенные расчеты позволили получить картину распределения уровня загрязнения атмосферного воздуха по всей территории города Набережные Челны.

В соответствии с методическим пособием [10] определен расчетный индекс загрязнения атмосферы. Пространственное распределение расчетного индекса загрязнения атмосферы отображено на рис. 1.



Рис. 1. Карта пространственного распределения расчетного индекса загрязнения атмосферы.

Уровень загрязнения атмосферного воздуха считается повышенным при ИЗА от 5 до 6, высоким – при ИЗА от 7 до 13 и очень повышенным – при ИЗА не менее 14. В соответствии с существующими методами [10] оценки загрязнения атмосферы значение ИЗА на 80% территории жилой зоны города прогнозируется в пределах 4, на 20% в пределах 6. Повышенный уровень загрязнения атмосферы прогнозируется в жилых микрорайонах, расположенных в непосредственной близости к промышленной зоне и на участках с высокой интенсивностью движения автотранспорта.

В целях выявления воздействия загрязнения атмосферного воздуха на здоровье населения обработаны данные по заболеваемости жителей города Набережные Челны в

разрезах следующих возрастных категорий: до 18 лет, 18 лет и старше, взрослые старше трудоспособного возраста (с 55 лет у женщин и с 60 у мужчин). На участках, где по итогам сводных расчетов спрогнозирован повышенный уровень загрязнения атмосферы, выявлена отрицательная динамика заболеваемости органов дыхания у всех трех групп. В этой связи, для приведения качества атмосферы в соответствие с санитарно-эпидемиологическими требованиями с помощью расчетного блока «Эколог-Норма» произведено нормирование выбросов ЗВ и определены допустимые вклады. Данные допустимые вклады предложено определить, как квоты на выбросы загрязняющих веществ. Квоты на выбросы оксида углерода представлены в нижеследующей таблице.

Таблица – Квота на выброс оксида углерода.

Наименование ЗВ	№ источника	Наименование источника выброса	Существующий объем выброса ЗВ (г/с)	Квота на выброс ЗВ (г/с)	Процент снижения
Оксид углерода	175	Литейное производство	15,2156	9,1295	39%
	176	Литейное производство	15,2156	9,1295	39%
	177	Литейное производство	15,2156	9,1295	39%
	178	Литейное производство	15,2156	9,1295	39%
	179	Литейное производство	15,2156	9,1295	39%
	180	Литейное производство	15,2156	9,1295	39%
	181	Литейное производство	15,2156	9,1295	39%
	4375	Жилищно-коммунальное хозяйство	0,000127	0,000125	1%
	4376	Жилищно-коммунальное хозяйство	0,000127	0,000125	1%
	4377	Жилищно-коммунальное хозяйство	0,000127	0,000125	1%
	4378	Жилищно-коммунальное хозяйство	0,000127	0,000125	1%
	8016	пр. Хасана Туфана	7,3	4,8181	66%
	8028	пр. Раиса Беляева (участок от пр. Мира до пр. Московский)	4,46	4,15735	12%
	8034	пр. Дружбы (участок от пр. Мира до пр. Московский)	3,78	3,24855	27%
	8063	пр. Московский (участок от пр. Хасана Туфана до пр. Раиса Беляева)	3,02	2,33955	22%
	8064	пр. Московский (участок от пр. Раиса Беляева до пр. Дружбы Народов)	4,59	4,2785	12%
	8072	пр. Мира (участок от пр. Раиса Беляева до пр. Дружбы Народов)	7,5	6,52715	24%
	8076	пр. Мира (участок от ул. Академика Королева до пр. Дружбы Народов)	5,89	5,4653	14%
	8078	пр. Сююмбике (участок от пр. Автозаводский до пр. Вахитова)	5,66	4,4864	40%

	8080	пр. Сююмбике (участок от пр. Вахитов до пр. Хасана Туфана)	8,39	6,6	42%
	8183	пр.Набережночелнинский	25,2	23,383	14%
	8185	пр. Мусы Джалиля	4,2	3,29265	21%

Следует отметить, что основным источником поступления оксида углерода в атмосферный воздух города является автотранспорт. Поэтому, по данному ЗВ необходима выработка мероприятий направленных в первую очередь на снижение интенсивности движения автотранспорта. В то же время, направление потока по иным проспектам города не является решением проблемы. На сегодняшний день наиболее перспективными направлениями являются:

1. Обновление городского автопарка путем перевода на газ общественного транспорта и коммунальной техники и создание инфраструктуры для заправки данных единиц техники.
2. Выбор оптимальных градостроительных решений, связанных со строительством подземных переходов, транспортных развязок, определением архитектурно-планировочных характеристик строящихся и реконструируемых автомагистралей.
3. Перепланировка транспортного движения и его структуры на долговременный период и отдельные часы суток.
4. В период неблагоприятных метеоусловий необходимо снижать интенсивность движения автотранспорта по основным городским магистралям, таким как пр. Муссы Джалиля, пр. Набережночелнинский, пр. Чулман, пр. Сююмбике, ул. Академика Королева, пр. Мира.
5. Маршрутное ориентирование водителей, оптимизация пропуска транзитного транспорта.

Заключение.

В рамках настоящего исследования собраны и проанализированы сведения о действующих стационарных источниках загрязнения атмосферы, их качественных и количественных характеристиках, фактических выбросах, а также проведены натурные обследования структуры и интенсивности движущегося автотранспортного потока на основных магистралях города Набережные Челны.

На основании полученных данных впервые для города Набережные Челны был произведен сводный расчет 143 загрязняющих веществ, в том числе входящих в 28 групп суммации, по каждому веществу построены и проанализированы карты распределения уровня загрязнения воздуха по всей территории города.

По результатам расчета рассеивания ЗВ составлен прогноз концентраций ЗВ в жилой зоне города, определен расчетный индекс загрязнения атмосферы.

Обработаны данные по заболеваемости населения города Набережные Челны в возрастном разрезе, определена связь между качеством атмосферного воздуха и уровнем заболеваемости населения.

В целях улучшения качества атмосферного воздуха предложено установить квоты на выбросы и мероприятия по регулированию движения автотранспорта и снижению объемов выбросов ЗВ.

Список литературы:

1. Протасов В.Ф. Экология, здоровье и охрана окружающей среды в России. – М.: Финансы и статистика, 2000.
2. Цыцур А.А., В.М. Боев, Куксанов В.Ф., Старокожева Е.А. Комплексная оценка качества атмосферы промышленных городов Оренбургской области – Оренбург, Изд-во ОГУ, 2002. – 164с.
3. Bezuglaya, E. Yu. Measurement of toxic pollutants in Russian cities and their effect on human health. Measurement of Toxic and Related Air Pollution. USEPA/A and WMA International Symposium. – 1994.
4. Безуглая Э.Ю., Завадская Е.К., Расторгуева Г.П., Смирнова И.В. Исследования загрязнения атмосферы и связи с влиянием их на здоровье населения / Современные исследования Главной геофизической обсерватории: К 150-летию со дня основания: Юбилейный сборник. Том 1. – 1999. – С. 144-161.
5. Федеральный закон «Об охране атмосферного воздуха». Москва, 1999г.
6. Миляев В.Б. и др. / Методическое пособие по выполнению сводных расчетов загрязнения атмосферного воздуха выбросами промышленных предприятий и автотранспорта города (региона) и их применению при нормировании выбросов / утверждено приказом Госкомэкологии России №66 от 16 февраля 1999 года / г. Санкт Петербург 2000г.
7. Методика определения выбросов автотранспорта для проведения сводных расчетов загрязнения атмосферы городов: утв. приказом Госкомэкологии России № 66 от 16.01.1999 г.
8. Рекомендации по обеспечению безопасности движения на автомобильных дорогах: отраслевой дорожный методический документ: утв. распоряжением Минтранса России № ОС-557-р от 24.06.2002 г.
9. Расчетные инструкции (методики) по инвентаризации выбросов Р24 загрязняющих веществ автотранспортными средствами и дорожно-строительными машинами в атмосферный воздух / ОАО НИИАТ. – М.: Автополис-плюс, 2008. – 84 с., табл.
10. Г.В. Маврин, С.В. Дворяк, Р.М. Падемирова / Информационные методы в экологическом мониторинге: Учебное пособие к практическим занятиям для студентов специальности 28020165 «Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов». - Набережные Челны: ИНЭКА, 2007. - 120 с.

И. В. Петухов к.т.н.

Марийский государственный технический университет,
радиотехнический факультет,
кафедра проектирования и производства электронно-вычислительных средств
Россия, Йошкар-Ола
PetuhovIV@marstu.net

МОДЕЛЬ И СИСТЕМА ОЦЕНКИ УСПЕШНОСТИ ОПЕРАТОРСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В ЧЕЛОВЕКО-МАШИННЫХ СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ

В работе представлена модель оценки успешности операторской деятельности на основе нечеткой логики и система оценки для ее реализации. Практическая реализация модели осуществлялась для операторов транспортных средств. Приведены результаты имитационного моделирования.

Ключевые слова: человеко-машинные системы, моделирование, система оценки.

Надежность и безопасность человеко-машинных систем управления (ЧМС) являются необходимыми параметрами современных производственных и промышленных объектов.

Анализ состояния аварийности на опасных производственных объектах показывает, что причины более 70 % аварий обусловлены человеческим фактором, при этом уровень ответственности оператора и цена допускаемых ошибок постоянно возрастают.

Проблема обеспечения надежности человека в составе ЧМС, надежности его функционирования при выполнении профессиональных функций, как в штатных, так и экстремальных ситуациях, снижения риска аварийности и травматизма на производственных объектах, а также оценка его деятельности в составе ЧМС является важной и актуальной.

Известно, что для успешного обучения и эффективной профессиональной деятельности человек должен обладать соответствующими профессионально-важными качествами (ПВК).

В то же время, не смотря на значительное количество разработанных тестов, позволяющих определить наличие у человека определенных ПВК, следует отметить, что задача оценки успешности деятельности оператора в целом не тривиальна с силу сложных перекрестных связей ПВК, сложности интерпретации результатов тестирования и формализации процессов когнитивной деятельности человека.

Недостаточно изучены вопросы взаимосвязи отдельных ПВК с успешностью операторской деятельности в целом, отсутствует единый методический подход к проведению исследований.

Целью работы является комплексная разработка модели и системы оценки успешности операторской деятельности и информационного взаимодействия человека-оператора и технической системы.

Достоверно известно, что причиной большинства аварийных и внештатных ситуаций являются ошибочные действия человека-оператора, которые, в свою очередь, являются следствием информационной рассогласованности человека и технической системы.

Обеспечение надежности информационного взаимодействия человека и технической системы возможно как по пути обеспечения надежности человека-оператора за счет профотбора и тренировки ПВК, так и по пути обеспечения надежности технической системы и информационного канала связи, за счет адаптации параметров канала связи, использования

адаптивных интерфейсов и методов человеко-ориентированного проектирования ЧМС, как показано на рис. 1.

При этом следует отметить, что оба подхода предполагают оценку особенностей сенсорных, анализаторных, когнитивных и моторных реакций оператора, характеризующих индивидуальные особенности организации нервной системы человека.



Рис. 1. Схема обеспечения надежности информационного взаимодействия человека и технической системы.

Проблеме комплексной оценке взаимодействия систем, задействованных в профессиональной деятельности, посвящено значительное количество работ в области эргономики, профпригодности и медицине труда.

Тем не менее, проблема исследования зависимости успешности операторской деятельности от соответствующих ПВК, качества информационного взаимодействия человека-оператора и технической системы не до конца решена.

На основе анализа результатов психофизиологических экспериментов ПВК и операторской пригодности человека-оператора, с применением методов нечеткой логики, разработана модель оценки операторской деятельности.

Применение методов нечеткой логики обусловлено эффективностью их использования в сложных трудно формализуемых и плохо структурированных процессах, которые могут управляться квалифицированными операторами без использования специфических знаний, лежащих в основе динамики функционирования этих процессов.

Модель операторской пригодности и оценки операторской деятельности представляет собой математическую зависимость показателя профессиональной пригодности от уровня развития профессионально важных психофизиологических и личностных качеств, определяемых по результатам тестирования.

Для моделирования операторской пригодности разработаны математическая модель на основе нечеткой логики и система экспертной оценки, представленная на рис. 2.

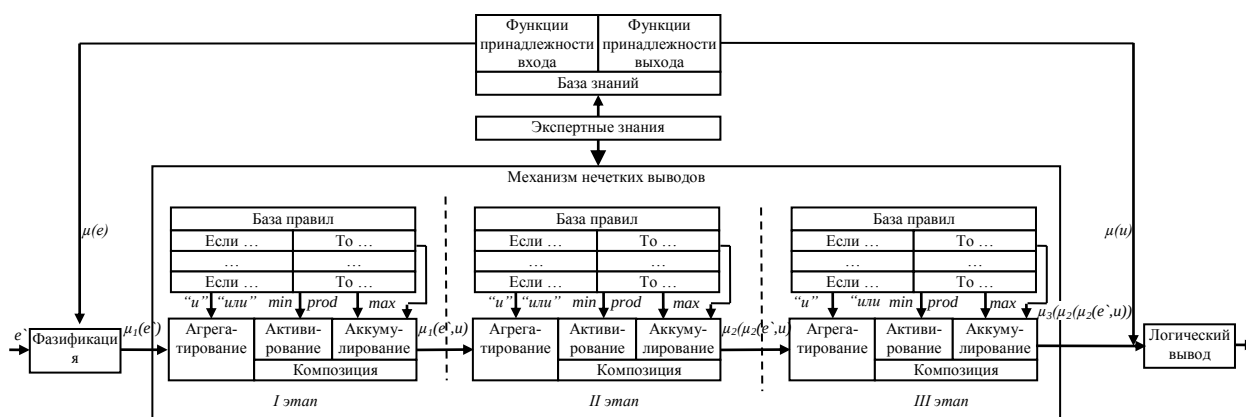


Рис. 2. Обобщенная структура нечеткой экспертной системы.

Нечеткая экспертная система моделирования оператора ЧМС управления реализуется в три этапа:

1. Фашификация – введение нечеткости;
2. Реализация механизма нечетких логических выводов, состоящего из 3х этапов:
 - 2.1 I этап – обработка результатов тестов и оценка степени выраженности ПВК,
 - 2.2 II этап – оценка выраженности группировки ПВК,
 - 2.3 III этап – оценка операторской пригодности и нечеткий логический вывод;
3. Дефашификация – приведение к четкости.

Для реализации разработанного подхода, предлагается выявление ПВК и соответствующих им психофизиологических качеств, характерных конкретному виду профессиональной деятельности.

Затем, на основе анализа апробированных и соответствующих стандартам психологической практики методик тестирования определяют набор психофизиологических тестов.

Принимаем, что входная переменная x_i – значения тестов (T_i), на выходе y_i – значения профессионально важных качеств (ПВК_i).

В качестве лингвистической переменной для каждого из выбранного теста_i (T_i), предложено 5 терм-множеств (очень плохой результат – 1, плохой результат – 2, нормальный – 3, хороший – 4, отличный результат – 5).

Лингвистическая переменная T_i представлена следующим образом:

$$T_i = \left\{ \frac{\mu_{T_i}(x_i)}{x_i} \right\} \quad (1)$$

где x_i - входная переменная - результаты тестов (T_i), $\mu_{T_i}(x_i)$ - входная функция принадлежности, заданная в треугольном виде.

Нечеткий вывод представлен на основе механизма Мамдани (Mamdani), использующий минимаксную композицию нечетких множеств.

Для каждого ПВК {ПВК₁, ... ПВК₁₂} строятся функции принадлежности входных параметров в нечетком виде по результатам выбранных психофизиологических тестов.

Далее следует оценка важности соответствующих ПВК данному виду профессиональной деятельности человека-оператора и определение их взаимосвязи с тестами.

При этом предложено выбрать 12 наиболее значимых ПВК и разбить их на 3 группы по 4 ПВК в каждой: особо важные качества, важные качества и маловажные качества. Каждый из выбранных психофизиологических тестов может использоваться для тестирования нескольких ПВК.

Представим следующую лингвистическую переменную $ПВК_i$, в которой входная переменная y_i – значения профессионально важных качеств ($ПВК_i$), на выходе z_i – значения группировки профессионально важных качеств ($ГПВК_i$).

Лингвистическая переменная $ПВК_i$ содержит также 5 терм-множеств и задается:

$$ПВК_i = \left\{ \mu_{ПВК_i}(y_i) \frac{\mu_{ПВК_i}(y_i)}{y_i} \right\} \quad (2)$$

Функция принадлежности входа – это функция принадлежности выхода первого этапа в нечетком виде.

На этапе 2.3. входными параметрами являются оценки выраженности группировки $ПВК$, а выходом – шкала, определяющая годность индивидуума к операторской деятельности.

Лингвистическая переменная свидетельствует о профессиональной пригодности человека – оператора, где входная переменная z_i – значения $ГПВК$ ($ГПВК_i$), на выходе d_i – значение годности оператора ТС ($Г$). Лингвистическая переменная $ГПВК_i$ содержит 5 терм-множеств и задается в виде:

$$ГПВК_i = \left\{ \frac{\mu_{ГПВК_i}(z_i)}{z_i} \right\} \quad (3)$$

Функция принадлежности входа – это функция принадлежности выхода второго этапа в нечетком виде.

Отличительной особенностью представленной модели является применение аппарата нечетких множеств уже на этапе тестирования.

Моделирование осуществлялось в среде MATLAB с использованием пакета Fuzzy Logic Toolbox. База правил строится для $ОВК$ – особо важных качеств, $ВК$ – важных качеств и $МВК$ – маловажных качеств. Функция принадлежности выхода так же представляется в нечетком виде. В результате функция принадлежности выхода представляется в нечетком виде, состояние которой может быть от 0 до 100% годности. Дефазификация осуществляется по методу среднего центра.

Формирование баз правил для конкретного вида операторской деятельности осуществляется с использованием методов экспертной оценки для каждого конкретного случая, что позволяет транслировать представленную модель на частные области операторского труда.

Практическая реализация модели и системы оценки осуществлялась для оценки профессиональной пригодности операторов технических средств.

Разработка экспертной системы осуществлялась экспертами, в состав которых входили представители службы кадров, государственная инспекция безопасности дорожного движения, психологи медико-биологической поддержки, специалисты в области менеджмента риска.

При формализации знаний экспертов на первом этапе использовался метод «Дельфи», позволяющей за счет обратной связи при необходимости корректировать грубые ошибки экспертных данных. Далее для выявления единого мнения при обработке полученных совокупностей данных и баз правил был выбран метод медианы рангов, позволяющий оперировать как с количественными, так и с качественными результатами.

На основе квалификационных требований к оператору транспортных средств экспертами выделены $ПВК$ и осуществлена их группировка, как представлено в табл.

Таблица

Профессионально-важные качества оператора транспортных средств		
Особо важные качества	Важные качества	Маловажные качества
ПВК-1. Точность зрительно-моторных действий	ПВК-5. Эмоциональная стабильность	ПВК-9. Распределение внимания
ПВК-2. Скорость переработки информации, подвижность нервной системы	ПВК-6. Уравновешенность нервной системы	ПВК-10. Точность зрительного анализа
ПВК-3. Вероятностное прогнозирование	ПВК-7. Точность идентификации объекта	ПВК-11. Работоспособность и утомляемость
ПВК-4. Внимание, переключение внимания	ПВК-8. Устойчивость внимания	ПВК-12. Адаптационные способности

Разработана схема соотношения известных психофизиологических тестов с данным набором ПВК, представленная на рис. 3.

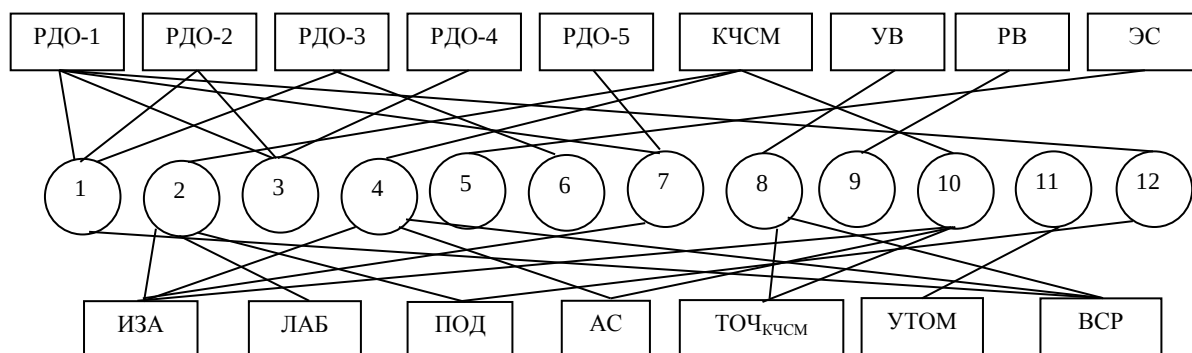


Рис. 3 Схема соответствия ПВК и психофизиологических тестов, пояснения в тексте.

В качестве тестов, характеризующих степень наличия ПВК у испытуемого использовались тесты «РДО-1» - определение времени реакции на движущийся объект (РДО) по способу «с остановом» [11]; «РДО-2» - РДО с приближением объекта [13]; «РДО-3» - РДО по способу «без остановки» [10]; «РДО-4» - определение способности к прогнозированию [12]; «РДО-5» - РДО с ускорением [14]; «КЧСМ» - оценка критической частоты световых мельканий (КЧСМ) [7]; «УВ» - тест оценки устойчивости внимания «Кольца Ландольта» [4]; «РВ» - тест оценки распределения внимания «Перепутанные линии» [2]; «ЭС» - тест оценки эмоциональной стабильности «Личностный опросник Айзенка» [3]; «ИЗА» - тест определения времени зрительного восприятия [5]; «ЛАБ» - тест по оценке лабильности [8]; «ПОД» - тест по оценке подвижности [15]; «АС» - тест оценки способности к зрительному анализу [9]; «ТОЧ_{КЧСМ}» - тест по оценке точности КЧСМ [6]; «УТО» - тест по оценке толерантности к утомлению [1]; «ВСР» - оценка времени сенсомоторной реакции (ВСР) [16].

Проведены экспериментальные исследования оценки профпригодности операторов транспортных средств в группе из 10 человек, в результате которой «отличные результаты» наблюдались у 3 человек, «хорошие» – у 4 человек, «нормальные» – у 2 человек и «плохие» – у 1 человека.

На рис. 4 представлена функция принадлежности выхода экспертной системы оценки профессиональной пригодности одного из тестируемых операторов транспортных средств.

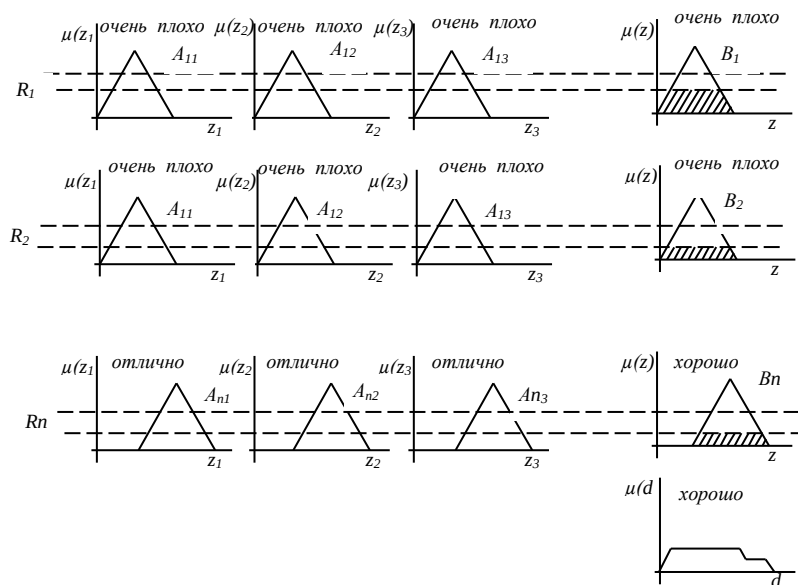


Рис. 4. Функция принадлежности выхода экспертной системы.

Таким образом, установлено, что разработанная система оценки профпригодности может быть использована в практических целях.

Приведенные в статье результаты получены при поддержке ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009 – 2013 годы по проблеме «Методы, модели и алгоритмы когнитивных исследований процессов восприятия, переработки информации, принятия решений и аспектов интерфейсного взаимодействия человека-оператора и информационной системы» (шифр НК-136П; государственный контракт № П1005).

Список литературы:

1. *Petukhov I.V.* Research of inertia of human visual perception // Eurodisplay 2009: 29th [Text] / International Display Research Conference. 14-17 sept. 2009. Rome. Italy. – 2009. – pp. 620-624.
2. *Кирдяшкина Т.А.* Методы исследования внимания. (Практикум по психологии): Учебное пособие. - Челябинск: Изд. ЮУрГУ, 1999 - 72 с.
3. Личностный опросник ЕРІ (методика Г.Айзенка) / Альманах психологических тестов - М.: КСП, 1995. - С.217-224.
4. *Немов Р.С.* Психология: Учеб. для студ. высш. пед. учеб. заведений: В 3 кн. — 4-е изд. — М.: Гуманит. изд. центр ВЛАДОС, 2001. — Кн. 3: Психодиагностика. Введение в научное психологическое исследование с элементами математической статистики. — 640 с.
5. Пат. 2195174 РФ. Способ определения времени инерционности зрительной системы человека / *Роженцов В.В., Петухов И.В.*
6. Пат. 2204932 РФ. Способ оценки точности определения критической частоты световых мельканий / *Роженцов В.В., Лежнина Т.А., Петухов И.В.*
7. Пат. 2207809 РФ. Способ увеличения точности оценки критической частоты слияния световых мельканий / *Исаев А.Г., Петухов И.В., Роженцов В.В.*
8. Пат. 2233115 РФ. Способ определения лабильности зрительной системы человека / *Роженцов О.В., Петухов И.В.*
9. Пат. 2262293 РФ. Способ определения времени инерционности зрительной системы человека / *Петухов И.В., Лежнин А.В., Роженцов В.В.*
10. Пат. 2322187 РФ. Способ оценки соотношения процессов возбуждения и торможения в центральной нервной системе / *Песошин А.В., Петухов И.В., Роженцов В.В.*
11. Пат. 2369326 РФ. Способ оценки времени реакции человека на движущийся объект / *Петухов И.В.*
12. Пат. 2398511 РФ. Способ определения соотношения процессов возбуждения в центральной нервной системе / *Петухов И.В.*
13. Пат. 2400138 РФ. Способ определения времени реакции человека на движущийся по направлению к нему объект / *Петухов И.В., Пуртов А.В., Репин Д.С.*
14. Пат. 2400139 РФ. Способ оценки времени реакции человека на движущийся объект / *Петухов И.В., Репин Д.С., Пуртов А.В.*
15. Пат. 2417750 РФ. Способ оценки подвижности нервных процессов человека / *Петухов И.В.*
16. *Стадниченко Л.И.* Практикум по психофизиологии профессиональной деятельности: Учебно-методическое пособие для вузов. Выпуск 1. - Воронеж: Изд-во ВГУ, 2008. - 16 с.

Д. С. Репецкий к.т.н., Б. С. Юшков к.т.н.

Пермский государственный технический университет,
автодорожный факультет,
кафедра основания, фундаменты и мосты,
Россия, Пермь
repetsky@pstu.ru

РАСЧЕТ ПОДЪЕМА ОДИНОЧНОЙ ДВУКОНУСНОЙ СВАИ В СЕЗОННО ПРОМЕРЗАЮЩИХ ПУЧИНИСТЫХ ГРУНТАХ

Предложен метод расчета наибольших сил морозного пучения и величины подъема одиночной двуконусной сваи в сезонно промерзающем пучинистом грунте. Метод базируется на общем решении осесимметричной упругой задачи для жесткого включения в среде, испытывающей фазовые превращения.

Ключевые слова: морозное пучение, двуконусная свая, касательные силы морозного пучения.

Обширные территории России характеризуются продолжительным зимним периодом и значительной глубиной промерзания грунтов. Освоение Урала и Сибири требует строительства новых гражданских и промышленных объектов, что приводит к использованию в качестве оснований водонасыщенных сезоннопромерзающих глинистых грунтов. При освоении таких районов возникает необходимость решения специальных задач по обеспечению прочности, устойчивости и долговечности зданий и инженерных сооружений, которые возводятся на пучинистых грунтах. Их решение связано с оценкой морозного пучения грунтов и его влиянием на состояние свай и свайных фундаментов.

Как показали экспериментальные исследования [1, 3], величины сил морозного пучения, действующих на ромбовидные или конические сваи, примерно на 25-30% меньше сил, действующих на призматические и цилиндрические сваи. Ниже приводится объяснение указанной связи между силами морозного пучения и геометрией двуконусной сваи, и предлагается способ радикального снижения сил морозного пучения, действующих на двуконусную сваю.

Принимая, что поведение грунта описывается теорией линейно деформируемого полупространства, и не вдаваясь в физическую природу процессов послойного пучения грунта при промерзании, примем во внимание лишь конечный результат – увеличение объема грунта при промерзании. Анализ процесса взаимодействия сваи с пучинистым грунтом сводится при этом к осесимметричной задаче определения усилий, возникающих на поверхности контакта абсолютно жёсткого конусообразного включения с расширяющимся линейно деформируемым слоем грунта толщиной d_f .

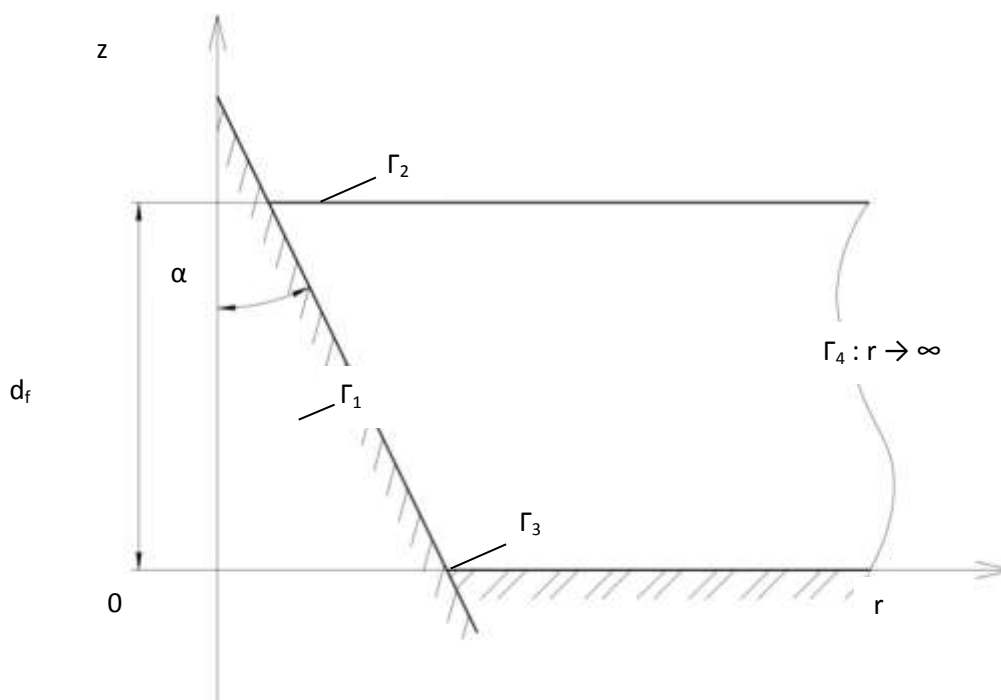


Рис. 1- Расчетная схема: область аппроксимации решения и границы.

На бесконечно удаленной границе Γ_4 равны нулю радиальные перемещения и касательные напряжения ($\lim_{r \rightarrow \infty} U_r = 0$; $\lim_{r \rightarrow \infty} \tau_{rz} = 0$); на нижней границе слоя Γ_3 равны нулю вертикальные перемещения и касательные напряжения ($U_z = 0$; $\tau_{rz} = 0$); поверхность грунта Γ_2 свободна от нагрузок ($\sigma_z = 0$; $\tau_{rz} = 0$); на поверхности контакта неподвижного конуса Γ_1 с грунтом предполагается полное прилипание ($U_r = 0$; $U_z = 0$).

Предположим далее, что при морозном пучении величина подъема слоев грунта линейно возрастает, начиная с глубины промерзания. Это означает, что объемная деформация фазовых превращений $3\varepsilon_0$ есть постоянная величина.

В этом случае перемещения, вызываемые деформациями фазовых превращений ε_0 , совпадают с перемещениями, вызываемыми фиктивными распределенными по поверхности тела нормальными усилиями,

$$p = \frac{E}{(1 - 2\nu)} \varepsilon_0.$$

Полное напряжение, вызываемое неоднородными деформациями фазовых превращений, получается с помощью наложения гидростатического давления p на напряжения, вызываемые вышеуказанными поверхностными силами.

При таком подходе деформация морозного пучения ε_{fn} равна осевой деформации ε_z при растяжении линейно деформированного слоя толщиной $h = d_f$ (глубина промерзания) равномерно распределённой поверхностной нагрузкой p ,

$$\varepsilon_{fn} = \varepsilon_z = \frac{p}{E} \beta = \frac{\varepsilon_0 \beta}{(1 - 2\nu)} = \frac{h_f}{d_f},$$

где $\beta = 1 - \frac{2\nu^2}{1 - \nu}$ – коэффициент бокового расширения грунта; h_f – величина морозного пучения, определяемая по результатам натурных наблюдений или в соответствии с действующими нормативными документами.

Приводимые ниже выражения для перемещений и напряжений соответствуют расчётной схеме, представленной на рис.1, при $\varepsilon_0 = \text{const}$.

$$\begin{aligned}
U_r &= \sum_{i=1}^{\infty} \{b_i [4(1-\nu)K_1(\beta_i r) + K_0(\beta_i r)\beta_i r] + d_i K_1(\beta_i r)\beta_i\} \cos(\beta_i z) + C_4 4(1-\nu) \frac{1}{r}; \\
U_z &= \sum_{i=1}^{\infty} \{b_i K_1(\beta_i r)\beta_i r + d_i K_0(\beta_i r)\beta_i\} \sin(\beta_i z) + C_{01} z; \\
\frac{\sigma_z}{2G} &= \sum_{i=1}^{\infty} \{b_i [K_1(\beta_i r)\beta_i^2 r - K_0(\beta_i r)2\nu\beta_i] + d_i K_0(\beta_i r)\beta_i^2\} \cos(\beta_i z) + C_{01} \frac{1-\nu}{1-2\nu}; \\
\frac{\sigma_r}{2G} &= \sum_{i=1}^{\infty} \{b_i (K_0(\beta_i r)\beta_i(3-2\nu) - K_1(\beta_i r)(\beta_i^2 r + 4(1-\nu)\frac{1}{r})) + d_i (-K_1(\beta_i r)\beta_i \frac{1}{r} - K_0(\beta_i r)\beta_i^2)\} \times \\
&\times \cos(\beta_i z) - C_4 4(1-\nu) \frac{1}{r^2} + C_{01} \frac{\nu}{1-2\nu}; \\
\frac{\sigma_\theta}{2G} &= \sum_{i=1}^{\infty} \{b_i (K_1(\beta_i r)4(1-\nu)\frac{1}{r} + K_0(\beta_i r)(1-2\nu)\beta_i) + d_i K_1(\beta_i r)\beta_i \frac{1}{r}\} \cos(\beta_i z) + \\
&+ C_4 4(1-\nu) \frac{1}{r^2} + C_{01} \frac{\nu}{1-2\nu}; \\
\frac{T_{rz}}{2G} &= \sum_{i=1}^{\infty} \{b_i [-K_0(\beta_i r)\beta_i^2 r - K_1(\beta_i r)\beta_i 2(1-\nu)] - d_i K_1(\beta_i r)\beta_i^2\} \sin(\beta_i z).
\end{aligned}$$

Условия полного прилипания на поверхности Γ_1 приводят к системам уравнений:

$$b_i [4(1-\nu)K_1(\beta_i R) + \beta_i R K_0(\beta_i R)] + d_i K_1(\beta_i R) = 0, \quad b_i [\beta_i R K_1(\beta_i R)] + d_i^* K_1(\beta_i R) = (-1)^{i+1} \frac{2h_f}{\pi i}.$$

Здесь $d_i^* = d_i \beta_i$, что сделано для того, чтоб коэффициенты b_i и d_i^* имели одинаковую размерность.

Действующие на сваю сила морозного пучения F_z^0 и погонная (по периметру) нормальная сила F_n определяются следующим образом:

$$\begin{aligned}
F_z^0 &= -2\pi R \int_0^{d_f} dz = 2\pi R 2G \sum_{i=1,3,5,\dots} \{b_i \beta_i [K_0(\beta_i r)\beta_i r + K_1(\beta_i r)2(1-\nu)] + d_i \beta_i K_1(\beta_i r)\} \frac{2d_f}{\pi i}, \\
F_n &= \int_0^{d_f} \oint_r dz = \int_0^{d_f} \oint_r dz - d_f p = -2G C_{01} d_f = -2G \frac{h_f}{d_f} d_f = -2G h_f.
\end{aligned}$$

Опираясь на данные экспериментальных исследований [3], полагаем, что в процессе подъема сваи действующая на неё выталкивающая сила морозного пучения уменьшается по линейному закону:

$$F_z = F_z^0 \left(1 - \frac{h_c}{h_f}\right),$$

где h_c – подъём сваи; h_f – подъём свободной поверхности грунта.

Подъём сваи прекращается, когда выполняется условие:

$$F_z = N + G + F_n 2\pi R t g \alpha + f_{cp} u (l - d_f),$$

где N – нагрузка на сваю, кН; G – вес сваи, кН; f_{cp} – расчётное сопротивление грунта основания на боковой поверхности сваи, кН/м²; u – средний периметр сваи, м; l – длина сваи, м; α – угол сбега верхнего конуса, рад.

Сравнивая выше указанные выражения, легко найти величину подъема одиночной двуконусной сваи h_c при морозном пучении.

Заметим попутно, что, при сделанном предположении, часть поднимающей сваю силы морозного пучения, приходящаяся на длину сваи, равную 1/3 глубины промерзания и отсчитываемой вверх от уровня промерзания, составляет не более 11% от полной силы.

Отсюда (учитывая также, что пучение грунта происходит на глубину меньшую, чем глубина промерзания [1, 2]) следует, что длину обратного (верхнего) конуса двуконусной сваи конструктивно целесообразно при изготовлении принимать равной 70% от глубины промерзания.

Вычисления показывают, что при варьировании угла сбега до 5° силы морозного пучения уменьшаются не более, чем на 40%.

Для более существенного снижения сил морозного пучения необходимо от условий полного прилипания на грани Γ_1 перейти к условиям скольжения грунта по свае:

$$U_\alpha = 0; \quad \tau_\alpha = \tau_s;$$

где τ_s – предельное значение сцепления грунта с поверхностью сваи; u_α – смещение грунта, нормальное к поверхности сваи.

При этом сила морозного пучения определяется как

$$F_z^0 = 2\pi R_{cp}^2 d_f \tau_s.$$

Практически этого можно добиться, создавая между верхней конической частью сваи и естественным грунтом прослойку из рыхлого непучинистого грунта (например, песка), заполняя им щель, образующуюся при забивке сваи между верхним конусом и грунтом [2].

Исходя из общего решения уравнений Ламе осесимметричной упругой задачи для жесткого включения в среде, испытывающей фазовые превращения, получены в конечном виде формулы для оценки наибольших сил морозного пучения, поднимающих двуконусную сваю, и величины максимального подъема двуконусной сваи.

Разработанный инженерный метод расчета по деформациям пучения в достаточной мере отражает действительный характер работы двуконусной сваи. Его применение дает возможность реально оценить поведение свайных фундаментов в условиях сезонного промерзания. Точность разработанного метода подтверждена удовлетворительной сходимостью результатов теоретических и экспериментальных исследований для глинистых грунтов (16,5-25,0%).

Для обеспечения надежности свайных фундаментов неоттапливаемых малонагруженных зданий и инженерных сооружений рекомендуется двуконусные сваи применять в сезоннопромерзающих пучинистых грунтах.

Список литературы:

1. Кульчицкий Г.Б. Экспериментально-теоретическое развитие методов оптимального проектирования свайных фундаментов с учетом их надежности: автореф. дис. д-ра техн. наук. – Пермь, 1994. – 57 с.
2. Репецкий Д.С. работа двуконусных свай в пучинистых грунтах: автореф. дис. канд. техн. наук. – Тюмень, 2010. – 20 с.
3. Хамидуллин К. А. Исследование работы ромбовидных свай в сильносжимаемых пучинистых грунтах: дис. канд. техн. наук. – М., 1978. – 173 с.

В. П. Славненко, М. И. Филатов д.т.н.

Кумертауский филиал
Оренбургского государственного университета,
Россия, Кумертау
filatovogu@gmail.com, vladimirogu@yandex.ru

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ИЗГОТОВЛЕНИЯ И СБОРКИ ЗВЕНЬЕВ РАЗМЕРНОЙ ЦЕПИ КШМ ДВИГАТЕЛЯ КАМАЗ

В ремонтном производстве постоянно приходится решать вопросы, связанные с оценкой экономической эффективности и качества технологических процессов. В предлагаемой статье рассмотрены некоторые способы оценки качества технологических процессов изготовления и сборки звеньев размерной цепи КШМ двигателя КАМАЗ.

Ключевые слова: технологический процесс, размерная цепь, воспроизводимость, качество.

Анализ причин отказов двигателей КАМАЗ в ГУП «Башавтотранс» за четыре года (2006-2009г.г.) показал, что 6,2% новых дизелей преждевременно поступают в ремонт с пробоинами блока цилиндров, вызванными обрывом шатунных болтов. 18,3% двигателей КАМАЗ, поступивших на повторный ремонт так же имели пробоины блоков, вызванные обрывом шатунных болтов, шатунов, поршней.

Результаты анализа по ГУП «Башавтотранс» в значительной степени соответствуют исследованиям, выполненным автором [1]: 6% и 20% соответственно.

В работах автора [1] выполнен тщательный анализ размерной цепи КШМ двигателя КАМАЗ и сделан аргументированный вывод: причинами указанных выше отказов является перекося поршня в цилиндре и его заклинивание, вызванные нарушением технологического процесса изготовления и сборки звеньев размерной цепи КШМ, т.к. перекося поршня в цилиндре является замыкающим звеном размерной цепи.

В технологический процесс восстановления двигателя КАМАЗ входят два технологических процесса: технологический процесс изготовления звеньев размерной цепи КШМ (восстановление соосности коренных опор, восстановление шеек коленвала и др.) и технологический процесс сборки КШМ [2].

Существует достаточное количество методик, позволяющих оценить качество технологического процесса. Среди них есть показатели, позволяющие оценить воспроизводимость процесса, т. е. способность технологического процесса обеспечивать качество изделия (размера). К этим показателям относятся индексы воспроизводимости и индексы производительности.

Они были впервые внедрены японскими фирмами, а в 1986 году применены фирмой “Ford Motors” во взаимоотношениях с поставщиками комплектующих и оборудования и с тех пор успешно применяются во всем мире.

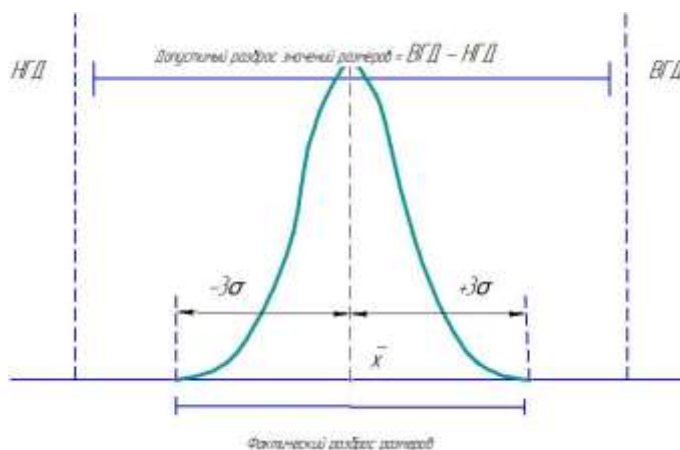
Индексами воспроизводимости технологического процесса являются индексы C_p и C_{pk} . Индекс C_p применяется для оценки потенциала процесса. Именно этим индексом пользуются для оценки оборудования, на котором выполняется технологический процесс, чтобы определить, соответствует ли качество обработки детали требованиям технических условий. При определении этого индекса выясняется, попадает ли фактический разброс значений получаемых размеров в допустимый техническими условиями разброс (поле допуска).

Для применения индексов воспроизводимости необходимо обеспечить управляемость процесса. На практике это означает, что полученные размеры должны в большинстве находиться внутри заданного допуска и не иметь существенных видимых колебаний. В противном случае надо сначала устранить причины выхода параметров за поле допуска и только потом переходить к оценке качества процесса.

Другой предпосылкой для применения рассматриваемых методов контроля качества процессов изготовления и сборки звеньев размерной цепи КШМ двигателя КАМАЗ является распределение оцениваемых размеров (параметров) по нормальному закону. Если результаты распределены по нормальному закону, то фактический разброс значений составит 6σ , где σ – среднеквадратическое (стандартное) отклонение.

Значения параметров процесса должны находиться между нижней границей допуска (НГД) и верхней границей допуска (ВГД) – рисунок 1. Индекс воспроизводимости процесса C_p – это отношение допустимого разброса значений параметра к фактическому разбросу:

$$C_p = \frac{\text{допустимый разброс}}{\text{фактический разброс}} = \frac{ВГД - НГД}{6\sigma}; \quad (1)$$



НГД – нижняя граница допуска;

ВГД – верхняя граница допуска;

$\bar{x}$ - среднее значение размера

Рисунок 1 – Допустимый и фактический разброс значений процесса.

Если фактический разброс равен допуску (6σ), то $C_p = 1$. Не смотря на то, что формально равенство допустимого и фактического разбросов является показателем стабильности процесса, эта цифра является неприемлемой в реальном производстве, поскольку при малейших отклонениях (износ режущего инструмента; температурные деформации системы СПИД и т.п.) она может стать меньше единицы.

Если $C_p < 1$, т.е. фактический разброс больше допустимого, процесс не является воспроизводимым.

Если допустимый разброс больше чем фактический, то все размеры будут соответствовать требованиям ТУ: $C_p > 1$.

Таким образом, значение индекса воспроизводимости C_p для анализируемой операции должно быть больше единицы. Для определения необходимого значения C_p можно воспользоваться свойствами нормального распределения.

При нормальном распределении 99,73% значений случайной величины находятся в диапазоне $\pm 3\sigma$ (рисунок 2). Это означает, что для 0,27% одинаковых операций, выполненных на одном и том же оборудовании, размеры будут выходить за заданное поле допуска. Если

мы принимаем, что фактический разброс размеров равен допустимому разбросу ($C_p = 1$) и равен $\pm 3\sigma$ то три размера из тысячи будут бракованными. Даже, исходя из условий отсутствия в ремонтном производстве крупносерийных и массовых технологических процессов, индекс воспроизводимости $C_p = 1$ не применим, т.к. он дает вероятность получения брака. Следовательно, индекс воспроизводимости технологического процесса в ремонтном производстве должен быть не ниже используемого автопроизводителями.

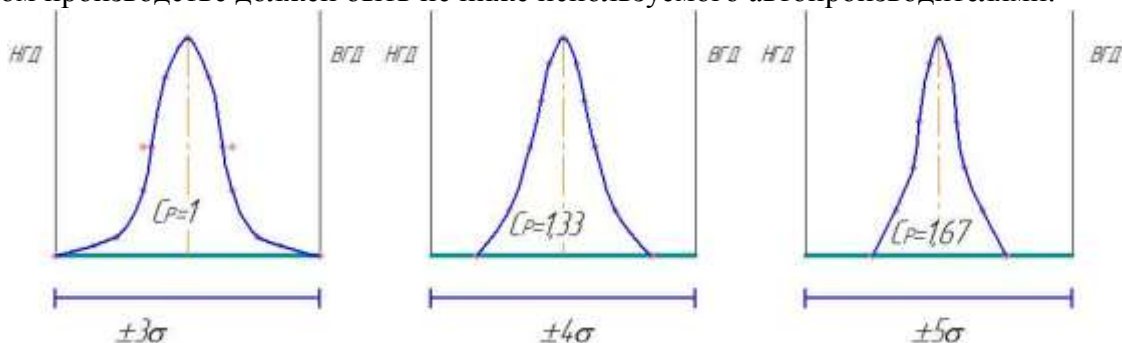


Рисунок 2 – Значения индекса воспроизводимости C_p в зависимости от степени использования поля допуска.

Если допустимый разброс размеров равен $\pm 4\sigma$, то под кривую нормального распределения попадает 99,9937% обработанных размеров. В этом случае индекс $C_p = 1,33$ и бракованными могут быть 0,007% размеров. Индекс $C_p = 1,33$ наиболее часто принимается в качестве нижней допустимой границы при оценке воспроизводимости технологического процесса. Организовав технологический процесс с индексом воспроизводимости $C_p = 1,33$, можно с большой вероятностью утверждать, что при условии управляемости процесса он не опустится ниже единицы, т.е. все размеры будут находиться в поле допуска.

Если допустимый разброс составляет $\pm 5\sigma$, то индекс воспроизводимости такого процесса $C_p = 1,67$. В этом случае процент годных размеров составит 99,9999%, что соответствует 0,5 бракованных размеров на миллион.

Наконец, если допустимый разброс равен $\pm 6\sigma$, то $C_p = 2$. Процент годных деталей составит 99,999999% и брак уложится в 0,00197 размеров на миллион. Очевидно, что такой индекс воспроизводимости гарантирует абсолютное качество технологического процесса.

Для обеспечения индекса воспроизводимости $C_p = 1$ используется 100% поля допуска обрабатываемого размера. Для получения $C_p = 1,33$ необходимо ограничиться 75% поля допуска и для обеспечения $C_p = 2$ надо использовать только 50% поля допуска.

Индекс C_p показывает потенциал процесса, поскольку учитывает только разброс значений. Этот индекс не учитывает положения среднего значения (математического ожидания) размера. На практике это означает, что технологический процесс обеспечивает приемлемый разброс значений, но, поскольку среднее значение может находиться близко к одной из границ поля допуска, вероятность получения брака возрастает. Индекс C_p отражает реальную картину только в том случае, если среднее значение параметров технологического процесса совпадает с серединой поля допуска.

Для оценки работоспособности технологического процесса применяют индекс воспроизводимости C_{pk} . Этот индекс учитывает центрированность получаемых размеров. Индекс C_{pk} будет высоким только в том случае, если разброс значений невелик и среднее значение полученных размеров лежит близко к середине поля допуска. Определяется C_{pk} следующим образом. Рассчитывается среднее значение размера $\bar{x}$. Затем рассчитывается два значения индекса воспроизводимости для значений, находящихся между средним значением и верхней и нижней границами поля допуска: C_{pu} и C_{pl} . В качестве допустимого разброса принимается 3σ .

$$C_{PB} = \frac{\overline{BGD} - \bar{X}}{3\sigma}; \quad (2)$$

$$C_{PH} = \frac{\bar{X} - \overline{HGD}}{3\sigma} \quad (3)$$

Затем из этих двух значений выбирается наименьшее:

$$C_{PK} = \min\{C_{PB}; C_{PH}\} \quad (4)$$

Если уже известно значение C_P , то для расчета C_{PK} можно ввести поправку на центрированность k :

$$k = \text{abs}\left[\frac{X_0 - \bar{X}}{0,5 - (\overline{BGD} - \overline{HGD})}\right], \quad (5)$$

X_0 – номинальное значение размера.

Тогда:

$$C_{PK} = (1-k) \times C_P \quad (6)$$

Индекс C_{PK} не может быть больше C_P , т.к. поправка на нецентрированность k меньше или равна единице. Если процесс центрирован, то $k = 0$ и индексы C_P и C_{PK} равны. При отклонении процесса от номинального значения и при сохранении фактического разброса уменьшается C_{PK} при сохранении C_P . При увеличении фактического разброса значений уменьшается и C_{PK} и C_P .

Индекс C_{PK} часто называют индексом подтвержденного качества технологического процесса (в отличие от индекса C_P , который всегда называется индексом воспроизводимости или пригодности процесса).

Достаточно часто в ремонтной практике используется не середина поля допуска, а некоторое иное номинальное значение в пределах поля допуска. Примером такой ситуации является требование при расточке отверстия держать размер на верхней границе поля допуска для того, чтобы не допустить брак при износе режущей кромки твердосплавной пластины резца (наоборот – при обработке наружного диаметра). Тогда для оценки качества процесса можно применить относительно недавно введенный индекс воспроизводимости C_{PM} . Рассчитывается он аналогично C_{PK} , но в качестве среднего принимается целевое значение, выбранное при реализации технологического процесса.

Для анализа размерной цепи КШМ рассчитаем величину α_Δ замыкающего звена (рисунок 5) технологической размерной цепи. Распределение размеров составляющих звеньев размерной цепи по дизелю КАМАЗ есть.

α_1 : среднее значение распределения $\bar{x} = 0,06$ мм;
 среднеквадратическое отклонение $\sigma = 0,02$ мм
 допуск среднего значения $t_1 = \pm 3\sigma = \pm 0,06$ мм.

Таким образом $\alpha_1 = 0,06 \pm 0,06$ мм.

α_2 : среднее значение распределения $\bar{x} = 0,03$ мм;
 среднеквадратическое отклонение $\sigma = 0,0142$ мм, а с учетом передаточного отношения звеньев $n = 4,5$, $\bar{x} = 0,135$ мм; $\sigma = 0,036$ мм;
 допуск среднего значения $t_1 = \pm 3\sigma = \pm 0,11$ мм.

$\alpha_2 = 0,135 \pm 0,11$ мм.

α_3 : в схеме размерной цепи КШМ подбор зазоров между втулкой верхней головки шатуна и поршневым пальцем, между пальцем и бобышками осуществляется селективно, их допустимые отклонения не превышают 0,002-0,0025 мм. Ввиду незначительности, данное звено можно не учитывать.

α_4 : среднее значение $\bar{x} = 0,05$ мм;

среднеквадратическое отклонение $\sigma = 0,016$ мм; с учетом $n=4,5$ получаем: $\bar{x} = 0,225$ мм, $\sigma = 0,045$ мм, допуск среднего значения $t_4 = \pm 3 \sigma = \pm 0,135$ мм.

$\alpha_4 = 0,225 \pm 3\sigma = 0,225 \pm 0,135$ мм.

Звено α_5 – зазор между шатунной шейкой и вкладышем регламентирован в пределах 0,07-0,17 мм. Столь большая величина особого влияния на замыкающее звено размерной цепи не оказывает. Поэтому из рассмотрения данное звено можно исключить.

α_6 : распределение неперпендикулярности оси отверстий в бобышках к образующей поршня дано на рисунке 3. Выравнивание эмпирической кривой по нормальному закону $\rho(\chi^2) = 0,3$ дает следующие результаты:

среднее значение $\bar{x} = 0,108$ мм;

среднеквадратическое отклонение $\sigma = 0,0216$ мм;

допуск среднего значения $t_5 = \pm 3\sigma = \pm 0,065$ мм.

$\alpha_6 = 0,108 \pm 0,065$ мм.

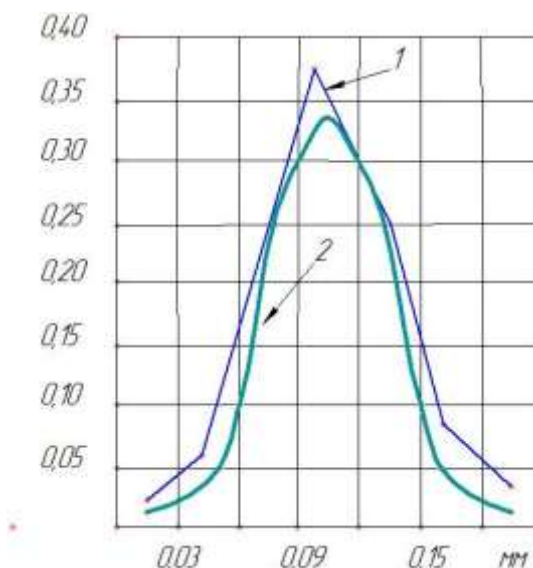


Рисунок 3 – Эмпирическая (1) и теоретическая (2) плотности распределения звена α_6 .

Звено α_7 «шатунная шейка – шатуны» определено расчетом отдельной размерной цепи. Его величина: $0,13 \pm 0,185$ мм.

α_8 – зазор между поршнем и цилиндром. Распределение диаметра днища поршня d_{Π} в плоскости поршневого пальца показано на рисунке 4. Из него следует: $\bar{x} = 119,52$ мм; $\sigma = 0,04$ мм; $t_8 = \pm 0,12$ мм; Диаметральный зазор между поршнем и цилиндром: $120 - 119,52 = 0,48$ мм. Принимаем $\alpha_8 = 0,24 \pm 0,06$ мм. Отклонение диаметра цилиндра $\varnothing 120^{+0,03}$ мм не учитываем, поскольку оно по сравнению с диаметром днища поршня незначительно.

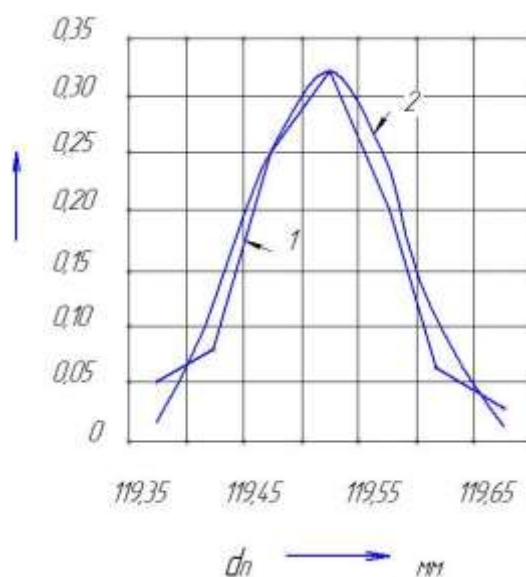
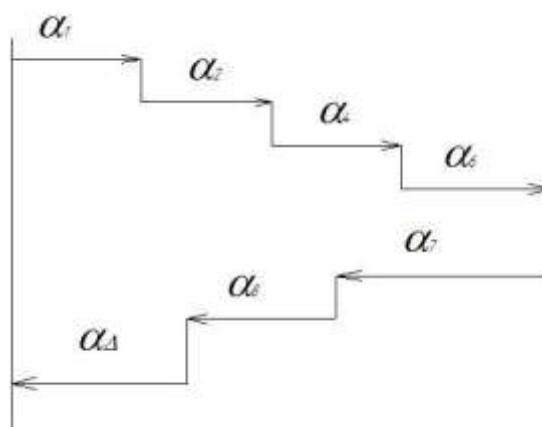


Рисунок 4 – Эмпирическая 1 и теоретическая 2 плотности распределения диаметра поршня d_{Π} .

Расчет замыкающего звена размерной цепи КШМ проводим методом полной взаимозаменяемости [5] (рисунок 5).



- α_1 – неперпендикулярность оси цилиндра к оси коленчатого вала;
- α_2 – непараллельность осей шатунных шеек оси коленчатого вала;
- α_3 – зазор между поршневым пальцем и втулкой верхней головки шатуна;
- α_4 – непараллельность осей верхней и нижней головок шатуна;
- α_5 – зазор в сопряжении «шатунная шейка-вкладыш»;
- α_6 – неперпендикулярность оси отверстий в бобышках к образующей поршня;
- α_7 – зазор между торцами шатунной шейки и шатунами;
- α_8 – зазор между поршнем и цилиндром;
- α_{Δ} – замыкающее звено – перекос поршня в цилиндре.

Рисунок 5 – Размерная цепь КШМ.

$$\alpha_{\Delta}^{HOM} = \alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_4 + \alpha_6 - \alpha_7 - \alpha_8 = 0,06 + 0,135 + 0,225 + 0,108 - 0,24 - 0,13 = 0,158 \text{ мм};$$

$$\alpha_{\Delta}^{\max} = (\alpha_1 + t_1) + (\alpha_2 + t_2) + (\alpha_4 + t_4) + (\alpha_6 + t_6) - (\alpha_7 - t_7) - (\alpha_8 - t_8) = \\ (0,06+0,06)+(0,135+0,11)+(0,225+0,135)+(0,108+0,065)-(0,13-0,185)-(0,24-0,06)=0,773 \text{ мм};$$

$$\alpha_{\Delta}^{\min} = (\alpha_1 - t_1) + (\alpha_2 - t_2) + (\alpha_4 - t_4) + (\alpha_6 - t_6) - (\alpha_7 + t_7) - (\alpha_8 + t_8) = (0,06-0,06)+(0,135-0,11)+(0,225-0,135)+(0,108-0,065)-(0,13+0,185)-(0,24+0,06) = -0,458 \text{ мм};$$

Допуск замыкающего звена:

$$\Delta\alpha_{\Delta} = T_{\alpha_{\Delta}} = \alpha_{\Delta}^{\max} - \alpha_{\Delta}^{\min} = 0,773 - (-0,458) = 1,231 \text{ мм} = \pm 0,615 \text{ мм}.$$

Отсюда:

$$\alpha_{\Delta} = \alpha_{\Delta}^{\text{ном}} \pm \Delta\alpha_{\Delta} = 0,158 \pm 0,615 \text{ мм}$$

Отклонения замыкающего звена размерной цепи могут в 7,8 раза превышать номинальные значения. Следовательно, можно заключить, что условия надежной сборки КШМ будут выполнены при $\alpha_{\Delta} \leq 0,5\alpha_8$. При восстановлении и сборке звеньев размерной цепи КШМ необходимо использовать половину полей допусков, указанных в технических условиях, т.е. обеспечить коэффициенты воспроизводимости технологических процессов не менее 1,67.

Список литературы:

1. Агузаров В.О. Размерная цепь КШМ дизелей КамАЗ с учетом релаксации остаточных напряжений в её звеньях // Автомобильная промышленность, -2006 - №6
2. Бурумкулов Ф.Х., Лялякин В.П., Иванов В.И. Определение полного ресурса блоков цилиндров автотракторных двигателей // Техника в сельском хозяйстве – 2005. - №4.
3. Саннинский В.А., Синьков А.В., Сторчак Н.А. Механическая обработка коренных опор картеров, форма их торцевых зазоров и параметры масляного слоя // Автомобильная промышленность - 2005г. - №2
4. Справочник технолога авторемонтного производства / Под ред. Г.А. Малышева; -М.: Транспорт, 1977. – 431с.
5. Апсин, В.П. Сборочные процессы в ремонтном производстве / В.П. Апсин, Е.В. Бондаренко, А.П. Пославский, Е.Г. Кеян и др. –Оренбург: ОГУ, 2011. – 152с.

Э. Л. Хазиев

Камская государственная инженерно-экономическая академия,
факультет Автоматизации и прогрессивных технологий,
кафедра Прикладной информатики и управления,
Россия, Набережные Челны
emilius@yandex.ru

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПНЕВМАТИЧЕСКОГО МАНИПУЛЯТОРА ПРОМЫШЛЕННОГО РОБОТА

Рассмотрена математическая модель системы управления пневматическим манипулятором. Система управления включает крановый распределитель с управлением от электрического шагового двигателя.

Ключевые слова: система управления, крановый распределитель, шаговый двигатель, пневматический манипулятор.

Математическая модель пневматического манипулятора промышленного робота основана на уравнениях, определяющих массовый расход сжатого газа через управляемые крановые пневмораспределители (КПР), на уравнениях неразрывности потока, уравнениях состояния рабочего газа и уравнениях движения отдельных механических звеньев.

Для обеспечения приемлемых расходов газа и высоких динамических характеристик пневмопривода используются крановый пневмораспределитель с управлением от электрического шагового двигателя.

Математическая модель электрического реактивного шагового двигателя (рис. 1) описывается следующими выражениями.

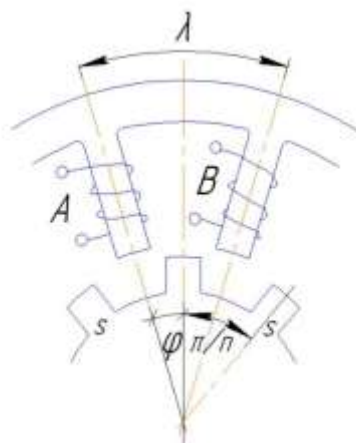


Рис 1. (5,5 x 5,5)

Рис. 1- Модель электрического реактивного ШД.

Индуктивность и взаимные индуктивности обмоток двух фаз:

$$(1) \quad L_A = L_0 + L \cdot \cos 2n\varphi;$$

$$(2) \quad L_B = L_0 + L \cdot \cos 2n(\varphi - \lambda);$$

$$(3) \quad M_{AB} = -M_0 + M \cos 2n\left(\varphi - \frac{\lambda}{2}\right);$$

где L_A - собственная индуктивность фазы А; L_B - собственная индуктивность фазы В; L - индуктивность ротора; L_0 - начальная индуктивность ротора; n - число пар полюсов шагового двигателя; λ - угол между обмотками статора; φ - угловое положение ротора; M - взаимная индуктивность;

Момент создаваемый i_A и i_B : (4)

$$\tau = \frac{1}{2} i_A^2 \cdot \frac{dL_A}{d\varphi} + \frac{1}{2} i_B^2 \cdot \frac{dL_B}{d\varphi} + i_A i_B \frac{dM_{AB}}{d\varphi} =$$

$$= \left[i_A^2 n L \sin 2n\varphi + i_B^2 n L \sin 2n(\varphi - \lambda) + 2i_A i_B n M \sin 2n\left(\varphi - \frac{\lambda}{2}\right) \right]$$

где n - число пар полюсов шагового двигателя; i_A - ток в обмотке А; i_B - ток в обмотке В;

Тогда возможно записать уравнение движения:

(5)

$$J \frac{d^2 \varphi}{dt^2} + D \frac{d\varphi}{dt} + i_A^2 n L \sin 2n\varphi + i_B^2 n L \sin 2n(\varphi - \lambda) + 2i_A i_B n M \sin 2n\left(\varphi - \frac{\lambda}{2}\right) = 0;$$

здесь J - момент инерции ротора; D - коэффициент вязкого трения, который учитывает наличие воздуха и трения.

Уравнения для напряжения в обеих обмотках:

$$(6) \quad U - r i_A - \frac{d}{dt}(L_A i_A) - \frac{d}{dt}(M_{AB} i_B) = 0;$$

$$(7) \quad U - r i_B - \frac{d}{dt}(L_B i_B) - \frac{d}{dt}(M_{AB} i_A) = 0;$$

где U - напряжение источника питания; L - собственная индуктивность каждой фазы; M - взаимная индуктивность; r - сопротивление цепи обмотки статора.

При этом приняты допущения, что L и M не зависят от φ . Уравнения (5) - (7) являются нелинейными дифференциальными уравнениями. Так как нелинейные дифференциальные уравнения крайне сложно решить аналитически, мы начнем с их линеаризации.

В линеаризованной форме уравнения (5) - (7) примут вид:

(8)

$$J \frac{d^2(\delta\varphi)}{dt^2} + D \frac{d(\delta\varphi)}{dt} + 4n^2 i_0^2 (M + L \cos n\lambda)(\delta\varphi) + 2n I_0 L \sin 2n\lambda(\delta i_A - \delta i_B) = 0;$$

(9)

$$r(\delta i_A) + (L_0 + L \cos n\lambda) \frac{d}{dt}(\delta i_A) + (M - M_0) \frac{d}{dt}(\delta i_B) - 2n I_0 L \sin n\lambda \frac{d}{dt}(\delta\varphi) = 0;$$

(10)

$$r(\delta i_B) + (L_0 + L \cos n\lambda) \frac{d}{dt}(\delta i_B) + (M - M_0) \frac{d}{dt}(\delta i_A) - 2n I_0 L \sin n\lambda \frac{d}{dt}(\delta\varphi) = 0;$$

Определим, какая функция выражает положение ротора $\delta\varphi(t)$ после начала движения от положения равновесия при угле φ_i . Интересно также определить, как изменяются со временем значения i_A и i_B . Для получения ответов на эти вопросы мы должны решить уравнения при начальных условиях $\delta\varphi = \varphi_i$ и $d(\delta\varphi)/dt = 0$ при $r = 0$. Для этого используем преобразование Лапласа, обозначая $d/dt = s$ и $d^2/dt^2 = s^2$. Преобразования Лапласа от функций обозначаются большими буквами: $\delta\varphi(t) \rightarrow \Phi(s)$; $\delta i_A(t) \rightarrow I_A(s)$; $\delta i_B(t) \rightarrow I_B(s)$.

решение (8)-(10) имеет вид:

$$(11) \quad I_A = -I_B = \frac{2nI_0L \sin(n\lambda)(s\Phi - \varphi_i)}{(r + L_0s)};$$

(12)

$$\Phi(s) = \frac{\left[s^2 + \left(\frac{r}{L_v} + \frac{D}{J} \right) s + \frac{r}{L_v} \cdot \frac{D}{J} + k_p \cdot \omega_{nv}^2 \right] \cdot \varphi_i}{s^3 + \left(\frac{r}{L_v} + \frac{D}{J} \right) s^2 + \left(\frac{r}{L_v} + \frac{D}{J} + \omega_{nv}^2 (1 + k_v) \right) s + \left(\frac{r}{L_v} \right) \omega^2};$$

где

$$(13) \quad L_v = L_0 + L \cos n\lambda - M + M_0;$$

$$(14) \quad k_v = \frac{2L^2 \sin^2 n\lambda}{L_v (M + L \cos n\lambda)};$$

$$(15) \quad \omega^2 = \frac{4n^2 I_0^2 (M + L \cos n\lambda)}{J}.$$

При разработке математической модели кранового пневматического распределителя (КПР) рассматривается установившийся режим, при условии неразрывности потока:

$$(16) \quad G_1 = G_2;$$

В пневматическом манипуляторе внешняя работа совершается за счет изменения параметров состояния сжатого воздуха, находящегося в рабочей камере. Так же, как и в случае поршневого двигателя, в работе пневмоцилиндра можно выделить следующие этапы: наполнение, расширение, выталкивание воздуха из рабочей камеры.

Для описания процесса сжатия (расширения) получено выражение из первого закона термодинамики с учетом постоянства энтальпии и уравнения Клапейрона:

$$(17) \quad kRTdm = VdP + kPdV,$$

где k – показатель адиабаты; R – универсальная газовая постоянная; T – температура в магистрали; V – объем камеры; p – давление в камере.

Некоторая часть работы силы трения переходит в теплоту, передаваемую сжатому воздуху, и учитывать теплообмен с окружающей средой, то уравнение (17) можно переписать в следующем виде:

$$(18) \quad kRTdm + dQ_{mp} - dQ = VdP + kPdV;$$

в этом уравнении заменим массу сжатого воздуха dm , поступающего в полость V при угле поворота шагового двигателя $d\varphi$, соответствующим значением расхода G

$$(19) \quad dm = Gd\varphi;$$

тогда

$$(20) \quad kRTGd\varphi + dQ_{mp} - dQ = VdP + kPdV;$$

В математической модели КПР в уравнении (20) не учитываются слагаемые, связанные с утечками воздуха, с трением и слагаемое, определяющее расширение газа за счет изменения объема камеры. Тогда уравнение (20) для определения давления можно переписать в виде

$$(21) \quad \frac{dP}{d\varphi} = (kRT_1 G_1 - kRT_2 G_2) \frac{1}{V};$$

При истечении сжимаемого газа под действием заданного перепада давлений, расход газа через крановый пневмораспределитель составит

$$(22) \quad G = \mu \cdot f \cdot \psi \cdot P \cdot \sqrt{\frac{2k}{(k-1)RT}},$$

где μ – коэффициент расхода, f – площадь проходного сечения, p – давление газа. Функция ψ зависит от режима истечения. Критерием, позволяющим судить о режиме истечения, является критическое отношение давлений

$$(23) \quad \chi = \left(\frac{2}{k+1} \right)^{k/(k-1)},$$

где k – показатель адиабаты.

если $p_1/p_0 < \chi$, то режим истечения газа из цилиндра будет критическим, и функция

$$(24) \quad \psi = \sqrt{2 \frac{k}{k+1} \left(\frac{2}{k+1} \right)^{2/(k-1)}};$$

если $p_1/p_0 > \chi$, то режим истечения газа из цилиндра будет подкритическим, и функция

$$(25) \quad \psi = \sqrt{2 \frac{k}{k-1} \left[\left(\frac{p_1}{p_0} \right)^{2/k} - \left(\frac{p_1}{p_0} \right)^{(k+1)/k} \right]};$$

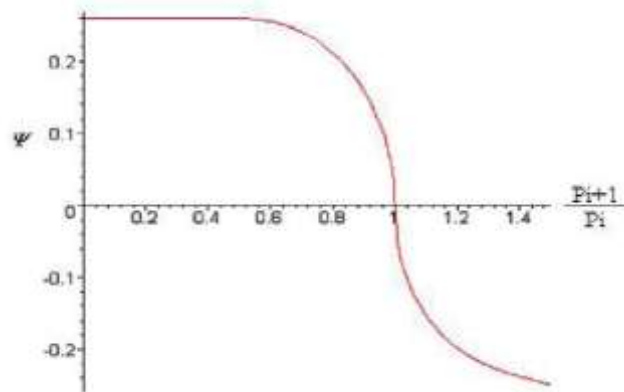


Рис.2 (8,5 x 5,5)

Рис. 2- Зависимость безразмерной величины ψ от перепада давления.

Уравнение движения пневмодвигателя (пневмоцилиндра)

$$(26) \quad m_{np} \frac{dV}{dt} = p_{nop} \cdot S_{nop} - p_{uit} \cdot S_{uit} - F_{вн.н} - \lambda \cdot V - F_{тр} \cdot \text{sign}(V),$$

где S_{nop} , S_{uit} – соответственно эффективная площадь поршневой и штоковой полостей пневмоцилиндра; p_{nop} , p_{uit} – давление воздуха соответственно в поршневой и штоковой полости пневмоцилиндра; V – скорость движения перемещаемой массы газа; λ – коэффициент вязкостного трения; $F_{тр}$ – суммарная сила трения в подвижных соединениях; $F_{вн.н}$ – внешняя нагрузка; m_{np} – приведенная масса подвижных частей привода.

Параметр «время – сечение» кранового пневмораспределителя (S) определим

$$(27) \quad dS = f(\varphi) \cdot \frac{d\varphi}{dt} \cdot dt = f(\varphi) \cdot d\varphi,$$

где $f(\varphi)$ – площадь открытия окна со стороны впускного канала по углу поворота золотника, $\varphi(t)$ – угол поворота золотника по времени.

Среднее значение параметра «время – сечение» ($S_{cp.}$) за весь промежуток времени работы кранового пневмораспределителя в течение рабочего цикла:

$$(28) \quad S_{cp.} = \frac{\int_{t_1}^{t_2} dS}{t_2 - t_1} = \frac{\int_{\varphi_1}^{\varphi_2} f(\varphi) d\varphi}{t_2 - t_1}.$$

Основное уравнение динамики вращательного движения твердого тела:

$$(29) \quad M_{ин} \cdot \beta = M,$$

где $M_{ин} = \int r^2 dm$ – момент инерции вращающегося тела; $\beta = \frac{d\omega}{dt} = \frac{d^2\varphi}{dt^2}$ –

проекция угловой скорости; M – алгебраическая сумма моментов внешних сил. Тогда из (29) найдем уравнение закона вращения кранового пневматического распределителя

$$(30) \quad \frac{d^2\varphi}{dt^2} \int r^2 dm = F_{давл} + F_{тр} + F_{реакц},$$

где $F_{давл} = \left[\int_{\varphi_1}^{\varphi_2} \frac{\pi \cdot r_f^2}{360} d\varphi - \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} f d\varphi \right] \cdot p$ – радиальная сила давления;

$F_{тр} = \zeta \cdot F_{давл} \cdot S_{нов}$ – сила трения; $F_{реакц} = mg$ – сила реакции опоры; ζ – коэффициент трения качения; $S_{нов}$ – площадь поверхности золотника пневмораспределителя; r_f – радиус впускного канала; m – масса подвижных частей пневмораспределителя.

Список литературы:

1. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники: Электрические цепи. Учебник для студентов электротехнических, энергетических и приборостроительных специальностей вузов. М.: Высшая школа, 1978
2. Ерофеев А.А. Теория автоматического управления: Учебник для вузов. СПб.: Политехника, 2001.
3. Ридико Л. Раз шажок, два шажок... // Схемотехника, № 6, 7, 2001.
4. Солоха А.А. Уточненная математическая модель шагового двигателя. // Математические методы в технике и технологиях: материалы XVII междунар. научн. конф. – Казань. – 2005. – Т.5.

П. В. Хапов

Марийский государственный технический университет,
Механико-машиностроительный факультет,
кафедра машиностроения и материаловедения,
Россия, Йошкар-Ола
apostle_pavel@mail.ru

**УСТАНОВКА ГОРЯЧЕГО ПРЕССОВАНИЯ ПОРОШКОВ НА ОСНОВЕ
ЖЕЛЕЗА В ТЕМПЕРАТУРНОМ ИНТЕРВАЛЕ α -ФАЗЫ**

В статье рассматривается установка для получения методами порошковой металлургии принципиально новых изделий с определенным набором физико-механических свойств. Приведены результаты экспериментов на спроектированной установке горячего прессования ультрадисперсных порошковых материалов. Рассмотрено изготовление плотных беспористых материалов за счет состояния сверхтекучести порошков.

Ключевые слова: ультрадисперсные материалы, горячее прессование, текучесть.

Изменение фундаментальных свойств традиционных материалов в нано-дисперсном состоянии, при котором понижается температура начала плавления, теплота испарения, энергия ионизации, работа выхода электронов и др., открывает широчайшие возможности в области создания уникальных материалов и технологий, принципиально новых приборов и устройств. Стоит отметить, что ультрадисперсные материалы следует классифицировать не только по геометрическому размеру зерен (меньше 100 нм), но и по их соизмеримости с характерными физическими величинами для твердого вещества (длина свободного пробега электронов, длина волны фононов, магнитными или электрический домен, дислокация или дисклинация, и др.).

Разрабатываемые в последние годы новые технологии получения композиционных порошковых материалов предопределяют необходимость изучения процессов их обработки давлением, а также исследования свойств этих материалов в состоянии после компактирования и формообразования. В связи с этим большую актуальность приобретают исследования по определению закономерностей изменения энергосиловых параметров обработки их давлением в зависимости от технологических схем и режимов обработки, составов и свойств композиционных материалов.

При изучении механизма и кинетики процессов, происходящих в спекающемся высокодисперсном пористом теле, необходимо иметь ввиду особенности фазового равновесия, поскольку «фаза вещества» и «фаза пустоты» имеют такие размеры, когда эффекты, обусловленные искривленностью границы между сосуществующими фазами, могут оказаться значительными [4].

Изменение плотности при прессовании и спекании обусловлено многими процессами, различными по своей природе: взаимным скольжением элементов структуры относительно друг друга, пластической деформацией, вязким течением, диффузионными явлениями.

Для определения силовых и температурных режимов уплотнения высокодисперсных порошковых материалов в интервале существования α -фазы разработана конструкция установки горячего прессования. После проведения ряда экспериментов, установка показала возможность изготовления деталей с относительной плотностью до 93 % путём горячего прессования в интервале существования α -фазы высокодисперсного губчатого железа. Пресс-форма с нагревательным элементом и системой охлаждения показана на рис. 1. Для

обеспечения контроля температуры во время прессования в собранном устройстве предусмотрено специальное отверстие, в котором размещается термopapa. В установке реализована система охлаждения, позволяющая сократить время остывания детали в пресс-форме и обеспечить требуемый температурный режим, рис. 2.

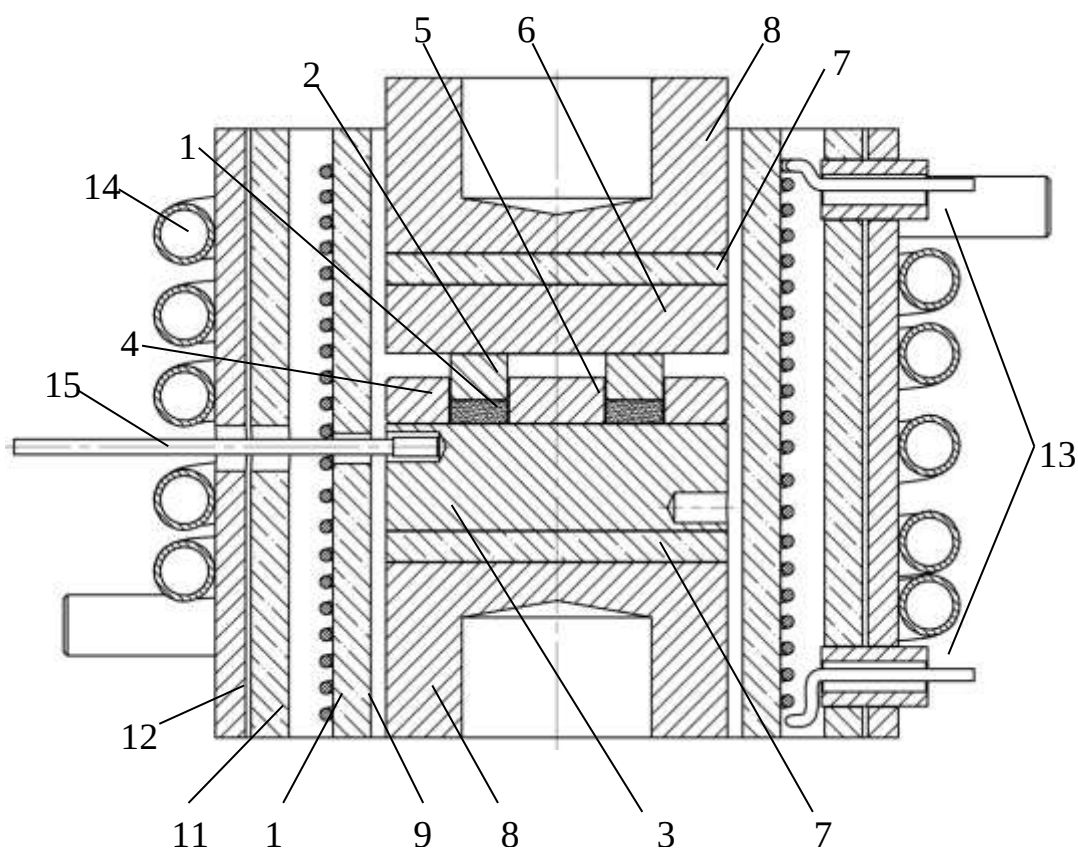


Рис. 1– Схема установки горячего прессования.

Для прессования детали 1 её помещают в пресс-форму между верхним пуансоном 2 и нижним пуансоном 3, ограничивая снаружи матрицей 4, а изнутри стержнем 5, накрывая надставкой 6, помещая сверху и снизу огнеупорные прокладки 7, и проставки 8, располагая снаружи керамический цилиндр 9, наматывая на него нихромовую проволоку 10, защищая огнеупорным материалом 11, корпус 12, в котором располагают керамические диэлектрики 13 для вывода контактов нагревателя, ограничивая снаружи охладителем 14, и вводя через специальное технологическое отверстие в зону прессования термopapу 15. Затем собранную пресс-форму помещают между плит пресса в нагревательный элемент, при этом проставки 5 располагают непосредственно на нижней и верхней плитах пресса. При необходимости обеспечения инертной среды вокруг прессуемой детали, собранное устройство помещают в дополнительный защитный кожух, внутрь которого подводят инертный газ.

Результат, получаемый с использованием устройства, следующий:

- оптимизация работы устройства
- возможность охлаждения установки
- простота и надежность работы
- простота обеспечения инертной среды.

Результат достигается тем, что:

- в конструкции установки предусмотрены технологические отверстия для расположения термopapы, дающей возможность измерения температуры в зоне прессования на протяжении всего технологического цикла, причем в нижнем пуансоне выполнены симметричные технологические отверстия таким образом, что при повреждении верхней

рабочей поверхности пуансон не требует замены, а может быть переориентирован противоположным торцом по отношению к прессуемой детали.

- устройство снабжено системой отвода тепла
- конструкция пресс-формы легко разбирается и собирается
- инертная среда обеспечивается за счет помещения всей установки внутри защитного кожуха и не требует герметизации нагретых узлов.

Устройство отличается простотой и надежностью конструкции.

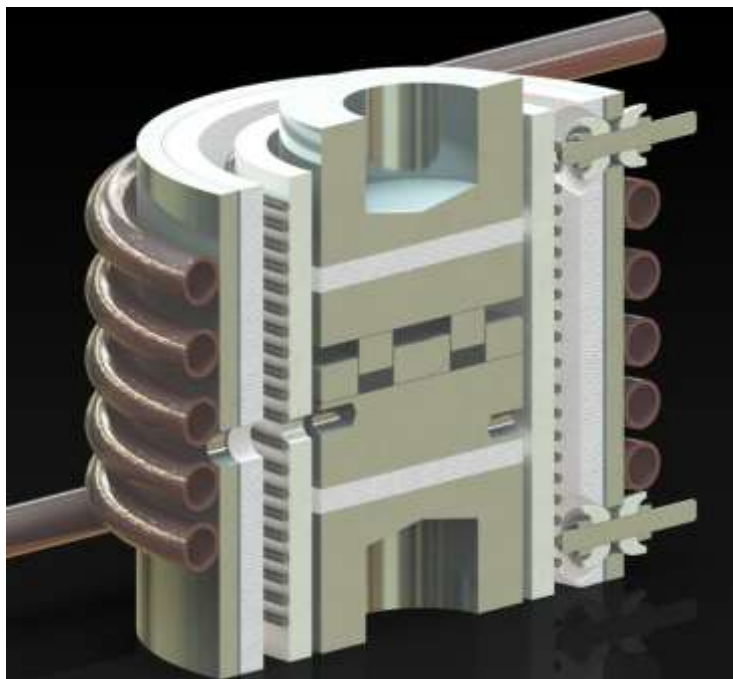


Рис. 2– Общий вид в разрезе пресс-формы с нагревательным и охлаждающим элементом.

Если процессы горячего уплотнения порошковых материалов на основе железа хорошо изучены при горячем прессовании (в т.ч. динамическом) при температурах существования γ -фазы [2], то для температурного интервала существования α -фазы такие исследования не проводились. Этот температурный интервал представляет интерес в связи с тем, что диффузионная подвижность атомов в данном случае почти на порядок выше, чем в γ -фазе [3].

Эксперименты проводились на заготовках из высокодисперсного губчатого железа, полученного согласно [1] в виде шайб с размерами наружного диаметра – 28 мм, диаметром отверстия – 13 мм и толщиной – 4 мм. В ходе исследования изучалось влияние температуры и прилагаемого давления на плотность и твердость материала.

Спроектированное устройство позволяет реализовывать нагрев прессуемого образца до 1000 °С, при этом, прилагаемое давление зависит от характеристик пресса. При выполнении экспериментальной части исследовательской работы основной задачей являлось определение влияния температуры и давления прессования на плотность и твердость прессовок. Для отработки технологии были выбраны режимы с температурой в интервале 600-800 °С и прилагаемым давлением в интервале 100-400 МПа. При этом, в отдельности для каждого из режимов проверялось влияние содержания углерода в образцах на свойства готовых изделий.

В результате проведения прессования деталей на изготовленной установке получена плотность изделий до 7.15 г/см³, что для порошковых деталей считается высоким показателем. При этом твердость деталей доходит до 138 HBS.

Наивысшее значение твердости достигнуто при температуре 600 °С и давлении прессования 400 МПа и составляет 138 HBS. Максимальная относительная плотность получена при тех же условиях.

Список литературы:

1. *Довыденков В.А.* Патент РФ 2345152 Способ получения губчатого железа для изготовления тонкого порошка Заявл. 07 мая 2007 г. Оpubл. 27 января 2009 г.
2. *Дорофеев Ю.Г., Гасанов Б.Г., Дорофеев В.Ю., Мищенко В.Н., Мирошников В.И.* Промышленная технология горячего прессования порошковых изделий. М., "Металлургия", 1990, 206с.
3. *Федорченко И.М., Францевич И.Н., Радомысльский И.Д.* Порошковая металлургия. Материалы, технология, свойства, области применения. Киев: Наук. думка. 1985. 624с.
4. *Хапов П.В., Алибеков С.Я.* Установка для спекания порошковых материалов под давлением. Сборник. Второй международный научно-практический семинар. Новые материалы и изделия из металлических порошков. Технология. Производство. Применение. Йошкар-Ола, 2008. с. 132.

И. Е. Шустов

Московский государственный университет леса
Россия, Мытищи-5,
caf-sau@mgul.ac.ru

ОЦЕНКА ДИНАМИЧЕСКОЙ ТОЧНОСТИ ПРЕЦИЗИОННОГО ГИРОСКОПИЧЕСКОГО ИЗМЕРИТЕЛЯ ВЕКТОРА УГЛОВОЙ СКОРОСТИ

В статье рассматриваются вопросы, связанные с анализом динамической ошибки прецизионного гироскопического измерителя вектора угловой скорости (ГИВУС) для космических аппаратов с помощью математической модели измерительного канала прибора. Также в статье представлены результаты сравнительного анализа теоретических характеристик ГИВУС с экспериментальными, полученными на макете измерительного канала.

Ключевые слова: гироскопический измеритель, поплавковый гироскоп, двухотсчетная измерительная система, динамическая ошибка.

В связи с разработкой современных КА, таких как космический телескоп «Спектр-УФ», создание гироскопического измерителя вектора угловой скорости (ГИВУС), способного измерять угловую скорость космического аппарата (КА) с дискретностью менее 0.005° , диапазоном измерения до $2^\circ/\text{с}$ и со стабильностью собственного ухода порядка $0.001^\circ/\text{ч}$, в современной российской практической космонавтике является достаточно актуальной задачей [1].

На данный момент подобные высокие характеристики, наряду с высоким сроком эксплуатации, может обеспечить только прибор на базе поплавкового датчика угловой скорости с магнитным центрированием поплавка и газодинамической опорой ротора.

Достижение подобных характеристик стало возможно благодаря применению при разработке измерительного канала (ИК) нового ГИВУС двухконтурной системы обратной связи, работающей по принципу двухотсчетной измерительной системы. Этот принцип основан на том, что старший контур измеряет угловую скорость на всем диапазоне, но с достаточно большим дискретом, а младший контур дополняет измерения старшего, измеряя угловую скорость внутри одной ступени старшего контура со своим малым дискретом. Результат измерения ИК складывается из результатов измерения старшего и младшего контуров [3, 4].

Характеристики нового прибора, по сравнению с характеристиками прибора-прототипа, указаны в таблице [2, 3].

Таблица - Сравнение характеристик прототипа и нового ГИВУС

Характеристики	Прототип (КИНД34-020)	Новый ГИВУС (КИНД34-064)
1. Диапазон измерения, °/с	0.5	2.0
2. Цена дискрета младшего разряда, "	0.036	0.004
3. Стабильность нулевого сигнала ИК (σ), °/ч	0.003	0.0007
4. Шум (σ), "	± 0.15	± 0.03
5. Масса, кг	13	10
6. Срок активного существования, лет	10	15

С целью лабораторной отработки ИК нового ГИВУС на предмет вопросов взаимодействия контуров и основных заявленных характеристик, была спроектирована одноканальная лабораторная модель прибора (далее МИК). МИК был построен с использованием электронных устройств, сделанных по штатным схемам, но в макетном исполнении, и чувствительного элемента, используемого в прототипе ГИВУС.

В процессе лабораторных испытаний МИК были исследованы и подтверждены следующие характеристики ИК:

- частота среза ИК $f_{cp} = 1.9$ Гц;
- время переходного процесса системы после единичного ступенчатого воздействия (постоянная времени системы) $\tau_{пп} = 0.8$ с;
- цена дискрета младшего разряда младшего контура $\beta = 0.0033$ ";
- цена дискрета младшего разряда старшего контура $B = 0.65$ ";
- диапазон измеряемой угловой скорости $D_{\omega} = 0.73$ °/с;
- стабильность нулевого сигнала ИК в непрерывном запуске по среднеквадратичному отклонению σ , $\delta\omega_{\tau}^{мл} = 0.0007$ °/ч;
- величина шумовой составляющей информации ИК по среднеквадратичному отклонению σ от среднего значения в запуске на интервалах осреднения 0.1 с, 1 с и 10 с, не более 0.03 ".

Таким образом, полученные характеристики МИК подтверждают требования, предъявляемые к новому прибору. Отступление, связанное с диапазоном измерения, объясняется применением в МИК нештатного гироблока, коэффициент старшей обмотки датчика момента которого примерно в 2.8 раз меньше, чем соответствующая обмотка штатного гироблока, следовательно, использование штатного гироблока позволило бы получить требуемое значение диапазона.

Одной из основных особенностей, связанных с взаимодействием контуров двухотсчетной системы измерения, является процесс переключения ее старшего контура.

Регулирование в системе зависит исключительно от младшего контура, при этом старший контур просто не дает младшему контуру выйти за свой диапазон измерения [3]. В связи с этим, в момент переключения старшего контура в младшем контуре, который должен после переключения снова начать измерение с середины своего диапазона, начинается переходный процесс, благодаря которому возникает динамическая ошибка переключения старшего контура. При этом динамическая ошибка, возникающая по угловой скорости, будет через время, равное постоянной времени системы, исчезать. Ошибка, возникающая по углу поворота, в связи с интегрирующими свойствами поплавкового датчика, будет накапливаться в системе.

В связи с достаточно большой для подобных систем постоянной времени $\tau_{пп} = 0.8$ с, возникающая динамическая ошибка по углу поворота будет ощутимо сказываться на точности ГИВУС.

С целью определения значения динамической ошибки по углу поворота для разработанного ГИВУС, была средствами Simulink построена математическая модель ИК ГИВУС, имитирующая поведение системы в динамике при действии угловых ускорений (Рис.1).

Также был проведен ряд испытаний МИК на основании, движущемся с постоянным угловым ускорением.

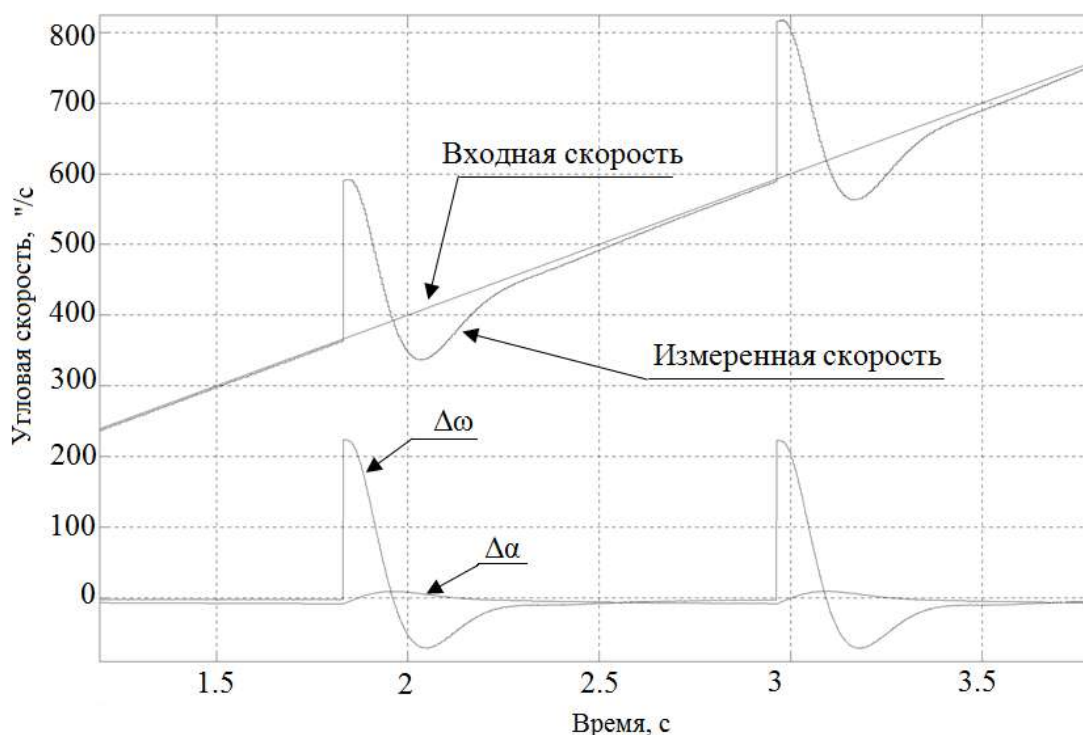


Рис.1 - Типовой процесс переключения старшего контура.

На рисунке представлены $\Delta\omega$ – кривая динамической ошибки по угловой скорости и $\Delta\alpha$ – кривая динамической ошибки по углу поворота.

Численное значение динамической ошибки переключения старшего контура по углу поворота было найдено путем расчета площади «пика переключения» старшего контура по угловой скорости (рис.2), что физически можно представить в виде интеграла по времени $\tau_{пп}$ от выражения динамической ошибки по скорости.

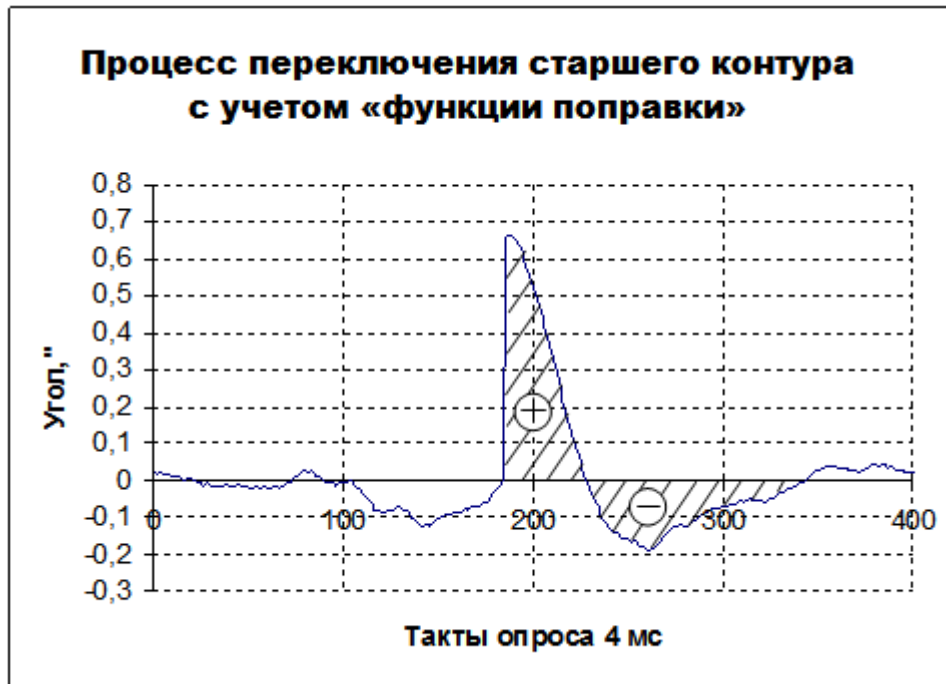


Рис.2 - «Пик переключения»

$$\Delta\alpha_{дин}(t \geq t_{сраб}) = \int_{t_{сраб}}^{t_{сраб} + \tau_{nn}} \Delta\omega_{дин} dt = \sum_{\tau_{nn}} \Delta\varphi \cdot t_{опр} \quad (1)$$

где $t_{сраб}$ – момент переключения старшего контура, [с];

$t_{опр}$ – величина такта опроса системы, [с];

$\Delta\omega_{дин}$ – ошибка переключения старшего контура по угловой скорости, ["/с];

$\Delta\varphi$ – угол поворота, накопленный системой за время $t_{опр}$, ["].

По результатам математического моделирования и проведенных экспериментов величина динамической ошибки переключения старшей линейки по углу поворота составила $\Delta\alpha_{дин} = 3.8$ ".

Выводы

С помощью построенного макета ИК нового ГИВУС:

- была проведена отработка измерительной системы и подтверждены заявленные характеристики нового прибора до момента его изготовления;
- было подтверждено соответствие разработанной математической модели штатному ИК прибора, что позволило моделировать динамические процессы, возникающие в ИК, а также производить вычисление его динамической ошибки по характеристикам устройств, входящих в него, без проведения дополнительных испытаний и привлечения специфического оборудования. Модель реализована в пакете Simulink;
- были уточнены аналитические выражения, описывающие математическую модель ИК ГИВУС, используемую в бортовом комплексе управления спутником, что позволит снизить накапливающуюся погрешность по углу поворота спутника.

Список литературы:

1. *Волынцев А.А., Воробушкин В.В., Казаков Б.А., Тидеман Н.А., Шустов И.Е.* Повышение точности и диапазона измерения прецизионных гироскопических измерителей вектора угловой скорости на базе поплавковых чувствительных элементов // Санкт-Петербург: XVI Санкт-Петербургская международная конференция по интегрированным навигационным системам, Сборник трудов, 2009, - С. 114-123.
2. *Волынцев А.А., Казаков Б.А. и др.,* Технические условия на прибор КИНД34-020. КИНД.402132.020 ТУ, Ред. 2-2007 // Москва, ФГУП «ЦЭНКИ» НИИ ПМ (на правах рукописи) 2007, - 165 с.
3. *Волынцев А.А., Казаков Б.А. и др.,* Эскизный проект прибора КИНД34-064, КИНД.Э001.2577 // Москва, ФГУП «ЦЭНКИ» НИИ ПМ (на правах рукописи) 2009, - 234 с.
4. *Волынцев А.А., Казаков Б.А., Шустов И.Е.* Повышение точности и диапазона измерения гироскопических измерителей вектора угловой скорости.//Москва: Лесной вестник 6, 2009, - С.102-106.

АННОТАЦИИ ABSTRACTS

Ю. Г. Вавилов, С. С. Ксембаев,
В. К. Половняк

ЭКОЛОГИЧНЫЙ БИОСОРБЕНТ НА ОСНОВЕ ХЛОПКОВОЙ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ

С использованием специальной механохимической обработки волокон хлопка получен совместимый с тканями организма человека биосорбент, обладающий высокой бактерицидной активностью и позволяющий повысить качество жизни людей, страдающих от опрелостей, пролежней, стоматологических проблем и др.

Ключевые слова: целлюлоза, биосорбент, бактерицидная активность.

А. С. Андреев, Р. Ф. Гимазетдинов,
С. В. Павликов

ПРЯМОЙ МЕТОД ЛЯПУНОВА В ЗАДАЧАХ УСТОЙЧИВОСТИ ФУНКЦИОНАЛЬНО- ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ С РАЗРЫВНОЙ ПРАВОЙ ЧАСТЬЮ

В работе дано развитие прямого метода Ляпунова в задачах асимптотической устойчивости функционально-дифференциальных уравнений с разрывной правой частью на основе анализа их топологической динамики и исследования предельных свойств решений.

Ключевые слова: функционально-дифференциальное уравнение, предельное включение, устойчивость, функционал Ляпунова.

М. Л. Андреев, Н. А. Заркевич, А. Н. Исаков,
О. И. Козырева, И. В. Плохов

РАЗБИЕНИЕ N-МЕРНОГО КУБА НА СИМПЛЕКСЫ С СОХРАНЕНИЕМ СИММЕТРИИ

Предлагается рекурсивный алгоритм разбиения n-мерного куба и его деформаций на симплексы с сохранением симметрии. Алгоритм пригоден для триангуляции многомерного пространства и может быть использован в методе конечных элементов для решения многополевых задач.

Yu. G. Vavilov, S. S. Ksembaev,
V. K. Polovnyak

GREEN BIOSORBENT BASED ON COTTON CELLULOSE

The biosorbent obtained with using special mechanic-chemical treatment of cotton fibers. It is compatible with the tissues of the human body, which have high bactericidal activity and improve the quality of life of people suffering from diaper rash, bed sores, dental problems, etc.

Key words: cellulose, biosorbent, bactericidal activity.

A. S. Andreev, R. F. Gimazetdinov,
S. V. Pavlikov

LYAPUNOV DIRECT METHOD IN THE STABILITY PROBLEMS FOR FUNCTIONAL-DIFFERENTIAL EQUATIONS WITH DISCONTINUOUS RIGHT SIDE

This paper presents the development of Lyapunov direct method in the problems of asymptotic stability for functional-differential equations with discontinuous right side and analysis of topologic dynamics and limit properties of solutions.

Keywords: functional-differential equation, limit inclusion, stability, Lyapunov functional.

M. L. Andreev, N. A. Zarkevich, A. N. Isakov,
O. I. Kozyreva, I. V. Plokhov

SYMMETRY-CONSERVING TRIANGULATION OF AN N- DIMENSIONAL CUBE

Proposed is a symmetry-preserving recursive algorithm for partitioning into simplices of an n-dimensional cube and its deformations. This algorithm is useful for triangulation of a multidimensional space and can be incorporated in a finite element method for solving multi-physics problems.

Ключевые слова: алгоритм, симметрия, симплекс, триангуляция, многомерный куб.

А. Н. Аношкин, А.Г. Захаров,
Е.Н. Шустова
**ЯЧЕЙСТЫЕ НАПОЛНИТЕЛИ
ЗВУКОПОГЛОЩАЮЩЕГО КОНТУРА
АВИАЦИОННОГО ДВИГАТЕЛЯ**

На основе анализа результатов акустических и механических испытаний ячеистых конструкций, а также оценке их технологичности, исследована возможность применения ячеистого типа «резонансных ячеек» в процессе изготовления корпусных деталей звукопоглощающего контура обшивки авиационного двигателя.

Ключевые слова: конструкции из композиционных материалов, авиадвигатель, полимерные композиционные материалы.

К. В. Пахомов, О. А. Перегудова,
П. П. Силантьев
**УПРАВЛЕНИЕ ДВИЖЕНИЕМ
НЕГОЛОНОМНОГО МОБИЛЬНОГО
РОБОТА НА ОСНОВЕ МЕТОДА
БЭКСТЕППИНГА**

В работе предложен непрерывный нелинейный закон управления для стабилизации нестационарной траектории мобильного робота с двумя степенями свободы. Задача решена на основе применения знакопостоянных функций Ляпунова и процедуры метода бэкстеппинга.

Ключевые слова: мобильный колесный робот, управление с насыщением, бэкстеппинг, знакопостоянная функция Ляпунова.

М. В. Рудаков
**ИССЛЕДОВАНИЕ НДС И ОЦЕНКА
ПРОЧНОСТИ ФЛАНЦА КОЖУХА
АВИАЦИОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С
РАЗЛИЧНЫМИ СХЕМАМИ
АРМИРОВАНИЯ**

С помощью двумерной осесимметричной численной модели в среде ANSYS анализируются возможности повышения статической прочности фланца кожуха наружного задней подвески за счет

Keywords: algorithm, symmetry, simplex, triangulation, multidimensional cube.

A. N. Anoshkin, A.G. Zakharov,
E. N. Shustova
**CELLULAR FILLERS OF SOUND-
ABSORBING PANEL OF CASING PART
FOR AIRCRAFT ENGINE**

The possibility of use of cellular "resonance cells" in the manufacture of sound-absorbing panels of casing part for aircraft engine based on the results of acoustic and mechanical testing is analyzed in this article.

Keywords: composite material constructions, aircraft engine, polymeric composite materials.

O. A. Peregudova, K. V. Pahomov,
P. P. Silantiev
**MOTION CONTROL FOR MOBILE ROBOT
ON THE BASE OF BACKSTEPPING
METHOD**

This paper presents the continuous nonlinear control law for non-stationary motion stabilization of the mobile robot with two degree of freedom. The problem is solved on the use of semi-definite Lyapunov functions and procedure of backstepping method.

Keywords: wheeled mobile robot, saturation control, backstepping, semi-definite Lyapunov function.

M. V. Rudakov
**STRESS-STRAIN ANALYSIS OF
COMPOSITE FLANGE OF TYPICAL
CASING PART FOR AIRCRAFT ENGINE
WITH VARIOUS REINFORCEMENT
SCHEMES**

The possibility of increasing the static strength of the flange of casing part for aircraft engine by applying different types of carbon fiber reinforced plastic is analyzed with the help of two-dimensional axisymmetric numerical

применения вместо стеклопластика различных типов углепластика. Показано, что замена различных слоев стеклопластика в конструкции фланца на углепластик приводит к незначительному увеличению прочностных показателей изделия – на 5-10%.

Ключевые слова: полимерные композиционные материалы, стеклопластик, углепластик, фланцевые соединения, авиадвигатель, компьютерная модель.

Н. В. Шалагинова
О ПОЛУКОЛЬЦАХ РОСТКОВ
НЕПРЕРЫВНЫХ НЕОТРИЦАТЕЛЬНЫХ
ФУНКЦИЙ

В работе рассматриваются свойства полукольца ростков непрерывных неотрицательных функций, заданных на произвольном топологическом пространстве X . В терминах этих свойств получены характеристики P -пространств и F -пространств X .

Ключевые слова: росток непрерывных функций, полукольцо ростков, пучок, тихоновское пространство.

С. Н. Алехин, И. В. Фетисов, С. П. Петросов,
В. Г. Фетисов, А. С. Алехин
ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ АМПЛИТУД
СЛУЧАЙНЫХ КОЛЕБАНИЙ ПОДВЕСНОЙ
ЧАСТИ СТИРАЛЬНЫХ МАШИН ПРИ
ОТЖИМЕ

В работе приведены результаты использования методики определения эксцентриситета центра масс изделий при теоретическом исследовании случайных колебаний подвесной части стиральных машин барабанного типа.

Ключевые слова: виброактивность стиральных машин, случайные колебания, эксцентриситет центра масс изделий, виброперемещения подвесной части.

С. В. Бабин, В. В. Хренов
РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ
ЗАЩИТНОГО ПОКРЫТИЯ ДЛЯ УГЛЕРОД-
УГЛЕРОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ

model in ANSYS environment. It is established that it allows to increase the strength for 5-10 percent.

Keywords: polymeric composite materials, fiberglass, carbon fiber, flange, aircraft engine, numerical model.

N. V. Shalaginova
ABOUT STRUCTURAL SHEAVES FOR
SEMIRINGS OF CONTINUOUS
FUNCTIONS

In this paper the properties of germs semirings of continuous functions on arbitrary topological space X are considered. In terms of this properties P -space and F -space are characterizes.

Keywords: germ of continuous functions, semiring of germs, sheaf, completely regular space.

A. S. Alekhin, S. N. Alekhin, S. P. Petrosov,
I. V. Fetisov, V. G. Fetisov,
THEORETICAL CALCULATION OF THE
AMPLITUDES OF RANDOM
FLUCTUATION OF THE SUSPENSION OF
WASHING MASHINES DURING THE SPIN
CYCLE

The results of the use of methods for determining the eccentricity of the center of mass of products in the theoretical study of random fluctuations of the hanging washing machine drum.

Keywords: of vibration of washing machines, random vibration, eccentricity of the center of mass products, vibro suspension parts.

S. V. Babin, V. V. Khrenov
WORKING OUT AND RESEARCH OF THE
SHEETING FOR CARBON-CARBON
COMPOSITE MATERIAL

В настоящей статье представлен обзор существующих покрытий для защиты углерод-углеродных материалов (УУКМ). Установлены основные требования к защитным покрытиям для УУКМ. Разработано защитное покрытие, обеспечивающее коррозионно-эрозионную защиту для УУКМ. Экспериментально доказано, что композиционное покрытие более работоспособно, чем ранее предложенные.

Ключевые слова: углерод-углеродный композиционный материал (УУКМ), коэффициент термического линейного расширения (КТЛР), эрозия.

М. И. Барабанов, А. И. Кобрунов,
С. Г. Куделин, В. Е. Кулешов, С. В. Шилова
**ТЕХНОЛОГИЯ СОЗДАНИЯ ФИЗИКО-
ГЕОЛОГИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ СРЕД НА
ОСНОВЕ ПОСТРОЕНИЯ ОПТИМАЛЬНЫХ
РЕШЕНИЙ ОБРАТНЫХ ЗАДАЧ**

В работе описывается технология моделирования сложных сред на основе методов интегрированной инверсии. Рассматриваются основные принципы разработки программного комплекса создания и поддержки сбалансированных физико-геологических моделей среды «GeoVIP», а также его функциональные возможности.

Ключевые слова: геофизическая инверсия, физико-геологическая модель, программный редактор «GeoVIP».

В. П. Бахареv, Е. Е. Кнuтова,
П. Г. Шаповалов
**ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ИЗДЕЛИЙ
ИЗ ТЕХНИЧЕСКОЙ КЕРАМИКИ ПУТЕМ
ПРИМЕНЕНИЯ ДОВОДКИ ПОВЕРХНОСТИ
СВОБОДНЫМ АБРАЗИВОМ**

Представлено исследование процессов финишной обработки изделий из вакуумплотной оксидной керамики ВК-100, определяющей показатели надежности изделий. Установлено существенное влияние структуры материала и показателей качества поверхности на прочность. Рекомендованы различные типы

In the present article the modern review of the developed coverings on C/C composites is given. The basic requirements of barrier coating for C/C composites have been determined. The new sheeting on C/C composites is developed. It has experimentally been proved that this covering is more efficient, than earlier offered.

Keywords: carbon-carbon composite (C/C composites), linear thermal expansion coefficient (LTEC), erosion.

М. I. Barabanov, A. I. Kobrunov,
S. G. Kudelin, V. E. Kuleshov, S. V. Shilova
**TECHNOLOGY FOR PHYSICAL-
GEOLOGICAL ENVIRONMENT MODELS
CREATING BASED ON CONSTRUCTING
OPTIMAL SOLUTIONS FOR INVERSE
PROBLEMS**

This article describes technology of complex geomodeling based on integrated geophysical inversion methods. Basic developing principles for constructing and supporting balanced physically-geological models software package «GeoVIP» and also the functionality of this software are described.

Key words: geophysical inversion, physically-geological model, “GeoVIP” software.

В. P.Bakharev, E. E.Knutova, P. G.Shapovalov
**THE INCREASE OF RELIABILITY OF
PRODUCTS FROM TECHNICAL
CERAMICS BY USING OF OPERATIONAL
DEVELOPMENT OF SURFACE BY THE
FREE ABRASIVE**

A study of processes of finishing processing of products from vacuum-tight oxide ceramic VC-100, which determines the indicators of reliability of products is presented. An essential influence of the structure of material and indicators of quality of the surface for durability is established. Various types of technological environments of finishing

технологических сред финишной обработки для обеспечения требуемых показателей качества поверхности.

Ключевые слова: керамика оксидная, прочность, износостойкость, доводка алмазная, качество поверхности.

А. Г. Бейгель, А. Г. Горюнов
ДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА
ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО СИНТЕЗА
ТРИФТОРМЕТАНСУЛЬФОФТОРИДА

Рассмотрены основные положения динамической модели технологического процесса электрохимического синтеза трифторметансульфофторида. Приведены результаты расчетов и экспериментальных исследований зависимости удельной электропроводности электролита от его параметров. Установлено, что режим работы электролизера при экстремуме электропроводности электролита, позволяет снизить энергозатраты и увеличить выход целевого продукта.

Ключевые слова: математическое моделирование, динамическая модель, удельная электропроводность, электрохимическое фторирование, метансульфохлорид, трифторметансульфофторид.

В. Ф. Беккер, И. Ф. Киссельман
ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА
АБСОРБЦИОННОЙ КОЛОННЫ С
ПОДВИЖНОЙ ВРАЩАЮЩЕЙСЯ
НАСАДКОЙ

На базе математического описания физико-химических процессов и эффектов, сопровождающих абсорбцию аммиака водой в трехфазной гидродинамической структуре потоков, возникающей при работе абсорбционной колонны с вращающейся подвижной насадкой, обоснованы критерии, выполнена постановка и решение задачи выбора параметров технологического режима.

processing for maintenance of required indicators of quality of the surface are recommended.

Key words: oxide ceramics, durability, wear resistance, diamond operational development, quality of a surface.

A. G. Beigel, A. G. Gorunov,
DYNAMIC MODEL OF PROCESS OF
ELECTROCHEMICAL SYNTHESIS OF
TRIFLUOROMETHANESULFONYL
FLUORIDE

The basic principles of a dynamic model of the process of electrochemical synthesis of trifluoromethanesulfonyl fluoride were considered. The results of calculations and experimental studies of the dependence of conductivity of the electrolyte on its parameters were given. It was found that the mode of operation of electrolyzer at the extremum conductivity of the electrolyte, allows to reduce energy consumption and increase the yield of the desired product.

Keywords: mathematical modeling, dynamic model, electrical conductivity, electrochemical fluorination, methanesulfonyl chloride, trifluoromethanesulfonyl fluoride.

V. F. Becker, I. F. Kisselman
SELECTION OF TECHNOLOGICAL
PARAMETERS MODE ABSORPTION
COLUMNS WITH A ROTATING NOZZLE
MOBILE

The criteria, formulation and solving of the problem of technology parameters selecting based on mathematical model of chemical and physical processes which occurred with a water-ammonium absorption in device with a moving and rotating nozzle.

Ключевые слова: абсорбция, вращающаяся подвижная насадка, моделирование, параметры технологического режима, оптимизация.

И. В. Березин, П. Д. Кравченко,
Д. Н. Федоренко, И. И. Яблоновский
**ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ
ЭВРИСТИЧЕСКИХ ПРИЁМОВ ПРИ
СОЗДАНИИ АВТОМАТИЧЕСКИХ
ГРУЗОЗАХВАТНЫХ УСТРОЙСТВ**

Статья посвящена особенностям процедуры поиска во время нахождения лучшего технического решения при создании автоматических грузозахватных устройств. Описаны несколько изобретений устройств для работы в радиоактивной зоне при действии силы тяжести.

Ключевые слова: автоматические грузозахватные устройства, эвристический поиск решения.

М. Б. Будько, А. С. Соколов
**МАЛОИЗВЕСТНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ
БАЗОВЫХ СРЕДСТВ МОНИТОРИНГА
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ**

В статье представлены широко неизвестные возможности, включенные в состав таких базовых средств мониторинга вычислительных сетей, как ping, tracert, traceroute и pathping. Выявляются их специфичные функции и сравниваются их реализации в различных операционных системах.

Ключевые слова: мониторинг сети, сетевая безопасность, задержки передачи в сети, протокол ICMP, IP-датаграмма.

А. П. Буйносов, И. М. Пышный
**РАЗРАБОТАН БОРТОВОЙ
ЛОКОМОТИВНЫЙ
ГРЕБНЕСМАЗЫВАТЕЛЬ
«ТВЕРДОГО» ТИПА**

В статье описана конструкция нового бортового локомотивного гребнесмазывателя «твердого типа». Гребнесмазыватель прост по конструкции, изготовлению и обслуживанию. Предложен для разработанной системы смазки

Key words: absorption, rotating the movable nozzle, simulation, parameter of technological regime, optimization.

I. V. Berezin, P. D. Kravchenko, D. N. Fedorenko, I. I. Yablonovsky
**PRACTICAL METHOD OF USING
HEURISTIC PROCEDURE DURING
PROCESS OF CREATION OF AUTOMATIC
GRIPPER DEVICES**

Peculiarity of search procedure during solving the problem of new construction of automatic gripper devices creating process is represented. Description of several inventions of gripper devices for operating in radioactive zone under action of gravity is shown.

Keywords: automatic load handling devices, Heuristic search of the decision.

М. Б. Будко, А. С. Соколов
**LITTLE-KNOWN POSSIBILITIES OF BASE
PROGRAMS OF MONITORING OF
COMPUTER NETWORKS**

In article the little-known possibilities which have been switched on in base programs of monitoring of computer networks, such as ping, tracert, traceroute and pathping are presented. Specific functions are observed and their implementation in various operating systems is compared.

Keywords: network monitor, network security, transmission delays in networks, ICMP protocol, IP-datagram.

А. П. Буйносов, И. М. Пышный
**DEVELOPED SOLID TYPE
GREBNESMAZYVATEL**

The paper describes the design of the new board locomotive grebnesmazvyatelya "solid type." Grebnesmazvyatel simple in design, construction and maintenance. Proposed for the lubrication system developed new materials: Medium-low-ash graphite GMZ GMZ-0 and high purity, depending on the treatment plots locomotives. The results of

новые материалы: малозольный среднезернистый графит ГМЗ-0 и ГМЗ ОСЧ в зависимости от участков обращения локомотивов. Приведены результаты применения бортового гребнесмазывателя на железных дорогах Уральского региона.

Ключевые слова: локомотив, колесная пара, бандаж, гребень, износ, гребнесмазыватель, ресурс.

Т. В. Бурнышева

**МЕТОДИКА ПРОЕКТИРОВОЧНОГО
РАСЧЕТА СЕТЧАТЫХ ОБОЛОЧЕЧНЫХ
КОНСТРУКЦИЙ ИЗ КОМПОЗИЦИОННЫХ
МАТЕРИАЛОВ ПРИ СТАТИЧЕСКОМ
НАГРУЖЕНИИ**

Предложена методика проектировочного расчета сетчатых композиционных оболочек, подверженных статическому осевому сжатию, с учетом концентрации напряжений на вырезах с окантовками. Приведен алгоритм применения предложенной методики на стадии проектирования сетчатых оболочек.

Ключевые слова: сетчатые оболочечные конструкции, композиционные материалы, напряженно-деформированное состояние, концентрация напряжений.

Н. В. Бутырлагин, Н. В. Ковбасюк,
Н. Н. Прокопенко

**МЕТОД ПОВЫШЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА
ПРЕОБРАЗОВАНИЯ СМЕСИТЕЛЕЙ
ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ СИГНАЛОВ
ДЖИЛЬБЕРТА С ВЫХОДНЫМ
КАСКОДОМ**

Предлагается метод улучшения основного технического параметра - коэффициента преобразования (K_u) большого класса низковольтных смесителей ВЧ и СВЧ сигналов Джильберта, являющихся одним из основных функциональных узлов современных радиоприемных устройств.

Ключевые слова: смеситель, ячейка Джильберта, каскод, коэффициент преобразования.

airborne grebnesmazyvatelya on the railways of the Ural region.

Key words: locomotive, wheel pair, bandage, comb, wear, grebnesmazyvatel, resource.

T. V. Burnysheva

**METHOD TO THE DESIGN
CALCULATION OF RIBBED SHELLS
MADE OF COMPOSIT MATERIALS
UNDER STATIC LOAD**

Method calculation of ribbed shells made of composite materials under static load, taking into account the stress concentration near the reinforced cutouts. An algorithm for applying the proposed method in the design stage ribbed shells.

Keywords: ribbed shell structures, composite materials, stress-strain state, stress concentration.

N. V. Butyrlagin, N. V. Kovbasyuk,
N. N. Prokopenko

**METHOD OF INCREASING THE
CONVERSION EFFICIENCY OF HIGH-
FREQUENCY SIGNALS GILBERT MIXER
WITH THE OUTPUT CASCODE**

We propose a method to improve the basic technical parameters - the conversion factor (Gain) of a large class of low-voltage mixer RF and microwave signals Gilbert, which is one of the basic functional units of modern radio equipment.

Keywords: mixer, Gilbert cell, cascode, the conversion factor.

В. И. Воловач к.т.н. А. С. Мамедов
ПРИМЕНЕНИЕ ЛОГИКО-
ВЕРОЯТНОСТНОГО ПОДХОДА ДЛЯ
ПОВЫШЕНИЯ ДОСТОВЕРНОСТИ
КРИТЕРИАЛЬНЫХ ОЦЕНОК СИСТЕМ
ОБНАРУЖЕНИЯ БЛИЖНЕГО ДЕЙСТВИЯ

В статье рассматривается возможность повышения достоверности оценки качества систем обнаружения ближнего действия при помощи логико-вероятностного подхода. В качестве мерил оценки выбраны критерии Байеса и Неймана-Пирсона. Авторами приведен алгоритм применения классического логико-вероятностного подхода с соответствующими аналитическими зависимостями. Также рассматривается возможность применения алгебры кортежей и функции выигрыша для повышения функциональности системы обнаружения.

Ключевые слова: критерий Байеса, критерий Неймана-Пирсона, логико-вероятностный подход, алгебра кортежей, функция выигрыша.

В. И. Дождиков, Д. С. Мордовкин,
И. Н. Чмырёв

ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ НАГРЕВА
СЛЯБОВ ПЕРЕД ГОРЯЧЕЙ ПРОКАТКОЙ

В работе рассмотрена оптимизация режимов нагрева слабов по частным критериям, характеризующим качество нагрева слабов перед горячей прокаткой. Результаты работы показывают качественные и количественные различия в решении задач оптимизации для различных критериев.

Ключевые слова: режим нагрева, методические печи, оптимизация.

А. С. Згурский, Е. В. Корбаинова
ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТЕПЕНИ ПОТРЕБНОСТИ
ИНФОРМАЦИОННЫХ АКТИВОВ ЦЕНТРА
ОБРАБОТКИ ДАННЫХ КРЕДИТНОЙ
ОРГАНИЗАЦИИ В СВОЙСТВАХ
БЕЗОПАСНОСТИ

В статье определяется степень потребности информационных активов центра обработки данных кредитной организации в свойствах безопасности.

V.I. Volovach, A.S. Mamedov
USE OF THE LOGIC-PROBABILISTIC
APPROACH TO INCREASE THE
RELIABILITY OF CRITERION ESTIMATES
OF THE SHORT-RANGE DETECTION
SYSTEMS

In the article is considered the possibility of improving the reliability of assessing the quality of short-range detection systems by means of logic-probabilistic approach. As a measure of evaluation are selected criteria of Bayes and Neyman-Pearson. The authors present an algorithm for the use of classical logic-probability approach with the corresponding analytical dependencies. Also analyzed the possibility of using the algebra of tuples and the payoff function to increase the functionality of the detection system.

Key words: Bayes's criterion, Neiman-Pearson's criterion, logic-probabilistic approach, algebra of tuples, pay-off function.

V. I. Dozhdikov, D. S. Mordovkin,
I. N. Chmirev

OPTIMIZATION OF HEATING MODE OF
SLABS BEFORE HOT ROLLING

The paper considers the optimization of heating slabs on private criteria characterizing the quality of slab heating before hot rolling. Results show qualitative and quantitative differences in the solution of optimization problems for various criteria.

Key words: heating mode, reheating furnace, optimization.

A. S. Zgurskiy, E. V. Korbainova
EVALUATION OF INFORMATION ASSETS
REQUIREMENTS DEGREE IN THE
SECURITY PROPERTIES FOR DATA
CENTRE IN A CREDIT INSTITUTION
TO PREVENT RISK INFORMATION
THREATS

This article represents definition of requirements degree of information assets for data centre in credit institution. Criteria of an

Рассматриваются критерии оценки, выявляются основные направления ответственности.

Ключевые слова: безопасность, свойство безопасности, информационная безопасность, кредитная организация, центр обработки данных.

**Б.Н. Казаков, А.В. Михеев
ВЕРОЯТНОСТНАЯ МОДЕЛЬ
РЕГИСТРАЦИИ СВЕТОВОГО ПОТОКА В
РЕЖИМЕ СЧЕТА ФОТОНОВ**

В работе предложена математическая модель, устанавливающая соответствие между вероятностным описанием исследуемого светового потока и вероятностным описанием количества однофотонных импульсов, регистрируемых в режиме счета фотонов. Найдены аналитические выражения для характеристической функции количества однофотонных импульсов и вероятностей, с которыми это количество принимает те или иные значения. С их помощью получена формула для световой характеристики системы счета фотонов, позволяющая использовать режим счета фотонов для регистрации не только слабых световых потоков, но и световых потоков большой интенсивности. Показано, что существующие модели световых характеристик, являются частными случаями модели, предложенной в этой работе.

Ключевые слова: режим счета фотонов, фотоэлектронный умножитель, характеристическая функция (теория вероятностей).

**М. А. Карягин, А. С. Лелюхин, Д. А. Муслимов
СРАВНЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЯ
ПРАКТИЧЕСКОГО ПИКОВОГО
НАПРЯЖЕНИЯ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ
УСЛОВИЯХ ГЕНЕРАЦИИ
РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ**

В работе приводятся результаты экспериментального исследования влияния условий генерации рентгеновского излучения на величину практического пикового

estimation are considered, the basic directions of responsibility come to light.

Keywords: security, credit institution, security property, information security, data centre.

**B. N. Kazakov, A. V. Mikheev
PROBABILISTIC MODEL OF THE LIGHT
REGISTRATION**

*UNDER THE PHOTON COUNTING MODE
The paper proposed a mathematical model that establishes the correspondence between the probabilistic study of light and a probabilistic description of the number of single-photon pulses recorded in photon counting mode. The analytical expressions for the characteristic and probability function of the number of single-photon pulses are found. The formula for the light characteristics of photon counting system was obtained. It allows the use of photon counting mode for detection of light as both weak and strong intensity. It is shown that existing models of light characteristics are special cases of the model proposed in this paper.*

Keywords: photon counting mode, photomultiplier, characteristic function (probability theory).

**M. A. Karyagin, A. S. Lelyukhin,
D. A. Muslimov
COMPARISON OF RESULTS OF
PRACTICAL PEAK VOLTAGE
MEASUREMENT UNDER VARIOUS
CONDITIONS OF X-RAYS GENERATION**

The proceeding deals with the results of an experimental research of the impact of X-ray generation conditions on the value of practical peak voltage (PPV). The PPV in a range of

напряжения (PPV). Выполнено сравнение PPV в диапазоне анодных напряжений для четырех типов питающих устройств. Показано, что калибровка излучателей по эффективной энергии приводит к завалу PPV на высоких «установках» анодного напряжения.

Ключевые слова: рентгеновское излучение, практическое пиковое напряжение (PPV), неинвазивные измерения.

А. И. Каяшев, Е. А. Муравьева,
Л. Ю. Полякова, Т. В. Сазонова
КОМПЕНСАЦИЯ ВЗАИМНОГО ВЛИЯНИЯ
ТЕМПЕРАТУРЫ И ДАВЛЕНИЯ В
АВТОКЛАВЕ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА
ГАЗОЗОЛОСИЛИКАТНЫХ
ШЛАКОБЛОКОВ

В работе представлена система управления автоклавом на основе двумерного четкого логического регулятора с компенсацией взаимного влияния контуров с помощью дополнительных систем продукционных правил.

Ключевые слова: автоклав, энергосбережение, ресурсосбережение, многомерные логические регуляторы, четкие термы, золошлакоотходы.

Н. В. Ковбасюк, Н. Н. Прокопенко
МЕТОД ВЗАИМНОЙ КОМПЕНСАЦИИ
ВХОДНЫХ ИМПЕДАНСОВ В
КАСКОДНЫХ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ
УСИЛИТЕЛЯХ

Рассматривается архитектура каскодных дифференциальных усилителей, позволяющая получить мегаомные значения входных сопротивлений и наноамперные статические входные токи при их реализации на биполярных транзисторах стандартных техпроцессов АБМК_1_3 (НПО «Интеграл», HJW, ФГУП НПП «Пульсар» и др.)

Ключевые слова: каскодный дифференциальный усилитель, компенсация, входное дифференциальное сопротивление, входной статический ток.

anode voltages for four types of feeding devices has been compared. It has been shown that calibration of effective energy radiators leads to PPV roll-off at high "set points" of anode voltage.

Keywords: X-ray, Practical peak voltage, Non-invasive measurements

A. I. Kajashev, E. A. Muraveva,
L. J. Poljakova, T. V. Sazonova
INDEMNIFICATION OF MUTUAL
INFLUENCE OF TEMPERATURE AND
PRESSURE IN THE AUTOCLAVE FOR
MANUFACTURE PRODUCTS' BLOCKS
FROM ASHES'SLAG

In work the control system of an autoclave on the basis of a two-dimensional accurate logic regulator with indemnification of mutual influence of contours by means of additional systems of production rules is presented.

Keywords: autoclave, the power savings, ресурсосбережение, multidimensional logic regulators, accurate terms, золошлакоотходы.

N. V. Kovbasyuk, N. N. Prokopenko
THE METHOD OF THE MUTUAL
COMPENSATION OF THE INPUT
IMPEDENCE OF CASCODE
DIFFERENTIAL AMPLIFIERS

The architecture of cascode differential amplifiers are considered in the article. It is allowed to get megaOhm values of the input resistance and nanoAmp static input current under their realization on the bipolar transitions of standard technological process ABMC_1_3 (SPS "Integral", HJW, FSUE NPP "Pulsar")

Keywords: Cascode Differential Amplifiers, compensation, the input differential resistance, static input current.

Г. Б. Коптяева, О. М. Тимохова, Н. Р. Шоль
ПОВЫШЕНИЕ КОРРОЗИОННОЙ
СТОЙКОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО
ОБОРУДОВАНИЯ И ДЕТАЛЕЙ МАШИН

Повышение коррозионной стойкости деталей машин, технологического оборудования и их восстановление методом газотермического напыления. Порошковые материалы для газотермического напыления. Экономическая выгода для восстановления изношенных деталей.

Ключевые слова: газотермическое напыление, коррозионная стойкость, восстановление, порошковые материалы.

В. А. Лысов, О. В. Шевченко, А. В. Щеголев
АППРОКСИМАЦИЯ ПЛОСКИХ
КРИВОЛИНЕЙНЫХ КОНТУРОВ
ГЛАДКИМИ КРИВЫМИ НА
ДИСКРЕТНОМ МНОЖЕСТВЕ
ОПОРНЫХ ТОЧЕК

В работе рассматривается методика автоматической аппроксимации криволинейных контуров гладкими кривыми, образованными дугами окружностей, обосновывается производственная необходимость создания, приводится необходимый теоретический и прикладной математический аппарат, осуществляется теоретическое обоснование результативности, перечисляется состав исходных и результирующих данных, анализируется производственный опыт авторов разработки, внедрения и эксплуатации на предприятии машиностроительного профиля.

Ключевые слова: аппроксимация, криволинейный контур, гладкая кривая, осевое сечение, технологический инструмент, глубокая вытяжка, матрица и пуансон.

Г. В. Маврин, И. Ф. Сулейманов,
Д. А. Харлямов
ЗАБОЛЕВАЕМОСТЬ ЖИТЕЛЕЙ ГОРОДА –
КАРТЫ РАССЕЙВАНИЯ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ
ВЕЩЕСТВ – КВОТЫ НА ВЫБРОСЫ

В рамках настоящего исследования впервые собраны и проанализированы сведения об

G. B. Koptyaeva, O. M. Timokhova, N. R. Shol
INCREASE OF CORROSION FIRMNESS OF
THE PROCESS EQUIPMENT AND
DETAILS OF CARS

Increase of corrosion firmness of details of cars, the process equipment and their restoration by a method thermal spraying a dusting. Powder materials for thermal spraying a dusting. An economic gain for restoration of the worn out details.

Keywords: thermal spraying a dusting, corrosion firmness, restoration, powder materials.

V. A. Lysov, O. V. Shevchenko,
A. V. Schegolev
THE APPROXIMATION OF THE
TWO-DIMENSIONAL CURVILINEAR
CUTOUTS BY SMOOTH CURVES ON THE
DISCREET SET OF THE MONUMENT
POINTS

When in use the technique of the cam contours' automatic approximation by smooth curves, that generated with the help of the circular arcs, is treated. The manufacturing necessity of the generation is justified. The required theoretical and applied mathematical apparatus is activated. The theoretical justification of the effectiveness is implemented. The compound of the home and resulting data is enumerated. The producers' s factory floor experience of the design, deployment and operation at the machine-building enterprise is explored.

Keywords: approximation, cam contour, smooth curve, axial section, process tool, deep drawing, complete die.

G. V. Mavrin, I. F. Suleimanov,
D. A. Kharlyamov
THE INCIDENCE OF RESIDENTS – MAPS
OF POLLUTANT DISPERSION – EMISSION
QUOTAS

Information about the sources of air pollution and the incidence of Nab Chelny residents first

источниках загрязнения атмосферы и заболеваемости жителей города Набережные Челны, проведены сводные расчеты загрязнения атмосферного воздуха выбросами промышленных предприятий и автотранспорта. Получено более 150 карт рассеивания загрязняющих веществ. Составлен прогноз концентраций загрязняющих веществ в жилой зоне города и выявлены вещества и группы суммации, для которых вероятно превышение ПДК. Представлен пример квотирования загрязняющих веществ.

Ключевые слова: атмосферный воздух, загрязняющие вещества, расчет рассеивания, предельно допустимая концентрация, карты рассеивания, заболеваемость, квоты на выбросы.

И. В. Петухов

МОДЕЛЬ И СИСТЕМА ОЦЕНКИ УСПЕШНОСТИ ОПЕРАТОРСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В ЧЕЛОВЕКО-

МАШИННЫХ СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ
В работе представлена модель оценки успешности операторской деятельности на основе нечеткой логики и система оценки для ее реализации. Практическая реализация модели осуществлялась для операторов транспортных средств. Приведены результаты имитационного моделирования.

Ключевые слова: человеко-машинные системы, моделирование, система оценки.

Д. С. Репецкий, Б. С. Юшков РАСЧЕТ ПОДЪЕМА ОДИНОЧНОЙ ДВУКОНУСНОЙ СВАИ В СЕЗОННО ПРОМЕРЗАЮЩИХ ПУЧИНИСТЫХ ГРУНТАХ

Предложен метод расчета наибольших сил морозного пучения и величины подъема одиночной двуконусной сваи в сезонно промерзающем пучинистом грунте. Метод базируется на общем решении осесимметричной упругой задачи для жесткого включения в среде, испытывающей фазовые превращения.

collected and analyzed, summery calculations of air pollution from industrial plants and vehicles carried out in this study. More than 150 maps of pollutant dispersion obtained. The forecast of the concentration of pollutants in a residential area of the city compiled and the substance and the summation of the group, for which probably exceeded the maximum permissible concentration, identified. Example of a quota of polluting substances submitted.

Keywords: atmospheric air, pollutants, calculation of dispersion, maximum permissible concentration, dispersion maps, stationary sources, mobile sources, incidence, emission quotas.

I. V. Petukhov

MODELS AND SYSTEMS TO EVALUATE THE SUCCESS OF OPERATOR ACTIVITY IN HUMAN-MACHINE SYSTEM

The paper presents a model to evaluate the success of operator's activity on the basis of fuzzy logic and evaluation system for its implementation. Practical implementation of the model was carried out for operators of vehicles. The results of simulation.

Keywords: human-machine systems, modeling and evaluation system

D. S. Repetskii, B. S. Yushkov, COMPUTATION OF A SINGLE TWOCONIC PILE IN THE SEASONALLY FREEZING FROST HEAVING SOILS

A method is proposed for calculation of the greatest forces of frost heaving and the rise of a single twoconic pile in the seasonally freezing frost heaving soils. The method is based on the general solution of axial-symmetric elastic problem for rigid inclusion in an environment undergoing phase transformations.

Ключевые слова: морозное пучение, двуконусная свая, касательные силы морозного пучения.

В. П. Славненко, М. И. Филатов
ОЦЕНКА КАЧЕСТВА
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ
ИЗГОТОВЛЕНИЯ И СБОРКИ ЗВЕНЬЕВ
РАЗМЕРНОЙ ЦЕПИ КШМ ДВИГАТЕЛЯ
КАМАЗ

В ремонтном производстве постоянно приходится решать вопросы, связанные с оценкой экономической эффективности и качества технологических процессов. В предлагаемой статье рассмотрены некоторые способы оценки качества технологических процессов изготовления и сборки звеньев размерной цепи КШМ двигателя КАМАЗ.

Ключевые слова: технологический процесс, размерная цепь, воспроизводимость, качество.

Э. Л. Хазиев
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ
МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ
УПРАВЛЕНИЯ ПНЕВМАТИЧЕСКОГО
МАНИПУЛЯТОРА ПРОМЫШЛЕННОГО
РОБОТА

Рассмотрена математическая модель системы управления пневматическим манипулятором. Система управления включает крановый распределитель с управлением от электрического шагового двигателя.

Ключевые слова: система управления, крановый распределитель, шаговый двигатель, пневматический манипулятор.

П. В. Хапов
УСТАНОВКА ГОРЯЧЕГО
ПРЕССОВАНИЯ ПОРОШКОВ НА ОСНОВЕ
ЖЕЛЕЗА В ТЕМПЕРАТУРНОМ
ИНТЕРВАЛЕ α -ФАЗЫ

В статье рассматривается установка для получения методами порошковой металлургии принципиально новых изделий с определенным набором физико-механических свойств. Приведены результаты

Keywords: frost heaving, the twoconic pile, the tangential forces of frost heaving.

V. P. Slavnenko, M. I. Filatov
ESTIMATION OF QUALITY OF
TECHNOLOGICAL PROCESSES
MANUFACTURING AND ASSEMBLAGE
OF LINKS OF DIMENSIONAL CHAIN KШМ
OF ENGINE KAMAZ

In repair manufacture constantly it is necessary to solve the questions connected with an estimation of economic efficiency and quality of technological processes.

In offered article some ways of an estimation of quality of technological processes of manufacturing and assemblage of links of dimensional chain KШМ of engine KAMAZ are considered.

Keywords: technological process, a dimensional chain, reproducibility, quality.

E. L. Khaziev
MATHEMATICAL MODELLING OF THE
CONTROL SYSTEM OF THE PNEUMATIC
MANIPULATOR OF THE INDUSTRIAL
ROBOT

The mathematical model of a control system is considered by the pneumatic manipulator. The control system includes valve-type the distributor from justices-leniem from the electric step-by-step engine.

Keywords: control system, valve-type distributor, step-by-step engine, pneumatic manipulator.

P.V. Khapov
THE DEVICE OF HOT PRESSING OF
POWDERS ON THE IRON BASIS IN THE
TEMPERATURE INTERVAL α - PHASES

This paper presents the device for reception of essentially new products with a certain set of physicomechanical properties by methods of powder metallurgy. Results of experiments on the designed installation of hot pressing of ultradisperse powder materials are resulted.

экспериментов на спроектированной установке горячего прессования ультрадисперсных порошковых материалов. Рассмотрено изготовление плотных беспористых материалов за счет состояния сверхтекучести порошков.

Ключевые слова: ультрадисперсные материалы, горячее прессование, текучесть.

И. Е. Шустов

ОЦЕНКА ДИНАМИЧЕСКОЙ ТОЧНОСТИ
ПРЕЦИЗИОННОГО ГИРОСКОПИЧЕСКОГО
ИЗМЕРИТЕЛЯ ВЕКТОРА УГЛОВОЙ
СКОРОСТИ

В статье рассматриваются вопросы, связанные с анализом динамической ошибки прецизионного гироскопического измерителя вектора угловой скорости (ГИВУС) для космических аппаратов с помощью математической модели измерительного канала прибора. Также в статье представлены результаты сравнительного анализа теоретических характеристик ГИВУС с экспериментальными, полученными на макете измерительного канала.

Ключевые слова: гироскопический измеритель, поплавковый гироскоп, двухотсчетная измерительная система, динамическая ошибка.

Manufacturing dense беспористых materials at the expense of a condition of superfluidity of powders is considered.

Keywords: ultradisperse materials, hot pressing, fluidity.

I. E. Shustov

PRECISION GYROSCOPIC ANGULAR
VELOCITY MEASURER ESTIMATION OF
DYNAMIC PRECISION

Affairs, connected with precision gyroscopic angular velocity measurer (GMAVV) for the spacecrafts dynamic error analysis with help of the mathematical model of its measuring channel. Confrontation results of GMAVV theoretical performances with performances, experimentally obtained on the measuring channel model, are also presented in article.

Keywords: gyroscopic measurer, floating gyro, double-count measuring system, dynamic error

Публичный лицензионный договор-оферта

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.

НАУЧНОЕ ИЗДАНИЕ

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ВЕСТНИК
ПОВОЛЖЬЯ

Сборник научных статей
№3 2011

Направления:
ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ
ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

www.ntvp.ru

Свидетельство № ПИ № ФС77-41672 от 13 августа 2010г.
Подписано в печать 05.06.2011 Формат 60 х 84 1/8. Печать Riso.
26,0 усл.печ.л. 27,8 уч.изд.л. Тираж 900 экз. Заказ 158.

© Научно-технический вестник Поволжья
тел.(843) 216-30-35
факс:(843) 292-18-85

Отпечатано с готового оригинал-макета
ООО «Научно-технический вестник Поволжья»