# НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ВЕСТНИК ПОВОЛЖЬЯ

**№1 2015** 

# Направления:

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Казань

2015

УДК 60

ББК 30-1

H-66

**H-66** Научно-технический вестник Поволжья. №1 2015г. – Казань: Научно-технический вестник Поволжья, 2015. – 154 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

*Б.Н. Иванов* – д.т.н., проф.; *В.С. Минкин* – д.х.н., проф.; *В.К. Половняк* – д.х.н., проф.; *Х.Э. Харлампиди* – д.х.н., проф.

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

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

УДК 60

ББК 30-1

# СОДЕРЖАНИЕ

#### ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

А.Р. Абдуллаев, К.А. Житникова ДВУХТОЧЕЧНАЯ ЗАДАЧА ДЛЯ УРАВНЕНИЯ ВТОРОГО ПОРЯДКА В КРИТИЧЕСКОМ СЛУЧАЕ В.В. Дружинин, А.А. Лазарев ТЕОРИЯ ПАР-ШЕСТЕРОК ПРОСТЫХ ЧИСЕЛ В.А. Евдокимова, С.В. Ланкин ОСОБЕННОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПРИРОДНЫХ ЦЕОЛИТОВ ОБОГАЩЕННЫХ НИТРАТОМ ВИСМУТА И.А. Пушкарёв, В.А. Бызов ДУГИ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ДОНАХЬЮ И ТРЕУГОЛЬНИК КАТАЛАНА	7 11 14 19
химические науки	
Н.Я. Есина, М.Н. Курасова, М.В. Тачаев, У.М. Малага РАЗНОЛИГАНДНЫЕ КОМПЛЕКСНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ РОДИЯ (III) С ПИРИМИДИНОВЫМИ, ПУРИНОВЫМИ ОСНОВАНИЯМИ И АСПАРАГИНОВОЙ КИСЛОТОЙ	23
ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ	
А.А. Аваков, А.С. Чепурненко, С.Б. Языев НАПРЯЖЕННО–ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ АРКИ С УЧЕТОМ НЕЛИНЕЙНОЙ ПОЛЗУЧЕСТИ БЕТОНА И.А. Акимов, А.И. Акимов, Е.О. Каракулина ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ	27
НА ВТОРОМ ЭТАПЕ ПРОИЗВОДСТВА КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ МЕТОДОМ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ В УСТАНОВКАХ АВТОМАТИЧЕСКОГО ВЕДЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА (АВТП)  Р.В. Андронов, Б.П. Елькин, Д.А. Гензе ПОНЯТИЕ ЗАТОРА И ФОРМИРОВАНИЕ ОЧЕРЕДЕЙ НА РЕГУЛИРУЕМОМ ПЕРЕСЕЧЕНИИ В УСЛОВИЯХ ПЛОТНОГО	31
ТРАНСПОРТНОГО ПОТОКА С.М. Аульченко, Е.И. Васильева, В.О. Каледин ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА	39
КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧИ ОБТЕКАНИЯ ПРОФИЛЯ КРЫЛА ЛАМИНАРНЫМ ПОТОКОМ ВЯЗКОЙ НЕСЖИМАЕМОЙ ЖИДКОСТИ А.П. Буйносов, Д.С. Денисов СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ИЗНОСА БАНДАЖЕЙ	42
КОЛЕСНЫХ ПАР ЭЛЕКТРОВОЗОВ 2ЭС10 И ВЛ11 А.П. Буйносов, А.М. Кислицын ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ КОЛЕСНОЙ ПАРЫ ПРИ ДВИЖЕНИИ ЭЛЕКТРОВОЗА С ПОМОЩЬЮ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ	47
АСОК-Л А.П. Буйносов, Н.Г. Фетисова ВОССТАНОВЛЕНИЕ РАБОТОСПОСОБНОСТИ	50
БАНДАЖЕЙ КОЛЕСНЫХ ПАР ПРОМЫШЛЕННЫХ ЭЛЕКТРОВОЗОВ С ПОМОЩЬЮ НАПЛАВКИ А.М. Васильев, В.К. Гарипов, В.В. Слепцов ВОПРОСЫ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ	53
В ИНФОРМАЦИОННО - ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ И УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМАХ ГИБКИХ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ПРОИЗВОДСТВ	56
В.В. Воронцов, А.В. Набоков, В.П. Овчинников, С.А. Твердохлеб РЕЗУЛЬТАТЫ КОМПРЕССИОННОГО СЖАТИЯ СЛАБЫХ ВОДОНАСЫЩЕННЫХ ГЛИНИСТЫХ МАКРООБРАЗЦОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ «ГРУНТОВОГО ЗАМКА» В.А. Глушков, Н.А. Бухтоярова, В.В. Бухтояров ГЕТЕРОГЕННЫЕ КОЛЛЕКТИВЫ	60
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ЗАДАЧ МОДЕЛИРОВАНИЯ	66

АННОТАЦИИ	143
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СПЕКТРАЛЬНОЙ ТЕОРИИ ГРАФОВ	140
ЭКСПРЕСС-МЕТОДОМ А.Ю. Тужилкин СЕГМЕНТАЦИЯ СПУТНИКОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ МЕСТНОСТИ	135
ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ НА ВНЕШНИХ ВХОДНЫХ ДОРОГАХ Г. ТЮМЕНИ	125
А.А. Тестешев, Е.Н. Легостаева ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИНТЕНСИВНОСТИ ДВИЖЕНИЯ	
ПРИМЕНЯЕМОГО В ДОРОЖНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ	132
«ТИПРОМ» И «ПЕНЕТРОН» НА СВОЙСТВА ЦЕМЕНТОГРУНТА,	
ОСОБЕННОСТИ, ПРОБЛЕМЫ, РЕАЛИЗАЦИЯ С.П. Санников, А.А. Жигайлов, В.С. Андреев ВЛИЯНИЕ МАТЕРИАЛОВ СЕРИИ	127
АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ.	107
М.В. Пономарёв ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ФАЙЛОВ ФОРМАТА STEP В ПРОЦЕССЕ	
КОНСТРУКЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ	121
АСИНХРОННОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ МАШИНЫ С УЧЕТОМ	
А.В. Петров, А.П. Котельников, И.В. Плохов ДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ	
В ЗАДАЧЕ ОБ АСИМПТОТИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ РАЗНОСТНЫХ СИСТЕМ	118
О.А. Перегудова, Е.А. Кудашова МЕТОД ВЕКТОРНЫХ ФУНКЦИЙ ЛЯПУНОВА	
МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ	114
$T.\Phi$ . Мамедова, $E.A$ . Черноиванова АСИМПТОТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА	111
ГЕОЛОГИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ	111
ВОДО-НЕФТЯНОГО КОНТАКТА ЗАЛЕЖЕЙ ДЛЯ ТРЕХМЕРНЫХ ЦИФРОВЫХ	
Г.И. Лавров, И.Г. Лавров АВТОМАТИЗАЦИЯ ПОСТРОЕНИЯ ПОВЕРХНОСТИ	107
ИЗМЕНЕНИЯ УСТАНОВОЧНЫХ УГЛОВ	107
АЗОТА В ОТРАБОТАВШИХ ГАЗАХ ДИЗЕЛЯ 2Ч 10,5/12,0 В ЗАВИСИМОСТИ ОТ	
В.Н. Копчиков, А.В. Фоминых ВЛИЯНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТАНОЛА И МЕТИЛОВОГО ЭФИРА РАПСОВОГО МАСЛА НА СОДЕРЖАНИЕ ОКСИДОВ	
НЕИНВАЗИВНЫХ СФИГМОМАНОМЕТРОВ  Р. Н. Истиния А. Р. Фолиция В ПИЯНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТАНОЛА	103
РЕАЛИЗАЦИИ КОМПЛЕКТНОГО ПОДХОДА ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ПОВЕРКИ	102
Р.Н. Каратаев, А.И. Сойко, А.И. Хрунина МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ	
МОДЕЛИ СВЕТОДИОДА В СРЕДЕ MULTISIM	99
Денис.Р. Кильмямятов, Диас.Р. Кильмямятов РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ	
С.С. Капитонов, Н.Н. Беспалов, А.В. Капитонова, А.А. Ашрятов,	
РАЗРАБОТКИ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ	92
НАЗНАЧЕНИЯ РЕСУРСОВ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОГО ПРОЦЕССА	
А.В. Иващенко, И.А. Сюсин ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА РИТМИЧНОГО	
В НЕФТЕГАЗОДОБЫВАЮЩЕМ РЕГИОНЕ	89
ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АВТОМОБИЛЕЙ	
Н.С. Захаров, В.А. Ракитин ВЛИЯНИЕ ТИПА ТОПЛИВНОЙ АППАРАТУРЫ НА	83
В МОДИФИЦИРОВАННОМ МЕТОДЕ МАЛОУГЛОВОГО РАССЕЯНИЯ	85
А.А. Жирнов РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО АЛГОРИТМА ОБРАБОТКИ ФАЙЛОВ ЭКСПЕРИМЕНТА И ЕГО ПРИМЕНЕНИЕ	
CUCTEMЫ  A A DECIMAL ADECIMA A	78
ПРОГРАММНЫХ ПРИЛОЖЕНИЙ НА ПРИМЕРЕ МЕНЮ-ДИАЛОГОВОЙ	70
А.И. Еникеев, Махфуд Билал Ахмед Мохаммед МОДЕЛИ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ	
СЛЕДСТВИЙ	74
М.Л. Долженкова, Д.А. Страбыкин ЗАДАЧА АБДУКТИВНОГО ВЫВОДА	
АСИНХРОНИЗИРОВАННОГО ВЕНТИЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ	70
И.В. Гуляев, А.В. Волков, А.А. Попов, Е.Н. Белкина ЭЛЕКТРОПРИВОД НА БАЗЕ	

## THE RELEASE MAINTENANCE

## PHYSICAL AND MATHEMATICAL SCIENCES

A.R. Abdullaev, K.A. Zhitnikova TWO-POINT PROBLEM FOR THE SECOND-ORDER EQUATION IN THE CRITICAL CASE  V.V. Druzhinin, A.A. Lazarev THE THEORY OF PAIRS OF SIXES PRIMES  V.A. Evdokimova, S.V. Lankin FEATURES OF ELECTRIC PROPERTIES OF THE NATURAL ZEOLITES ENRICHED WITH BISMUTH NITRATE  I.A. Pushkarev, V.A. Byzov ARCS OF DONAGHEY'S TRANSFORMATION AND CATALAN'S TRIANGLE	7 11 14 19
CHEMICAL SCIENCE	
N.Y. Esina, M.N. Kurasova, M.V. Tachaev, U.M. Malaga MIXED-LIGAND COMPLEX COMPOUNDS OF RHODIUM (III) WITH PYRIMIDINE, PURINE BASES AND ASPARTIC ACID	23
ENGINEERING SCIENCE	
A.A. Avakov, A.S. Chepurnenko, S.B. Yaziev STRESS-STRAIN STATE OF REINFORCED CONCRETE ARCH CONSIDERING NONLINEAR CREEP OF CONCRETE I.A. Akimov, A.I. Akimov, E.O. Karakulina INVESTIGATION OF HEAT TRANSFER OF	27
THE SECOND PHASE OF PRODUCTION OF COMPOSITE MATERIALS POLYMERIZATION METHODS IN THE INSTALLER AUTOMATICALLY BUSINESS PROCESS (AVTP)  R.V. Andronov, B.P. Elkin, D.A. Genze THE CONCEPT OF CONGESTION AND	31
VEHICULAR QUEUING ON A CONTROLLED INTERSECTION IN HEAVY TRAFFIC S.M. Aulchenko, E.I. Vasilieva, V.O. Kaledin APPLICATION OF FINITE ELEMENT METHOD TO SOLVING PROBLEMS FLOW AIRFOIL LAMINAR VISCOUS	39
INCOMPRESSIBLE FLUID FLOW  A.P. Buinosov, D.S. Denisov COMPARATIVE ANALYSIS OF WEAR BANDAGES  WHEELSETS 2ES10 ELECTRIC LOCOMOTIVES AND VL11	42 47
A.P. Buinosov, A.M. Kislitsyn DETERMINATION OF PARAMETERS OF WHEELPAIR AT MOTION OF ELECTRIC LOCOMOTIVE BY MEANS OF MEASURING SYSTEM ASOK-L	50
A.P. Buinosov, N.G. Fetisova RESTORATION OF RIMS WHEEL INDUSTRIAL ELECTRIC LOCOMOTIVES WITH SURFACING	53
A.M. Vasilyev, V.K. Garipov, V.V. Slepsov ISSUES OF DATA PROCESSING IN INFORMATION - MEASURING AND CONTROL SYSTEMS FLEXIBLE AUTOMATED MANUFACTURING	56
V.V. Voroncov, A.V. Nabokov, V.P. Ovchinnikov, S.A. Tverdokhleb RESULTS OF COMPRESSION PRESSURE WEAK WATER-SATURATED CLAY MACRO SAMPLE USING THE "GROUND LOCK"	60
V.A. Glushkov, N.A. Bukhtoyarova, V.V. Bukhtoyarov HETEROGENIOUS ENSEMBLES OF INTELLIGENT INFORMATION TECHNOLOGIES FOR SIMULATION PROBLEMS	66
I.V. Gulyaev, V.A. Volkov, A.A. Popov, E.N. Belkina BASED ELECTRIC ASYNCHRONOUS BRUSHLESS MOTOR  M.L. Dolzenkova, D.A. Strabykin THE PROBLEM ABDUCTIVE INFERENCE CONSEQUENCES	70 74

143

A.I. Enikeev, Mahfoodh Bilal Ahmed Mohammed THE MODELS FOR SOFTWARE APPLICATION DEVELOPMENT ON THE EXAMLPE OF A MENU – SELECT INTERACTION SYSTEM	78
A.A. Zhirnov DESIGNING COMPUTER-AIDED PROCESSING ALGORITHM FOR EXPERIMENT FILES AND ITS APPLICATION IN MODIFIED SMALL-ANGLE	70
SCATTERING METHOD  N.S. Zakharov, V.A. Rakitin INFLUENCE OF THE TYPE OF FUEL EQUIPMENT ON	85
THE EFFICIENCY OF THE USE OF CARS IN THE OIL AND GAS REGION A.V. Ivaschenko, I.A. Syusin ASSIGNMENT BALANCING TECHNOLOGY FOR	89
EFFECTIVE MANAGEMENT IN SOFTWARE DEVELOPMENT S.S. Kapitonov, N.N. Bespalov, A.V. Kapitonova, A.A. Ashryatov, Denis.R. Kilmyamyatov,	92
Dias.R. Kilmyamyatov DEVELOPMENT OF ELECTRIC MODEL OF LED IN MULTISIM	99
R.N. Karataev, A.I. Soyko, A.I. Hrunina MATHEMATICAL JUSTIFICATION OF THE IMPLEMENTATION OF A COMPLETE APPROACH TO VERIFICATION OF NON-	
INVASIVE SPHYGMOMANOMETERS  V.N. Kopchikov, A.V. Fominih THE EFFECT OF APPLYING METHANOL AND	103
RAPESEED METHYL ESTER ON NITROGEN OXIDES IN THE EXHAUST GASES OF ENGINE 2CH 10.5 / 12.0 DEPENDING ON CHANGES IN THE SET ANGLES	
TIMING OF INJECTION  G.I. Lavrov, I.G. Lavrov AUTOMATION OF THE SURFACE BUILDING OF THE OIL-	107
WATER CONTACT DEPOSITS FOR 3D DIGITAL GEOLOGICAL MODELS T.F. Mamedova, E.A. Chernoivanova ASYMPTOTIC PROPERTIES OF	111
MATHEMATICAL MODELS OF ELECTRICAL CIRCUITS O.A. Peregudova, E.A. Kudashova METHOD OF LYAPUNOV VECTOR FUNCTIONS	114
IN THE PROBLEM ON ASYMPTOTIC STABILITY OF DIFFERENCE SYSTEMS A.V. Petrov, A.P. Kotelnikov, I.V. Plohov DYNAMIC MODELLING OF AN INDUCTION	118
MACHINE WITH CONSIDERING THE CONSTRUCTION PARAMETERS  M.V. Ponomarev THE USE OF STEP FILES IN THE PROCESS OF AUTOMATED	121
TECHNOLOGICAL DESIGN. PECULIARITY, DIFFICULTIES, IMPLEMENTATION S.P. Sannikov, A.A. Zhigailov, V.S. Andreev EFFECT OF MATERIAL SERIES "TIPROM" AND "PENETRON" ON THE PROPERTIES OF GROUND STRENGTHENED BY	127
CEMENT IN ROAD CONSTRUCTION  A.A. Testeshev, E.N. Legostaeva DETERMINING THE INTENSITY OF TRAFFIC AT	132
THE EXTERNAL ENTRANCE ROAD TYUMEN EXPRESS METHODS  A.Y. Tuzchilkin SEGMENTATION OF SATELLITE IMAGERY AREAS WITH THE USE	135
OF SPECTRAL GRAPH THEORY	140

**ABSTRACTS** 

#### ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

01.01.02

#### А.Р. Абдуллаев, К.А. Житникова

Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Факультет прикладной математики и механики, Кафедра «Высшая математика», г. Пермь, h.m.@pstu.ru

#### ДВУХТОЧЕЧНАЯ ЗАДАЧА ДЛЯ УРАВНЕНИЯ ВТОРОГО ПОРЯДКА В КРИТИЧЕСКОМ СЛУЧАЕ

Рассматривается задача  $u''(t)+(\lambda_n-a(t))u(t)=f(t,u,u')+g(t),u(0)=u(\pi)=0$  для значений  $\lambda_n=n^2$ , n - целое u  $n\neq 0$ , являющихся критическими. Для ограниченной функции  $f(\cdot)$  доказана теорема существования решения. Доказательство основано на применении теоремы о разрешимости квазилинейного операторного уравнения c необратимой линейной частью.

Ключевые слова: двухточечная задача, резонанс, уравнение Матье, уравнение Хилла.

Рассмотрим задачу

$$u''(t) + (\lambda_n - a(t))u(t) = f(t, u(t), u'(t)) + g(t), \tag{1}$$

$$u(0) = u(\pi) = 0,$$
 (2)

где  $t \in [0,\pi]$ ,  $\lambda_n$  - действительная константа, функция  $f:[0,\pi] \times R^2 \to R^1$  удовлетворяет условиям Каратеодори,  $a(\cdot)$  и  $g(\cdot)$  - суммируемые функции. Более конкретные условия, в рамках которых рассматривается задача (1)-(2) будут сформулированы ниже.

Задаче (1)-(2) поставим в соответствие однородную задачу

$$\begin{cases} u''(t) + \lambda_n u(t) = 0, \\ u(0) = u(\pi) = 0. \end{cases}$$
(3)

В настоящей работе нас интересуют те значения параметра  $\lambda_n$ , при которых задача (3) имеет ненулевые решения. Нетрудно показать, что таковыми (критическими) значениями являются  $\lambda_n = n^2$ , где  $n = \pm 1, \pm 2, \ldots$  Таким образом, будем рассматривать резонансный [1] (или критический) случай задачи (1)-(2).

Частные случаи уравнения (1) интенсивно изучаются в теории нелинейных колебаний [2,3]. Специальный случай уравнения (1), а именно

$$u''(t) + (\lambda_n + a(t))u(t) = 0$$
(4)

с периодической функцией  $a(\cdot)$  известен, как уравнение Хилла, а в случае  $a(t) = \alpha \cos(\gamma t)$ , уравнение (4) называется уравнением Матье. Эти уравнения достаточно подробно исследованы и представляют значительный прикладной интерес.

Ведем следующие обозначения:

 $L_2 = L_2 \left[0; \pi \right]$  - пространство суммируемых по Лебегу с квадратом функций  $u \colon \left[0; \pi \right] o R$  ,

с нормой 
$$||u|| = \left(\int_{0}^{\pi} (u(s))^{2} ds\right)^{1/2};$$

 $W=W\left[0;\pi\right]$  - пространство функций  $u:\left[0;\pi\right]\to R$ , абсолютно непрерывных вместе с первой производной, таких, что  $u''\in L_2$ . Норму в пространстве W определим равенством  $\|u\|_{w}=\left|u\left(0\right)\right|+\left|u'\left(0\right)\right|+\left|u''\left(t\right)\right\|$ .

Рассмотрим пространство  $W_0 = \{u \in W \, / \, u(0) = u(\pi) = 0\}$ , являющееся подпространством W. Под решением задачи (1)-(2) будем понимать элемент пространства  $W_0$ , удовлетворяющий уравнению (1).

Приведем вспомогательные конструкции и утверждения, которые нам потребуются для доказательства основного утверждения. На пространстве  $W_0$  уравнение (1), а, следовательно, и задачу (1)-(2), будем рассматривать как операторное уравнение

$$Lu = Fu (5)$$

где линейный оператор  $L\colon W_0\to L_2$  и непрерывный оператор  $F\colon W_0\to L_2$  определим равенствами

$$(Lu)(t) = u''(t) + n^2u(t), (Fu)(t) = a(t)u(t) + f(t,u(t),u'(t)) + g(t).$$

Таким образом, в задаче (1)-(2) исследуется резонанс относительно однородной задачи (3). При этом слагаемое с функцией  $a(\cdot)$  рассматривается как возмущение критического значения параметра  $\lambda_n = n^2$ .

Обозначим через KerL и R(L) соответственно ядро и образ оператора  $L\colon W_0\to L_2$ .

**Лемма.** Оператор  $L\colon W_0\to L_2$  является фредгольмовым с одномерным ядром  $KerL = \left\{C\sin\left(nt\right), C\in R^1\right\} \text{ и образом } R\left(L\right) = \left\{y(t)\in L_2 \ / \int\limits_{s}^{\pi} \sin\left(ns\right)y(s)\,ds = 0\right\}.$ 

**Доказательство.** Тот факт, что ядро оператора состоит из функций вида  $C \sin(nt)$ , где C - произвольная константа, очевиден. Проверим справедливость второго утверждения леммы. Рассмотрим полуоднородную задачу

$$\begin{cases} u''(t) + n^2 u(t) = y(t), \\ u(0) = u(\pi) = 0, \end{cases}$$

где  $y \in L_2$ . Если u(t) является решением только уравнения, то справедливо представление

$$u(t) = C_1 \sin(nt) + C_2 \cos(nt) + \frac{1}{n} \int_0^t \sin n(t-s) y(s) ds,$$

где  $C_1, C_2$  - константы. С учетом условия (2) получим, что полуоднородная задача имеет решение для тех  $y \in L_2$ , для которых выполняется условие

$$\int_{0}^{\pi} \sin(ns) y(s) ds = 0.$$

Следовательно,  $R(L) = \left\{ y(t) \in L_2 / \int_0^\pi \sin(ns) y(s) ds = 0 \right\}$ . Это означает, что R(L) в  $L_2$  имеет одномерный дефект, т.е. оператор L является фредгольмовым. Лемма доказана.

Можно показать, что оператор  $P:W_0 \to W_0$ ,  $Pu = \frac{1}{n}u'(0)\sin(nt)$ , является проектором на KerL. Рассмотрим соответствующее выбранному проектору P разложение  $W_0 = KerL \oplus X_0$ , и положим для  $x \in W_0$ ,  $x = u_0 + \omega$ ,  $u_0 \in X_0$ ,  $\omega \in KerL$ .

Для доказательства разрешимости исходной задачи воспользуемся теоремой существования решения операторного уравнения (5) с необратимым оператором L из

работы [1]. Сформулируем утверждения в том виде, в котором нам потребуется для доказательства основного результата.

**Теорема 1**. Пусть выполнены условия:

- 1) оператор L нетеров;
- 2) оператор F вполне непрерывен и ограничен;
- 3) существуют такие числа  $\gamma, \delta \ge 0$ , что для каждого элемента  $u_0 \in W_0$  существует элемент  $\omega \in KerL$ , удовлетворяющий требованиям

$$F(u_0 + \omega) \in R(L), \|\omega\| \le \gamma \|u_0\| + \delta.$$

Тогда операторное уравнение Lu = Fu имеет хотя бы одно решение.

Отметим, что в теореме 1 ограниченность оператора F понимается как ограниченность образа этого оператора.

Теорема 2. Пусть выполнены условия:

- 1)  $\lambda_n = n^2$ , где  $n = \pm 1, \pm 2...$ ;
- 2)  $\int_{0}^{\pi} \sin^{2}(nt) a(t) dt \neq 0;$
- 3) функция f ограничена, т.е. M>0, что  $\left|f\left(t,u,v\right)\right|\leq M$  почти всюду на  $\left[0,\pi\right]$  и  $\left(u,v\right)\in R^2$ .

Тогда задача (1)-(2) имеет хотя бы одно решение для произвольного  $g \in L_2$ .

**Доказательство.** Проверим выполнение условий теоремы 1. Условие 1) выполнено в силу утверждения леммы. Очевидно, что оператор F - вполне непрерывен. Проверим выполнение условия 3) теоремы 1. С учетом леммы вложение  $F\left(u_0 + \omega\right) \in R(L)$  эквивалентно выполнению равенства

$$\int_{0}^{\pi} \sin(nt) \left(a(t) \left(u_{0}(t) + C\sin(nt)\right) + f\left(t, u_{0}(t) + C\sin(nt), u_{0}'(t) + Cn\cos(nt)\right) + g(t)\right) dt = 0,$$
 где  $\omega(t) = C\sin(nt)$ .

Докажем, что при произвольно фиксированном  $u_0 \in X_0$  это уравнение имеет решение

$$C = C(u_0)$$
. Положим  $k = \int_{0}^{\pi} \sin^2(nt) a(t) dt$ ,  $g_0 = \int_{0}^{\pi} \sin(nt) g(t) dt$ ,

 $f_0(C) = \int_0^\pi \sin(nt) f(t, u_0(t) + C\sin(nt), u_0'(t) + Cn\cos(nt)) dt$  и рассмотрим уравнение

$$kC = -\left(\int_{0}^{\pi} \sin(nt)a(t)u_0(t)dt + f_0 + g_0\right)$$

относительно С. Так как функция f ограничена и  $k \neq 0$ , то это уравнение имеет решение для любого фиксированного  $u_0 \in X_0$ . Оценим норму соответствующего элемента  $\omega \in \mathit{KerL}$ . Для этого сначала оценим константу C. Имеем

$$|C| \le \frac{1}{|k|} \left( \left| \int_{0}^{\pi} \sin(nt) a(t) u_{0}(t) dt \right| + \pi M + |g_{0}| \right)$$

Оценим интеграл, входящий в первое слагаемое. Так как

$$|u_{0}(t)| \leq t |u'_{0}(0)| + \left(\frac{t^{3}}{3}\right)^{\frac{1}{2}} ||u''_{0}|| \leq \frac{\pi^{\frac{3}{2}}}{\sqrt{3}} ||u_{0}||_{W}, \text{ TO}$$

$$\left|\int_{0}^{\pi} a(t)u_{0}(t)\sin(nt)dt\right| \leq \frac{\pi^{\frac{3}{2}}}{\sqrt{3}} ||a|| ||u_{0}||_{W}.$$

Поэтому 
$$|C| \le \frac{1}{|k|} \left( \frac{\pi^{\frac{3}{2}}}{\sqrt{3}} \|a\| \|u_o\|_W + \pi M + |g_0| \right).$$

Теперь оценка элемента ядра принимает вид

$$\|\omega\| \le |C| \left( |n| + |n^2| \sqrt{\frac{\pi}{2}} \right) \le \frac{1}{|k|} \left( |n| + n^2 \sqrt{\frac{\pi}{2}} \right) \left( \frac{\pi^{\frac{3}{2}}}{\sqrt{3}} \|a\| \|u_0\|_W + \pi M + |g_0| \right),$$

т.е. справедливо требуемое неравенство вида  $\|\omega\| \le \gamma \|u_0\|_w + \delta$ .

Теорема доказана.

В заключении отметим, что выполнение условия  $\int_{0}^{\pi} \sin^{2}(nt) a(t) dt \neq 0$  является принципиальным для разрешимости задачи (1)-(2) при произвольном  $g \in L_{2}$ .

#### Список литературы

- 1. *Абдуллаев А.Р. Бурмистрова А.Б.* Об одной схеме исследования на разрешимость резонансных краевых задач // Известия высших учебных заведений. Математика. 1996, №11. С14-22.
- 2. Бидерман В.Л. Теория механических колебаний, М.: Высшая школа, 1980. 408 с.
- 3. *Хаяси Т.* Вынужденные колебания в нелинейных системах, М. : изд-во иностр. лит-ры, 1957. 204 с.

01.01.06

#### В.В. Дружинин, А.А. Лазарев

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Саровский физико-технический институт, г. Capoв, vvdr@newmail.ru

#### ТЕОРИЯ ПАР-ШЕСТЕРОК ПРОСТЫХ ЧИСЕЛ

Построено решето типа Эратосфена для генерации пар простых чисел с расстоянием между ними в шесть единиц. Выявлены буферные зоны и показано, что таких пар на числовой оси бесконечное количество.

Ключевые слова: решето Эратосфена, функция Эйлера, вероятность.

Анализ свойств простых чисел  $p \in \mathbb{P}$  (ПЧ) во многом упрощается, если рассматривать различные объединения ПЧ  $\{p_i\}$ : близнецы  $\{p_i; p_{i+1} = p_i + 2\}$ ; пары-четверки  $\{p_i; p_{i+1} = p_i + 4\}$ ; квартеты ПЧ — две пары близнецов, разделенные составным числом s, и другие образования. Недавно опубликованная статья И. Чана [1] о парах ПЧ, разделенных набором из 70000000 составных чисел, называют прорывом в решении ряда проблем теории чисел. Нами в работах [2,3,4] создано решето генерации пар-близнецов, пар-четверок и квартетов, и доказано их бесконечное количество на числовой оси. В данной работе получено решето типа решета Эратосфена для генерации пар-шестерок (ПШ) ПЧ и доказывается, то таких ПШ на числовой оси бесконечное количество.

Под ПШ понимается образование из четырех последовательных нечетных чисел, крайние из которых есть ПЧ, а стоящие между ними два числа являются составными. Например,  $\{23; 25; 27; 29\}$ . Разность между последовательными ПЧ в ПШ  $p_{i+1} - p_i = 6$ . Для генерации ПШ мы выделяем два типа четных чисел – центров ПШ:  $A(m, \hat{k})$  и  $B(m, \hat{k})$ , которые дают два крайних ПЧ  $(A(m, \hat{k}) \pm 3)$  и  $(B(m, \hat{k}) \pm 3)$ . При этом  $(A(m, \hat{k}) \pm 1)$  и  $(B(m, \hat{k}) \pm 1)$  составные числа. Отличие между типами A и B состоит в том, что  $A \equiv 2 \pmod{3}$ , а  $B \equiv 1 \pmod{3}$ .

Для нахождения возможного центра ПШ типа А берем любое такое число и рассматриваем (A-1). Если (A-1):p, то на роль  $A(m,\hat{k})$  претендуют все A(k)= $(A+6p)+6pk, k \in \mathbb{N} \cup \{0\}$ . Действительно, (A(k)-1) : p, (A(k)+1) : 3, т. е. ближайшееокружение центра A(k) есть составные числа. Это необходимое условие. Первое такое число A(1,0) = 26. Составляем арифметическую прогрессию (АП) чисел  $\{A(1,k) = 26 + 30k\}$ , которые могут быть центрами ПШ. Достаточным условием является  $\{A(1,k)\pm 3\}\in \mathbb{P}$ . Для удаления плохих k надо решать диофантовы уравнения  $26 \pm 3 + 30k = p_n t$ ,  $t \in \mathbb{N}$ . Тут ПЧ  $p_n$  начинаются с  $p_1=7$ ,  $p_2=11$ ,  $p_3=13$ , ... . На каждое ПЧ приходится две АП плохих  $\bar{k}$ , которые надо убрать из  $\{A(1,k)=26+30k\}$ . Оставшиеся индексы  $\hat{k}$  дают ПШ  $\{26+30\hat{k}\pm$ 3}. Если проверяются ПЧ последовательно от  $p_1=7\,$  до  $p_N,\,$  то  $A\!\left(m,\hat{k}\right)<\,p_{N+1}^2.$  Другими словами, есть первая буферная зона – отрезок  $F_n = [0, f_n]$ , на котором все не удаленные индексы k есть хорошие  $\hat{k}$ . Если мы знаем число  $p_{N+1}$ , то  $f_n = [(p_{N+1}^2 - A(1,k) + 3)/30]$ . брать (возможно) ОНЖОМ знаем  $p_{N+1}$ , to  $f_n = [(p_N^2 + 4p_N - A(1, k) + 7)/30].$   $f_n$  наибольшее целое число, не превышающее значение в квадратных скобках. Далее мы будем пользоваться этой формулой.

Пример. Учитываем ПЧ  $\{7;11;13;17\}$ . Восемь АП имеют вид  $\bar{k}=3+7(t-1);\ \bar{k}=6+7(t-1);\ \bar{k}=4+11(t-1);\ \bar{k}=6+11(t-1);\ \bar{k}=4+13(t-1);\ \bar{k}=9+13(t-1);\ \bar{k}=3+17(t-1);\ \bar{k}=10+17(t-1)$ . Граница  $f_4=11$ . Удаляя плохие  $\bar{k}=\{3;4;6;9;10\}$  на отрезке  $F_4=[0,\ 11]$ , находим  $\hat{k}=\{0;1;2;5;7;8;11\}$ , которые дают первые семь ПШ  $\{23;29\},\{53;59\},\{83;89\},\{173;179\},\{233;239\},\{263;269\},\{353;359\}$ .

Кроме АП  $\{26+30\hat{k}\pm 3\}$  генерирующую ПШ, можно написать и другие такие последовательности. Рассмотрим центр A(2;0) = 50. Его ближайшее окружение есть  $\{49;51\}$ , т.е. подходит для ПШ. Тут возникают две АП для центров ПШ:  $2 \cdot 7 \cdot 3 = 42$  и  $2 \cdot 7 \cdot 17 = 238$ . Для примера возьмем АП A(2,k) = 50 + 42k. Действительно, (50 + 42k - 42k)1) : 7, (50 + 42k + 1) : 3 — составные числа. Плохие индексы  $\bar{k}$  находятся из решения диофантовых уравнений  $(50 + 42k \pm 3)$ : p, где  $p = \{5; 11; 13; 17; ... \}$ . Их решение для первых трех ПЧ имеет вид:  $\bar{k} = 1 + 5(t-1)$ ;  $\bar{k} = 4 + 5(t-1)$ ;  $\bar{k} = 7 + 11(t-1)$ ;  $\bar{k} = 7 + 11(t-1)$  $10+11(t-1); \ \bar{k}=4+13(t-1); \ \bar{k}=6+13(t-1).$  На  $F_3=[0,\ 5]$  удаляются  $\bar{k}=\{1;4\},$  $\hat{k} = \{0; 2; 3; 5\},\$ остаются хорошие дающие четыре ПШ {47; 53}, {131; 137}, {173; 179}, {257; 263}.

Что касается центров вида В, то действия с ними происходят аналогично. Первый такой центр B(1;0) = 34 с ближайшим окружением  $\{33;35\}$ . Отсюда разность одной АП для центров ПШ  $2 \cdot 3 \cdot 5 = 30$ , для второй АП -  $2 \cdot 3 \cdot 7 = 42$ , для третьей АП -  $2 \cdot 11 \cdot 5 = 110$ , для четвертой АП -  $2 \cdot 11 \cdot 7 = 154$ . Возьмем первый случай B(1,k) = 34 + 30k. В диофантовы уравнения вида (31+30k) : p и (37+30k) : p входят  $p=\{7;11;13;17;...\}$ . Их решения дают такие плохие  $\bar{k}$ :  $\bar{k} = 2 + 7(t-1)$ ;  $\bar{k} = 6 + 7(t-1)$ ;  $\bar{k} = 3 + 11(t-1)$ 1);  $\bar{k} = 5 + 11(t-1)$ ;  $\bar{k} = 2 + 13(t-1)$ ;  $\bar{k} = 7 + 13(t-1)$ . Гарантированный отрезок, на остаются толь хорошие k, определяется следующим  $p=17: \lceil (17^2-31)/30 \rceil = 8. \lceil 0,8 \rceil$  содержит плохие  $\bar{k}=\{2;3;5;6;7\}$ . Оставшиеся четыре хорошие  $\hat{k}$  дают четыре новые ПШ: {31; 37}, {71; 77}, {151; 157}, {271; 277}.

Вопрос о конечном или бесконечном количестве таких пар без ответа ставился в книге [5]. Покажем на примере A(1,k), что ПШ бесконечное количество. Берем набор nпоследовательных ПЧ  $D_n=\{p_1=7;\ p_2=11;p_3=13;\ p_4=17;...;p_n\}$ . Во второй буферной зоне – отрезке  $[1, T_n]$ , где  $T_n = \prod_{k=1}^n p_k$ , АП, которых 2n для плохих  $\bar{k}$ , не удаляются по обобщенной функции Эйлера  $C_n = \prod_{k=1}^n (p_k - 2)$  чисел [6]. Например, для  $p_1 = 7$  и  $p_2 = 11$ на отрезке [1,77] не удаленных чисел остается 45. Отсюда, вероятность того, что на отрезке  $D_n$  найдется не удаленное  $k,\ W_n = C_n/T_n = \prod_{k=1}^n (1-(2/p_k))$ . Поскольку  $p_k \ge 7$ , то справедливо неравенство  $ln(1-(2/p_k)) > -(3/p_k)$ . После этого можно записать очевидную систему неравенств

$$lnW_n = \sum_{k=1}^n ln\left(1 - \frac{2}{p_k}\right) > -3\sum_{k=1}^n \frac{1}{p_k} = -3(lnlnp_n + C - 1,03). \tag{1}$$

В (1) С – константа Лагранжа-Чебышева [7, 8, 9]. Отсюда следует, что, обозначив (С –  $(1,03) = lnK, W_n > (1/(K^3 ln^3(p_n)))$ . Далее обратимся к первой буферной зоне. Она лежит внутри второй буферной зоны и в ней все не удаленные k есть хорошие  $\hat{k}$ . Их число  $E_n$ равно числу ПШ в первой буферной зоне. По теории вероятностей это число  $\tilde{E}_n$  есть произведение длины первой буферной зоны  $f_n$  на вероятность  $W_n$ , т.е.  $\tilde{E}_n > \frac{(p_N^2 + 4p_N - A(1,k) + 7)}{30 \cdot K^3 \ln^3(p_N)} \, .$ 

$$\tilde{E}_n > \frac{(p_N^2 + 4p_N - A(1,k) + 7)}{30 \cdot K^3 \ln^3(p_N)}. \tag{2}$$

Поскольку предел (2) при  $N \to \infty$  равен бесконечности, то это доказывает бесконечное количество ПШ. Данная логическая схема проверена нами в компьютерных расчетах плоть до  $p_n = 10^6$ .

Автор благодарит профессора Шевяхова Н.С. и доцента Холушкина В.С. за интерес к работе и полезные обсуждения.

#### Список литературы

- 1. Yitang Zhang. Annals of Mathematics, 1014, v.179, 3, p. 1121-1174.
- 2. Дружинин В.В. НТВП, 2014, № 1, стр. 22-25.
- 3. Drushinin V.V., Lazarev A.A., Sirotkina A.G. Life Science Journal, 2014, v. 11(10s), p. 346-348.
- 4. Дружинин В.В., Лазарев А.А. НТВП, 2014, № 4, стр. 19-21.
- 5. Серпинский В. Что мы знаем о простых числах. М., ГИФМЛ, стр. 30.
- 6. Drushinin V.V., Lazarev A.A. Austrian Journal of Technical and Natural Sciences, 2014, № 9-10, p. 29-31.
- 6. Dicson L. (E). History of the Theory of Numbers, v. II, CPC, NewYork, 1971.
- 7. Сизый С.В. Лекции по теории чисел, М., ФИЗМАТГИЗ, 2007.
- 8. Сушкевич А.К. Теория чисел, Харьков, 1956, стр. 181.

01.04.07

14

#### В.А. Евдокимова, С.В. Ланкин

Благовещенский государственный педагогический университет, физико-математический факультет, кафедра общей физики, Благовещенск, 89246717268, iris\_87@mail.ru

#### ОСОБЕННОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПРИРОДНЫХ ЦЕОЛИТОВ ОБОГАЩЕННЫХ НИТРАТОМ ВИСМУТА

В работе представлены результаты исследований электрических и диэлектрических свойств цеолитов Амурской области обогащенных нитратом висмута в интервале температур 20-300 °C. Построены графики температурных зависимостей сопротивления и тангенса потерь. Фазовый переход не обнаружен.

Ключевые слова: цеолиты, соль висмута, сопротивление, тангенс потерь.

В последнее время особое значение приобретают композиционные материалы с микро - и наноразмерными наполнителями. Это связано с тем, что такие материалы являются перспективными ДЛЯ развития компьютерной электроники. Однако применение наноразмерных материалов ограничено. Так, в результате их внедрения в матрицу, из-за высокой химической активности наночастицы образуют крупные агломераты и распределяются не равномерно, что приводит к уменьшению ожидаемого эффекта. Полученные композиты на основе наноразмерных матриц с введенными в поры проводящими материалами теряют ценные свойства, это связано с размерами и геометрической сеткой пор. Кроме того, существенную роль играют степень заполнения пористой матрицы, взаимодействие частиц со стенками матрицы и между собой [1]. Соответственно вызывают интерес: способы получения композиционных материалов с равномерным распределением микро – и наночастиц внутри матрицы, а также исследования их влияния на электрические свойства.

На кафедре физики и методики обучения физике Благовещенского государственного педагогического университета в течение 15 лет проводятся исследования различных способов модифицирования пористых материалов - природных цеолитов (клиноптилолит, морденит) наноразмерными добавками (Na, Li, K, Ca, Cu, C) и их влияние на физические свойства. Исследования проводятся по созданию технологий утилизации твердых отходов производства и получения материалов различного назначения: для очистки воды, технической керамики, использование в строительстве, животноводстве, медицине и т.д.

Цель настоящей работы - комплексное исследование влияния примесей солей висмута (нитрата висмута) на электрические и диэлектрические свойства цеолитов в интервале температур  $20\text{--}300~^{\circ}\text{C}$ .

В качестве объектов исследование были выбраны образцы цеолитов Куликовского и Вангинского месторождений (клиноптилолит, морденит) Амурской области [8], модифицированные солью висмута  $Bi(NO_3)_3$ .

Природные цеолиты представляют кристаллические водные алюмосиликаты, содержащие в качестве катионов элементы I и II групп периодической системы (Na, K, Mg, Ca, Sr, Ba). Эти минералы относят к группе каркасных алюмосиликатов, образуемые при сочленении через общие вершины тетраэдров  $AIO_4$  и  $SiO_4$ . Подробно структура и состав цеолитов приведены в работах [2-5]. Известно, что каркасы цеолитов являются хорошими диэлектриками типа кварца [1]. Ионная проводимость может быть около  $1500 \text{ m}^2/\text{cm}^2$ . При давлении выше критических жидкие металлы, введенные в каналы цеолитов, и могут образовать регулярные решетки, повторяющие конфигурацию каналов и полостей каркаса. Заполняя металлами каналы цеолитов можно получить металлические нити диаметром 0,7-1,5 нм, отделенных друг от друга слоем диэлектрика 20-50 нм. На таких тонких кристаллах

должно наблюдаться снижение точки плавления металла, металлический температурный ход сопротивления, фазовые переходы и т. д.

Сведения об основных физико-химических и технологических свойствах цеолитов Амурской области приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Основные физико-химические свойства цеолитов Амурской области [1-3]

No	Физические свойства	Значение
1	Si/Al	~ 4,8
2	Размеры пор, нм	0,28 - 0,80
3	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	1900 - 2300
4	Пористость, %	14 – 30 (~ 48)
5	Свободный объем, %	18 - 68
6	Влагосодержание	9 - 17
7	Удельная поверхность, м <sup>2</sup> /кг	$(2,3-3,4)\cdot10^5$
8	Коэффициент пористости	0,8
9	Число пластичности	25,8
10	Механическая прочность, МПа	24,5 - 53,9
11	Термическая стойкость (°C)	400
12	Содержание вредных примесей	Не превышает ПДК
13	Температуропроводность, $(m^2/4)$	13,02·10 <sup>-4</sup>
14	Коэффициент влагопроводности, $(M^2/4)$	2,74·10 <sup>-4</sup>
15	Сингония кристаллов	Клиноптилолит - моноклинная Морденит -
		ромбическая
16	Удельное электросопротивление, $(Om \cdot m^2)$	10 <sup>8</sup> - 10 <sup>10</sup>
17	Диэлектрическая проницаемость	$1 \cdot 10 \div 1 \cdot 10^3$
18	Тангенс потерь	0,1-0,5
19	Теплопроводность, Вт/м-К	0,9

На рис. 1 представлен энергодисперсионный спектр образцов морденита, из которого хорошо виден состав и структура местного природного цеолита Куликовского месторождения.

Нитрат висмута ( $Bi(NO_3)_3$ ) или азотнокислый висмут, неорганическое соединение, соль металла висмута — бесцветные кристаллы, гидролизуются водой, устойчив в подкисленных растворах. Образует кристаллогидрат состава  $Bi(NO_3)_3 \cdot 5H_2O$ , который плавится при температуре 75°C в собственной кристаллизационной воде. Кристаллогидрат имеет следующую структуру  $[Bi(H_2O)_3(NO_3)_3] \cdot 2H_2O$ .

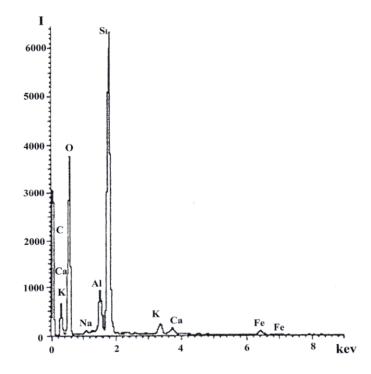


Рис. 1 – Энергодисперсионный спектр морденита

Методика обработки минеральными солями висмута описана ниже. Отобранные пробы цеолитов измельчались и просеивались через сито фракцией до 0,25 мм [3,4,6,7]. Брались 5 частей цеолита и 20 частей водного 1% раствора соли  $Bi(NO_3)_3$ . Всё это помещалось в колбу. В смесь добавлялись несколько капель НNO3 (для ускорения реакции и устранения мутного осадка). В течение суток осуществлялось перемешивание на магнитной мешалке. Далее раствор отфильтровывался, высушивался при температуре 60°C в течение 5 часов. Далее, из модифицированного порошка цеолита изготавливались прессованные образцы по методике, описанной в работе [4,7]. Опытным путем по измерениям электросопротивления цеолитовых образцов было установлено, что содержание солей висмута 1 весовой % и более не влияло на показания сопротивления (0,6 ГОм). Таким образом, в качестве исследуемых образцов были выбраны поликристаллы содержащие нитрат висмута 1 весовой %. Толщина таблеток 5 мм, диаметр 15 мм. Отбирались поликристаллические таблетки, не имеющие трещины, расслоения.

На рис. 2 представлена электронная фотография, полученная с помощью растрового электронного микроскопа (РЭМ) поверхности образцов клиноптилолита обогащенная нитратом висмута. Можно отметить неравномерное распределение кристаллов солей висмута на поверхности клиноптилолита.

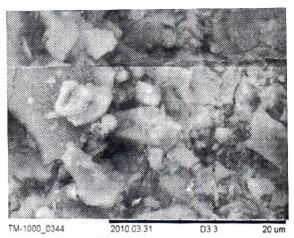


Рис. 2 – Поверхность клиноптилолита обогащенная нитратом висмута

Перед проведением эксперимента все образцы подвергались обезвоживанию. Возможность электрических измерений приготовленных образцов обусловлена: хорошим качеством сцепления гранул при сухом прессовании, соразмерностью зерен во фракциях, позволяющих считать поликристаллы однородными, изотропными. Для получения низкоомных электрических контактов с образцом на базисные поверхности таблеток наносилась электропроводящая паста: серебряная (графитовая). Измерения сопротивления проводились по трехэлектродной методике в специальной ячейке с помощью тераомметра E6-13A с рабочим напряжением 10 (100) В в интервале температур 20-300°С. Контроль температуры осуществлялся цифровым измерителем Center-311. Температурная стабилизация составляла порядка 1 градуса. Общая погрешность определяемой электропроводности не превышала 10 %. Эксперимент на переменном токе (частота 1 кГц) проводился с помощью измерителя импеданса Е7-14. Измерялась емкость (из которой потом вычислили диэлектрическую проницаемость в) и тангенс диэлектрических потерь  $tg\delta$ . Погрешность измерений для е составляла 5 %, и для  $tg\delta$  - 10 %. Методика электрических измерений на постоянном и переменном токах приведены в работах [4,6,7].

Интервал температур был выбран 20-300°C потому, что висмут плавится при температуре  $270^{\circ}$ С и на температурной зависимости R(t) ожидалось увидеть фазовый переход с резким изменением сопротивления в точке плавления.

Графическая температурная зависимость образцов морденита (клиноптилолита) приведена на рис. 3.

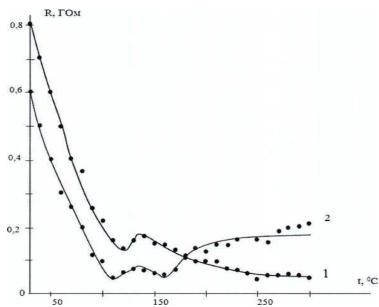


Рис. 3 - Температурная зависимость сопротивления образцов: 1) чистый морденит; 2) морденит с добавками висмута (1 вес. %) на постоянном токе

Качественно электропроводность для цеолитов, модифицированных солями висмута можно объяснить следующим образом. В начале температурного хода электропроводность растет (сопротивление падает). Ионы висмута, имея радиус 0,12 нм, который намного меньше радиуса пор цеолитов (0,7 нм), участвует активно в переносе заряда вместе с молекулами воды. В интервале температур 100-150 °C рост проводимости замедляется, что можно объяснить разложением нитрата висмута на оксид и диоксид висмута. Дальнейший рост температуры сопровождается ростом концентрации молекул диоксида, рассеянием катионов на них, как на дефектах. В области 250-300°C проводимость почти не меняется. В точке плавления висмута 270°C резкого изменения проводимости не наблюдается.

Одновременно, при закупоривания пор цеолита молекулами диоксида висмута, происходит адсорбция, которая также уменьшает проводимость до определенного значения, что связано с уменьшением подвижности носителей зарядов - обменных катионов (основных носителей заряда). В порах, очевидно, висмут плавится в виде отдельных кластеров, которые являются центрами рассеивания носителей заряда. Введение молекулы соли висмута можно рассматривать как наночастицы. Вблизи точки плавления появляются твердая и жидкая фазы, теряющие стабильность. В этой области, очевидно, происходит выход структурных дефектов, химических примесей. Возможно, все это вместе тормозит уменьшение проводимости цеолитов в области 250-300°C. Рассчитанная энергия активации проводимости уменьшились: в интервале 30-150°C  $\Delta W$ = 0,4 эВ, а в области 150-350°C возросла  $\Delta W$ = 0,6 эВ.

Графические зависимости  $tg\delta$  (рис. 4) показывают, что для кривой 1 (цеолит чистый) рост  $tg\delta$  с температурой протекает медленно, а для 2-го случая — быстро. Как видно из рис. 4, влияние диэлектрических потерь растет с ростом температуры. Потери ничтожно малы у материалов с высоким сопротивлением. Однако не нужно забывать о выходе молекул воды из цеолитов и разложением солей висмута. Потери в цеолите могут быть завышенными за счет адсорбированной влаги при наличии открытой пористости и движения слабосвязанных катионов, обусловленные электропроводностью.

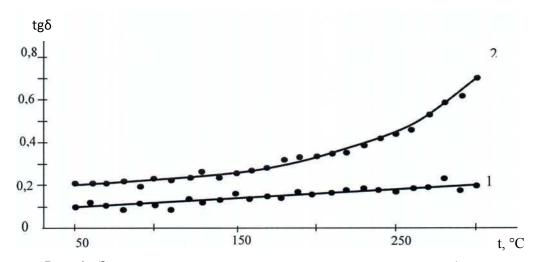


Рис. 4 - Зависимость тангенса потерь от температуры для образцов: а) клиноптилолит без примесей; б) клиноптилолит с содержанием висмута

Таким образом, в результате исследований было установлено, что соли висмута, введенные в поры цеолитов не приводят к фазовому переходу, зависимости R, tg $\delta$  вблизи температуры плавления висмута  $270^{\circ}$ С. В области температур  $100\text{--}300^{\circ}$ С соли висмута  $Bi(NO_3)_3$ , внедренные в поры цеолитов с ростом температуры медленно разлагаются, превращаясь в молекулы оксида (диоксида) висмута, которые уменьшают концентрацию и подвижность обменных катионов и тем самым уменьшают проводимость.

#### Список литературы

- 1. *Богомолов*, B.H. Жидкости в ультратонких каналах (нитяные и кластерные кристаллы)/ В.Н. Богомолов // УФН. 1978. Т. 124. вып.1 С. 171-182.
- 2. Брек, Д. Цеолитовые молекулярные сита/Д. Брек.-М.: Мир, 1976. -781 с.
- 3. *Евдокимова*, *В.А*. Влияние адсорбированных молекул 3,4-бензпирена на электропроводность клиноптилолита и его ионозамещенных форм / В.А. Евдокимова, Л.П. Карацуба, С.В. Ланкин // Известия Самарского НЦ РАН. -2011. Т. 13. №6. С. 77-81
- 4. *Колесникова, Л.Г.* Ионный перенос в клиноптилолите: монография / Л.Г. Колесникова, С.В. Ланкин, В.В. Юрков. Благовещенск: Изд-во БГПУ, 2007. 113 с.
- 5. *Korkuna, O.* Structural and physicochemical properties of natural zeolitesi clinoptilolite and mordenite / O. Korkuna, R. Leboda, J. Skubizewska-Zieba // Microporous and Mesoporous Materials. 2006. Vol.87. p. 243-254.
- 6. *Ланкин*, *С.В.* Электропроводность клиноптилота и его ионообменных форм / С.В. Ланкин, В.В. Юрков // Перспективные материалы. -2006. №5. -C.59-62.
- 7. *Ланкин, С.В.* Физические методы исследования адсорбции ПАУ пористыми материалами: монография / С.В. Ланкин, В.А. Евдокимова, Л.П. Карацуба. Благовещенск: Изд-во БГПУ, 2013.- 148 с.
- 8. *Юрков, В.В.* Цеолиты Амурской области / В.В. Юрков, С.В. Ланкин, С.В. Барышников, Л.Г. Колесникова // Вестник ДВО РАН. 2004. №1. С.69-79.

01.01.09

#### И.А. Пушкарёв к.ф.-м.н., В.А. Бызов

Вятский государственный университет, факультет прикладной математики и телекоммуникаций, кафедра прикладной математики и информатики, Киров, vbyzov@yandex.ru

#### ДУГИ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ДОНАХЬЮ И ТРЕУГОЛЬНИК КАТАЛАНА

В работе рассмотрены специфические фрагменты орбит преобразования Донахью и отмечены некоторые количественные свойства этих фрагментов. Кроме того, приведены эмпирические данные, полученные прямолинейным компьютерным моделированием. Эти данные позволили сформулировать ряд гипотез, некоторые из которых удалось доказать.

Ключевые слова: *преобразование Донахью*, *плоское кубическое дерево*, числа Каталана, баллотировочные числа.

В данной работе рассмотрены свойства одного преобразования плоских деревьев, по-видимому, впервые определенного Р. Донахью.

В статье [1] он определил это преобразование для плоских кубических деревьев и некоторых других комбинаторных интерпретаций чисел Каталана.

Позднее данное преобразование неоднократно переоткрывалось другими зарубежными авторами в работах [2,3,4,5]. Общим свойством этих работ является относительно небольшое число и сложность доказанных утверждений и (напротив) большое число недоказанных, но крайне интригующих гипотез. Это обусловлено очень сложной («фрактальной», «хаотичной») природой рассматриваемого преобразования.

Авторы данной статьи рассмотрели это преобразование в серии работ, изложение важнейших основных результатов которых содержится в [6,7].

Символом  $C_n$  далее будет обозначаться n-ый член последовательности чисел Каталана:

$$C_n = \frac{1}{n+1} \binom{2n}{n}.$$

Приведём для краткости не формальное определение, а наглядное описание преобразования Донахью для плоских кубических деревьев с висячим корнем. При этом будет использоваться разбиение дерева на составляющие, которые назовём *триадами*. Под *триадой* будем понимать вершину-*нелист* с тремя половинками смежных с нею рёбер. Листья с единственными смежными половинками рёбер поглощаются (см. рисунок 1). Для каждой триады естественно определены не более чем по одной другой триаде, играющих для неё роль *отца*, *правого* и *левого сыновей*.

Назовём *старшей правой цепью* последовательность триад  $(\alpha_1,\alpha_2,...,\alpha_n)$ , если  $\alpha_1$  – *корневая триада*,  $\alpha_2$  – её правый сын,  $\alpha_3$  – правый сын  $\alpha_2$ , и т.д.,  $\alpha_n$  – правый сын  $\alpha_{n-1}$ , не имеющий собственного правого сына (на рисунке 1 слева – (1,9,11)). Каждая триада  $\alpha_j$  старшей правой цепи может иметь левого сына, являющегося корнем дочернего дерева  $T_j = T_j(\alpha_j)$ , (возможно – пустого). Данную ситуацию опишем формулой:

$$T = |T_1(\alpha_1), T_2(\alpha_2), \dots, T_n(\alpha_n)\rangle,$$

называемой nравым разложением дерева T . Аналогично определяется левое разложение дерева:

$$T = \langle T_1(\beta_1), T_2(\beta_2), \dots, T_m(\beta_m) | .$$

Преобразование Донахью au удобно определить индуктивно.

- 1. Если дерево T пустое или состоящее из одной триады, то  $\tau(T) = T$  .
- 2. Пусть  $T = \left| T_1(\alpha_1), T_2(\alpha_2), ..., T_n(\alpha_n) \right\rangle$  правое разложение дерева T . Тогда образом T под действием преобразования Донахью назовём такое дерево  $\tau(T)$ , что  $\tau(T) = \left\langle \tau(T_1(\alpha_1)), \tau(T_2(\alpha_2)), ..., \tau(T_n(\alpha_n)) \right|$ .

На рисунке 1 приведён пример преобразования Донахью.

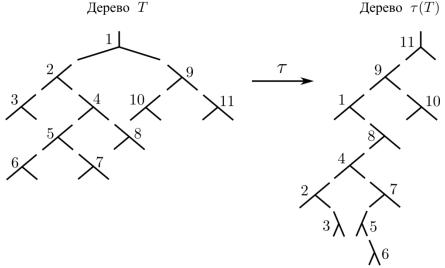


Рис. 1 – Преобразование Донахью кубического дерева

В приведённых выше обозначениях дерево  $T_{\scriptscriptstyle 1}(\alpha_{\scriptscriptstyle 1})$  назовём левым поддеревом дерева T , а дерево  $T_{\scriptscriptstyle m}(\beta_{\scriptscriptstyle m})$  – правым поддеревом дерева T .

В предшествующих работах авторы рассматривали главным образом *орбиты* множества всех плоских кубических деревьев относительно группы, порождённой преобразованием Донахью. В данной работе рассмотрены  $\partial yzu$  — некоторые естественно определённые части этих орбит.

Пусть дерево T таково, что  $T_1(\alpha_1) = \emptyset$ . Длиной дуги дерева  $T = \tau^0(T)$  назовём наименьшее натуральное число k, такое, что дерево  $\tau^k(T)$  имеет пустое правое поддерево (а дерево  $\tau^{k+1}(T)$  — пустое левое поддерево). Саму соответствующую последовательность деревьев назовём дугой. Дугу дерева  $\tau^{k+1}(T)$  назовем второй дугой дерева T и т.д.

Обозначим символом  $T(n,k_1,k_2,...,k_s)$  количество деревьев, состоящих из n+1 триад, имеющих пустое левое поддерево, длина первой дуги которых равна  $k_1$ , второй —  $k_2$  и т.д.

Утверждение 1.  $T(n, k_1, k_2, ..., k_s) = T(n, k_s, k_{s-1}, ..., k_1)$ .

**Доказательство.** Обозначим символом  $\theta(T)$  дерево, симметричное дереву T, получающееся заменой всех левых сыновей правыми и наоборот.

Пусть  $k_1, k_2, ..., k_s$  – последовательность длин дуг дерева  $T_0$  с пустым левым поддеревом:

$$T_0 \xrightarrow{\tau^{k_1+1}} T_1 \xrightarrow{\tau^{k_2+1}} \dots \xrightarrow{\tau^{k_s+1}} T_s$$
,

где все деревья  $T_1, T_2, ..., T_s$  также имеют пустые левые поддеревья.

В работе [6] приводится определения преобразования Донахью как композиции двух биекций, одна из которых и есть  $\theta$ . Из него следует, что если  $\tau^r(T_1) = T_2$ , то  $\tau^{-r}(\theta(T_1)) = \theta(T_2)$ . Поэтому для деревьев, симметричных к  $T_i$ , имеются симметричные дуги относительно обратного преобразования:

$$\theta(T_0) \xrightarrow{\tau^{-(k_1+1)}} \theta(T_1) \xrightarrow{\tau^{-(k_2+1)}} \dots \xrightarrow{\tau^{-(k_s+1)}} \theta(T_s),$$

$$\tau(\theta(T_0)) \xrightarrow{\tau^{-(k_1+1)}} \tau(\theta(T_1)) \xrightarrow{\tau^{-(k_2+1)}} \dots \xrightarrow{\tau^{-(k_s+1)}} \tau(\theta(T_s)).$$

Заметим, что деревья  $\theta(T_0), \theta(T_1), \dots, \theta(T_s)$  имеют пустые правые поддеревья, а деревья  $\tau(\theta(T_i))$  – левые. Последнюю цепочку преобразований можно переписать с использованием au в обратном порядке:

$$\tau(\theta(T_s)) \xrightarrow{\tau^{k_s+1}} \tau(\theta(T_{s-1})) \xrightarrow{\tau^{k_s-1}+1} \dots \xrightarrow{\tau^{k_1+1}} \tau(\theta(T_0)).$$

Тем самым построена явная биекция, доказывающая утверждение.

Результаты прямого компьютерного вычисления чисел  $T(n, k_1, k_2, ..., k_s)$ , частично приведенные в следующей таблице, позволяют сформулировать ряд гипотез, некоторые из которых (не все!) легко доказываются.

Таблица – Эмпирически полученные значения чисел

n	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
T(n,1)	1	2	5	14	42	132	429	1430	4862	16796	58786
T(n,2)	1	2	5	14	42	132	429	1430	4862	16796	58786
T(n,3)	0	1	3	9	28	90	297	1001	3432	11934	41990
T(n,1,1)	1	1	2	5	14	42	132	429	1430	4862	16796
T(n,1,2)	0	0	0	1	6	26	100	365	1302	4606	16284
T(n,1,3)	0	1	3	8	22	62	179	530	1611	5029	16115
T(n,2,2)	1	2	5	13	35	97	276	806	2417	7446	23561
T(n,1,1,1)	1	1	2	5	13	35	97	276	806	2417	7446
T(n,1,1,2)	0	0	0	0	0	0	1	10	64	336	1581
T(n,1,2,1)	0	0	0	0	0	0	1	10	64	336	1581
T(n,1,2,2)	0	0	0	1	5	19	65	212	678	2161	6934
T(n,2,2,2)	1	2	5	12	30	76	196	516	1391	3852	10990

Гипотеза 1. 
$$T(n,k) = \frac{k}{n} \binom{2n-k-1}{n-1}$$
.

Данные числа называются баллотировочными числами и образуют так называемый треугольник Каталана.

Утверждение 2.  $T(n,1,1) = C_{n-2}$ .

Гипотеза 3.  $T(n,1,2) = C_{n-2} - 2^{n-3}$ .

Гипотеза 4. T(n,1,1,1) = T(n-1,2,2).

Гипотеза 5. T(n,2,2) = T(n,1,1,1) + T(n,1,3).

Утверждение 6. При 
$$n \ge 5$$
  $T(n,1,1,1) = \sum_{i=1}^{n-3} i \cdot T(n-i,1,1,1) - \sum_{i=1}^{n-4} i \cdot C_{n-i-3} + C_{n-3}$ .

#### Список литературы

- 1. *Donaghey R*. Automorphisms on Catalan trees and bracketings / R. Donaghey // Journal of Combinatorial Theory, Series B. -1980. Vol. 29. № 1. P. 75-90.
- 2. *Kettle S.J.G.* A class of natural bijections between catalan families / S.J.G. Kettle // Combinatorial Mathematics IX : Lecture Notes in Mathematics / eds. E.J. Billington, S. Oates-Williams, A.P. Street. Springer Berlin Heidelberg, 1982. 952. P. 327-348.
- 3. *Feil T*. Tree traversals and permutations / T. Feil, K. Hutson, R.M. Kretchmar // Congressus Numerantium. -2005.  $-N_{2}$  172. -P. 201-221.
- 4. Callan D. A Bijection on Dyck Paths and its Cycle Structure / D. Callan // The Electronic Journal of Combinatorics. -2007. Vol. 14. № 1. P. R28.
- 5. *Karttunen A*. A079438 OEIS [Электронный ресурс] / A. Karttunen. Режим доступа: http://oeis.org/A079438.
- 6. *Пушкарёв И.А.* Преобразование Донахью: элементарный подход / И.А. Пушкарёв, В.А. Бызов // Записки научных семинаров ПОМИ. 2013. Т. 411. С. 148-177.
- 7. *Пушкарёв И.А.* Повороты первого уровня на множестве плоских деревьев / И.А. Пушкарёв, В.А. Бызов // Записки научных семинаров ПОМИ. 2013. Т. 411. С. 178-190.
- 8. *Гульден Я.* Перечислительная комбинаторика / Я. Гульден, Д. Джексон. М.: Наука, 1990. 502 с.
- 9. The On-Line Encyclopedia of Integer Sequences (OEIS) [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://oeis.org/.

#### ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

02.00.01

<sup>1</sup>Н.Я. Есина, <sup>1</sup>М.Н. Курасова, <sup>2</sup>М.В. Тачаев, <sup>1</sup>У.М. Малага

<sup>1</sup>ФГАОУ ВО Российский университет дружбы народов, ФФМиЕН, кафедра неорганической химии, Москва, 206127@mail.ru <sup>2</sup>РГАУ МСХА им. К.А. Тимирязева, Москва

#### РАЗНОЛИГАНДНЫЕ КОМПЛЕКСНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ РОДИЯ (III) С ПИРИМИДИНОВЫМИ, ПУРИНОВЫМИ ОСНОВАНИЯМИ И АСПАРАГИНОВОЙ КИСЛОТОЙ

Взаимодействием водных растворов синтезированы координационные соединения:  $[Rh(Cyt)(Asp^2)Cl]\cdot H_2O$ ,  $[Rh(Ura)(Asp^2)Cl]\cdot H_2O$ ,  $[Rh(Ade)(Asp^2)Cl]\cdot H_2O$ ,  $[Rh(Hyp)(Asp^2)Cl]\cdot H_2O$ . Выделенные соединения охарактеризованы методами ИК и ЯМР-спектроскопии. Показано, что ион металла координирует аминокислоту через  $\alpha$ -NH<sub>2</sub>- и две  $COO^-$  группы. Пиримидиновые основания координируются ионом родия (III) через N3 (N1) гетероцикла, пуриновые — N3 (N7) и амино- или карбонильную группы.

Работы исследователей по изучению биологической активности (противоопухолевой) комплексов родия (III) с производными нуклеоснований представляют большой интерес [1-5]. Следует отметить, что не исследовалось образование разнолигандных соединений родия (III) с аминокислотами, пиримидиновыми и пуриновыми основаниями. Вместе с тем, изучение свойств и строения этих соединений может позволить выяснить общие закономерности образования однороднолигандных и разнолигандных комплексов и их роль в биохимических процессах.

#### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ И ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

**Синтез комплексных соединений.** Синтез смешаннолигандных комплексов проводили по следующим схемам:

$$\begin{array}{l} [RhCl_{3}(H_{2}O)_{3}] + Cyt + Asp \xrightarrow{\quad pH = 4-6 \ } Rh(Cyt)(Asp^{2-})Cl \cdot H_{2}O + 2H_{2}O + 2HCl \\ [RhCl_{3}(H_{2}O)_{3}] + Ura + Asp \xrightarrow{\quad pH = 4-6 \ } Rh(Ura)(Asp^{2-})Cl \cdot H_{2}O + 2H_{2}O + 2HCl \\ [RhCl_{3}(H_{2}O)_{3}] + Ade + Asp \xrightarrow{\quad pH = 4-6 \ } Rh(Ade)(Asp^{2-})Cl \cdot H_{2}O + 2H_{2}O + 2HCl \\ [RhCl_{3}(H_{2}O)_{3}] + Hyp + Asp \xrightarrow{\quad pH = 4-6 \ } Rh(Hyp)(Asp^{2-})Cl \cdot H_{2}O + 2H_{2}O + 2HCl \\ \end{array}$$

Для выделения в твердом виде разнолигандных комплексных соединений родия (III) с соотношением  $M:L_1:L_2$  равным 1:1:1 была использована методика вытеснения (или замещения) одного из лигандов. Растворы родия и аспарагиновой кислоты сливали вместе и упаривали до 1/3 объема. Затем добавляли горячий раствор цитозина (аденина). В случае с гипоксантином и урацилом, наоборот, аспарагиновая кислота являлась вытесняющим лигандом [6]. Полученную смесь упаривали досуха. Образовавшееся вещество многократно обрабатывали водно-спиртовым раствором, ацетоном и эфиром и высушивали в эксикаторе над слоем  $P_2O_5$  под вакуумом.

**Идентификация синтезированных соединений** была проведена методами химического, рентгенофазового, термогравиметрического анализов, методами ИК и ЯМР-спектроскопии.

**Химический анализ** синтезированных комплексных соединений проводили на приборе CHNS-O EA1108 Elemental analyzer фирмы Carlo Erbae с точностью 0,01-0,1%. Родий – термогравиметрическим методом.

Таблица №1 - Результаты химического анализа разнолигандных комплексных

соединений родия (ІІІ).

Соединение	Mr	Найдено/Вычислено,%					
		Rh	N	C	H		
Rh(Cyt)(Asp <sup>-2</sup> )Cl·H <sub>2</sub> O	398,61	25,71	13,99	23,74	3,06		
$Rh(C_4H_5N_3O)(C_4H_5NO_4)Cl\cdot H_2O$		25,82	14,05	24,08	3,01		
Rh(Ura)(Asp <sup>-2</sup> )Cl·H <sub>2</sub> O	399,61	25,75	10,31	24,18	2,60		
$Rh(C_4H_4N_2O_2)(C_4H_5NO_4)Cl\cdot H_2O$		25,62	10,51	24,02	2,75		
Rh(Ade)(Asp <sup>-2</sup> )Cl·H <sub>2</sub> O	422,61	23,45	18,87	22,45	2,70		
$Rh(C_5H_5N_5)(C_4H_5NO_4) Cl\cdot H_2O$		24,35	19,88	25,56	2,84		
Rh(Hyp)(Asp <sup>-2</sup> )Cl·H <sub>2</sub> O	423,61	24,25	16,29	25,00	2,94		
$Rh(C_5H_4N_4O)(C_4H_5NO_4)Cl\cdot H_2O$		24,29	16,52	25,50	2,60		

Термогравиметрический анализ. Термограммы синтезированных записывались на термографе «МОМ Q-1500D» (Венгрия) при нагревании от 20°C до 1000°C. В ходе анализа использовали платиновые тигли, платина-платинородиевые термопары, эталон – оксид алюминия. Скорость нагрева 10 град/мин. Точность измерения температуры ±5 град.

Ниже приведена схема термической деструкции комплекса.

Rh(Ade)(Asp<sup>2-</sup>)Cl H<sub>2</sub>O 
$$\xrightarrow{\text{50-100}^{\circ}\text{C}}$$
 Rh(Ade)(Asp<sup>2-</sup>)Cl  $\xrightarrow{\text{HCl}}$  Rh-opr  $\xrightarrow{\text{300-400}^{\circ}\text{C-Asp}, 34,47\%}$  Rh,23,45%

Характер дериватограмм всех синтезированных комплексов идентичен: в интервале ~200-300°С удаляется хлороводород, в интервале ~300-400°С происходит плавление, переходящее в разложение комплексов, связанное с деструкцией органической части молекулы, что характеризуется на кривых нагревания экзотермическим эффектом в интервале ~400-750°C. Потеря основной массы вещества составляет от 60 до 80%. Конечным продуктом термолиза является металлический родий. Устойчивых промежуточных фаз не образуется.

ИК-спектры поглощения комплексных соединений родия (III), а также исходных лигандов сняты в вазелиновом масле на спектрофотометре «Nexus Nicollet» (в области 200-4000 см<sup>-1</sup>). Волновые числа полос поглощения комплексных соединений приведены в таблице 2 (в скобках указаны соответствующие полосы в спектре чистых лигандов).

**Таблица 2** - Волновые числа максимумов (см<sup>-1</sup>) полос поглощения разнолигандных

комплексных соединений Rh(III) на основе аспарагиновой кислоты

COETIALE I		[Rh(Ura)(Asp <sup>2-</sup> )Cl]·H <sub>2</sub> O	[Rh(Ade)(Asp <sup>2-</sup> )Cl]·H <sub>2</sub> O	[Rh(Hyp)(Asp <sup>2</sup> - )Cl]·H <sub>2</sub> O	
$\delta$ $\alpha$ -NH <sub>2</sub> -группы	1553, 1140, 1100,	/ 3 -	i/	1136, 1094, 667	
аминокислоты	658				
ν СОО-группы,	1675 (ac.) (1611),	1674 (ac.) (1611),	1647, 1665 (ac.)	1571 (ac.) (1611),	
связанной с	1462 (сим.) (1421)	1377 (сим.) (1421)	(1611), 1378 (сим.)	1398 (сим.) (1421)	
металлом			(1411)		
ν =С=О группы	1725 (1717)	1657		1713 (1674)	
основания					
ν и δ связей С=С,			1593 (1602), 974		
C=N пуринового			(1021), 884 (848),		
кольца			777 (797)		
ν пиримидинов.	1462 (1453), 1378	1417, 1377		1471 (1465), 1328	
кольца	(1392)			(1365)	
Колебания связи	579, 526	543	539	565, 554	
Rh-N					
Колебания связи	319	329	322		
Rh-Cl					
Колебания связи	387	433	416		
Rh-O					

<sup>13</sup>C ЯМР-спектры неводных (ДМСО) растворов соединений (III) и получены Фурьесоответствующих лигандов на импульсном спектрометре преобразованием высокого разрешения Bruker "AVANCE-300" (с рабочей частотой протонов 200,13 МГц) и на спектрометре JNM-ECS400 (с рабочей частотой протонов 400 МГц) по одноимпульсной методике с широкополосным подавлением протонов.

Таблица №3 - Значения хим. сдвигов (м.д.) <sup>13</sup>С СН<sub>п</sub>-групп нуклеооснования в составе комплексов

CH <sub>n</sub> -	Химические сдвиги <sup>13</sup> С (м.д.)							
Di	Rh(Cyt)(Asp <sup>2-</sup> )Cl·H <sub>2</sub> O	$\Delta\delta(\mathrm{Cyt})$	Rh(Ura)(Asp <sup>2-</sup> )Cl·H <sub>2</sub> O	Δδ(Ura)	Rh(Ade)( Asp <sup>2-</sup> )Cl·H <sub>2</sub> O	$\Delta\delta(\mathrm{Ade})$	Rh(Hyp)(A sp <sup>2-</sup> )Cl·H <sub>2</sub> O	Δδ(Hyp)
$C^2$	148,24	-12,52	154,05	2,42	154,77	2,26	147,95	5,04
$C^4$	161,04	-7,79	168,25	3,78	149,86	-0,81	155,66	3,56
$C^5$	92,89	-3,67	98,80	-1,55	118,76	0,92	117,25	-0,49
$C^6$	146,77	2,19	140,95	-1,37	157,46	1,90	157,34	3,49
$C_8$					135,99	-3,40	146,30	8,00

Изменение химического сдвига для ядер C обеих карбоксильных групп аспарагиновой кислоты  $\Delta\delta(C(1)=3,37;\ \Delta\delta C(4)=2,1\ \text{м.д.})$  указывает на участие двух  $COO^-$  групп в образовании химической связи с Rh(III). Смещение линии углерода, относящегося к  $\alpha$ -аминогруппе аспарагиновой кислоты  $\Delta\delta(C(2)=4,34\ \text{м.д.})$  говорит об участии аминогруппы лиганда в процессе связывания металла. Этим подтверждается трехдентатная координация аспарагиновой кислоты. Молекулы цитозина и урацила в смешаннолигандных комплексах взаимодейтствуют с ионом родия (III) через N-3 и C=O группу лиганда, так как химические сдвиги всех углеродных атомов гетероциклов испытывют смещение относительно исходных лигандов, то реагирует с ионом металла вероятно вся  $\pi$ - электронная система гетероциклов. Аденин и гипоксантин реагируют как полидентатные лиганды, но преимущественно через N-3 и N-7 или N-9. Следует отметить, что координация, вероятно, привела к общему перераспределению электронной плотности в системе сопряженных связей нуклеооснований и, предположительно, основания взаимодействуют с ионом металла всей молекулой.

Таким образом, на основании всех проведенных исследований можно предложить следующее строение синтезированных разнолигандных координационных соединений:

$$\begin{bmatrix} & \mathsf{NH}_2 & & \mathsf{CI} & & \mathsf{CI} \\ & \mathsf{C} & & \mathsf{CI} & & \mathsf{CH} \\ & \mathsf{HC} & \mathsf{N} & & \mathsf{CH} & \mathsf{H}_2\mathsf{N} & \mathsf{CH} \\ & \mathsf{HC} & \mathsf{N} & \mathsf{C} & \mathsf{C} & \mathsf{C} & \mathsf{C} \\ & \mathsf{N} & \mathsf{H} & \mathsf{C} & \mathsf{C} & \mathsf{C} & \mathsf{C} \\ & \mathsf{N} & \mathsf{C} & \mathsf{C} & \mathsf{C} & \mathsf{C} & \mathsf{C} \\ & \mathsf{N} & \mathsf{C} & \mathsf{C} & \mathsf{C} & \mathsf{C} & \mathsf{C} \\ & \mathsf{N} & \mathsf{C} & \mathsf{C} & \mathsf{C} & \mathsf{C} & \mathsf{C} \\ & \mathsf{N} & \mathsf{C} & \mathsf{C} & \mathsf{C} & \mathsf{C} & \mathsf{C} \\ & \mathsf{C} & \mathsf{C} & \mathsf{C} & \mathsf{C} & \mathsf{C} \\ & \mathsf{C} & \mathsf{C} & \mathsf{C} & \mathsf{C} & \mathsf{C} \\ & \mathsf{C} & \mathsf{C} & \mathsf{C} & \mathsf{C} & \mathsf{C} \\ & \mathsf{C} & \mathsf{C} & \mathsf{C} & \mathsf{C} & \mathsf{C} \\ & \mathsf{C} & \mathsf{C} & \mathsf{C} & \mathsf{C} & \mathsf{C} \\ & \mathsf{C} & \mathsf{C} & \mathsf{C} & \mathsf{C} & \mathsf{C} \\ & \mathsf{C} & \mathsf{C} & \mathsf{C} & \mathsf{C} & \mathsf{C} \\ & \mathsf{C} & \mathsf{C} & \mathsf{C} & \mathsf{C} \\ & \mathsf{C} & \mathsf{C} & \mathsf{C} & \mathsf{C} & \mathsf{C} \\ & \mathsf{C} & \mathsf{C} & \mathsf{C} & \mathsf{C} & \mathsf{C} \\ & \mathsf{C} & \mathsf{C} & \mathsf{C} & \mathsf{C} & \mathsf{C} \\ & \mathsf{C} & \mathsf{C} & \mathsf{C} & \mathsf{C} & \mathsf{C} \\ & \mathsf{C} & \mathsf{C} & \mathsf{C} & \mathsf{C} & \mathsf{C} \\ & \mathsf{C} & \mathsf{C} & \mathsf{C} & \mathsf{C} & \mathsf{C} \\ & \mathsf{C} & \mathsf{C} & \mathsf{C} & \mathsf{C} & \mathsf{C} \\ & \mathsf{C} & \mathsf{C} & \mathsf{C} & \mathsf{C} & \mathsf{C} \\ & \mathsf{C} & \mathsf{C} & \mathsf{C} & \mathsf{C} & \mathsf{C} \\ & \mathsf{C} & \mathsf{C} & \mathsf{C} & \mathsf{C} \\ & \mathsf{C} & \mathsf{C} & \mathsf{C} & \mathsf{C} \\ & \mathsf{C} & \mathsf{C} & \mathsf{C} & \mathsf{C} \\ & \mathsf{C} & \mathsf{C} & \mathsf{C} & \mathsf{C} \\ & \mathsf{C} & \mathsf{C} & \mathsf{C} & \mathsf{C} \\ & \mathsf{C} & \mathsf{C} & \mathsf{C} & \mathsf{C} \\ & \mathsf{C} & \mathsf{C} & \mathsf{C} & \mathsf{C} \\ & \mathsf{C} & \mathsf{C} & \mathsf{C} & \mathsf{C} \\ & \mathsf{C} & \mathsf{C} & \mathsf{C} & \mathsf{C} \\ & \mathsf{C} & \mathsf{C} & \mathsf{C} & \mathsf{C} \\ & \mathsf{C} & \mathsf{C} & \mathsf{C} & \mathsf{C} \\ & \mathsf{C} & \mathsf{C} & \mathsf{C} & \mathsf{C} \\ & \mathsf{C} & \mathsf{C} & \mathsf{C} & \mathsf{C} \\ & \mathsf{C} & \mathsf{C} & \mathsf{C} & \mathsf{C} \\ & \mathsf{C} & \mathsf{C} & \mathsf{C} & \mathsf{C} \\ & \mathsf{C} & \mathsf{C} & \mathsf{C}$$

 $Rh(Ade)(Asp^2-)Cl \cdot H_2O$ 

 $Rh(Hyp)(Asp^2-)Cl \cdot H_2O$ 

#### Список литературы

- 1. А.И. Стеценко, К.И. Яковлев, С.А. Дъяченко. Комплексные соединения платины (II) с пуриновыми и пиримидиновыми основаниями и их нуклеозидами // Успехи химии. «Наука». -1987. -Вып. 9. -С. 1533-1563.
- 2. R.Kramer, K.Polborn, H.Wanjek, I.Zahn, W.Beck. Metallkoomplex mit biologisch wichtigen liganden, LIII Chirale Halbsandwich-komplexe von Rhodium(III), Iridium (III), Iridium (III) und Ruthenium (II) mit  $\alpha$ -Aminosaure-Anionen. // Chem.Ber. -1990. -V.123. -No.4. -P.767-778.
- 3. M Z. Wiśniewski, J. Wietrzyk, A. Opolski. Novel Ru(III), Rh(III), Pd(II) and Pt(II) complexes with ligands incorporating azole and pyrimidine rings. I. Antiproliferative activity in vitro // Narchivum Immunologiae et Therapiae Experimentalis. Institute of Chemistry, Pedagogical University, Checinska Poland. -2000. -Vol. 48, -Issue. 1, -P. 51-55.
- 4. H.T. Chifotides K R. Dunbar. Interactions of metal-metal-bonded antitumor active complexes with DNA fragments and DNA. // Chemistry Miscellaneous Papers. Accounts of Chemical Research.-2005. -Vol.38. Issue.2. -P. 146-156.
- 5. А.К.Молодкин, Н.Я.Есина, М.В.Тачаев, М.Н.Курасова. Разнолигандные комплексные соединения палладия (II) с аминокислотами, цитозином и аденином // ЖНХ. -2007. Т.52.№ 10. С.1669-1671.
- 6. А.К.Молодкин, Н.Я.Есина, М.Н.Курасова, М.В.Тачаев, О.И.Андреева. Монолигандные координационные соединения Rh(III) с аминокислотами // НТВП. -2013. № 2. С.52-55.

#### ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

05.23.17

#### А.А. Аваков, А.С. Чепурненко, С.Б. Языев

Ростовский государственный строительный университет, кафедра сопротивления материалов, Ростов-на-Дону, anton\_chepurnenk@mail.ru

#### НАПРЯЖЕННО–ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ АРКИ С УЧЕТОМ НЕЛИНЕЙНОЙ ПОЛЗУЧЕСТИ БЕТОНА

В работе получены разрешающие уравнения метода конечных элементов для расчета с учетом нелинейной ползучести железобетонных арок. При расчете используется вязкоупругопластическая модель наследственного старения. Показано, что вследствие ползучести бетона происходит существенное перераспределение напряжений между бетоном и арматурой.

Ключевые слова: железобетонная арка, нелинейная ползучесть, метод конечных элементов.

Широко известно, что для бетона характерна выраженная ползучесть, проявляющаяся даже в обычных эксплуатационных условиях. При напряжениях, превышающих 50% от призменной прочности, ползучесть бетона носит нелинейный характер. Существуют методики расчета с учетом нелинейной ползучести изгибаемых и внецентренно сжатых железобетонных стержней [1–3], однако для стержневых систем нелинейный расчет остается практически неразработанным. В настоящей статье приводится вывод разрешающих уравнений метода конечных элементов с учетом вязкоупругопластичности бетона.

Рассматривается вязкоупругопластическая модель наследственного старения бетона, в соответствии с которой связь между напряжениями и деформациями имеет вид [1]:

$$\varepsilon_b(t) = \frac{f[\sigma_b(t)]}{E_b(t)} - \int_0^t f[\sigma_b(\tau)] \frac{\partial \mathcal{C}(t,\tau)}{\partial \tau} d\tau. \tag{1}$$

где  $\varepsilon_b(t)$  — деформация бетона,  $f[\sigma_b(t)]$  — нелинейная функция напряжений,  $E_b(t)$  — модуль упругости бетона,  $C(t,\tau)$  — мера ползучести.

Запишем уравнение (1) в виде:

$$\varepsilon_b(t) = \frac{\sigma_b(t)}{\bar{E}_b(\sigma_b, t)} + \varepsilon_b^*, \tag{2}$$

где  $\bar{E}_b(\sigma_b,t)$  — секущий модуль,  $\varepsilon_b^*=-\int_0^t f[\sigma_b(\tau)] \frac{\partial \mathcal{C}(t,\tau)}{\partial \tau} d\tau$  — деформация ползучести.

При расчете будем использовать метод последовательных приближений, в соответствии с которым физически нелинейная задача сводится к последовательному решению упругих задач для неоднородного тела [4]. Для этого получим уравнения МКЭ для стержневого элемента с переменным по высоте модулем упругости. Используемый конечный элемент, а также его поперечное сечение показаны на рис.1.

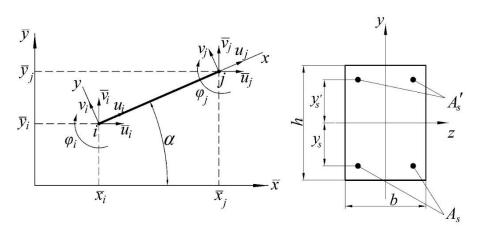


Рис.1 — Стержневой конечный элемент

Выразим из (2) напряжения:

$$\sigma_b = E_b(y)(\varepsilon_b - \varepsilon_b^*). \tag{2}$$

Полная деформация бетона определяется следующим образом:

$$\varepsilon_b = \varepsilon_0 - y\chi,\tag{3}$$

 $\varepsilon_b=\varepsilon_0-y\chi,$  где  $\varepsilon_0=\frac{du}{dx}$  — осевая деформация,  $\chi=\frac{d^2v}{dx^2}$  — кривизна стержня.

Деформации арматурных стержней запишутся в виде:

$$\varepsilon_{\rm S} = \varepsilon_0 + y_{\rm S} \chi, \qquad \varepsilon_{\rm S}' = \varepsilon_0 - y_{\rm S}' \chi. \tag{4}$$

 $\varepsilon_S = \varepsilon_0 + y_S \chi, \quad \varepsilon_S' = \varepsilon_0 - y_S' \chi.$ Потенциальная энергия деформации складывается из потенциальной энергии бетона и арматуры:

$$\Pi = \Pi_b + \Pi_S + \Pi_S'. \tag{5}$$

Потенциальная энергия бетона записывается в виде:

$$\Pi_b = \frac{1}{2} \int_V \sigma_b \varepsilon_b^{el} dV \tag{6}$$

где  $\varepsilon_b^{el} = \varepsilon_b - \varepsilon_b^*$  — упругая деформация бетона. Подставив (3) в (2) и далее (2) в (8), получим:

$$\Pi_{b} = \frac{1}{2} \left( \int_{(l)} \varepsilon_{0}^{2} dx \cdot b \int_{-h/2}^{h/2} E_{b}(y) dy + \int_{V} E_{b}(y) (\varepsilon_{b}^{*})^{2} dV + \int_{V} \chi^{2} dx \cdot b \int_{-h/2}^{h/2} E_{b}(y) y^{2} dy - 2 \int_{(l)} \varepsilon_{0} dx \cdot b \int_{-\frac{h}{2}}^{\frac{h}{2}} E_{b}(y) \varepsilon_{b}^{*} dy - 2 \int_{(l)} \varepsilon_{0} \chi dx \right) \\
\cdot b \int_{-h/2}^{h/2} E_{b}(y) y dy + 2 \int_{(l)} \chi dx \cdot b \int_{-h/2}^{h/2} E_{b}(y) \varepsilon_{b}^{*} y dy. \tag{7}$$

$$\Pi_{S} = \frac{1}{2} \int_{V_{S}} \sigma_{S} \varepsilon_{S} dV = \frac{1}{2} E_{S} A_{S} \left( \int_{(l)} \varepsilon_{0}^{2} dx + 2y_{S} \int_{(l)} \varepsilon_{0} \chi dx + y_{S}^{2} \int_{(l)} \chi^{2} dx \right);$$

$$\Pi_{S}' = \frac{1}{2} \int_{V_{S}'} \sigma_{S}' \varepsilon_{S}' dV = \frac{1}{2} E_{S} A_{S}' \left( \int_{(l)} \varepsilon_{0}^{2} dx - 2y_{S}' \int_{(l)} \varepsilon_{0} \chi dx + (y_{S}')^{2} \int_{(l)} \chi^{2} dx \right).$$

Окончательно выражение для потенциальной энергии деформации железобетонного элемента примет вид:

$$\Pi = \frac{1}{2} \left( E A_{red} \int_{(l)} \varepsilon_0^2 dx - 2E S_{red} \int_{(l)} \varepsilon_0 \chi dx + E I_{red} \int_{(l)} \chi^2 dx + 2M^* \int_{(l)} \chi dx - 2N^* \int_{(l)} \varepsilon_0 dx + \int_V E_b(y) (\varepsilon_b^*)^2 dV \right),$$

$$(8)$$

где 
$$EI_{red} = E_S(A_S'(y_S')^2 + A_S y_S^2) + b \int_{-\frac{h}{2}}^{\frac{h}{2}} E_b(y) y^2 dy$$
,  $EA_{red} = E_S A_{S,\text{общ}} + b \int_{-h/2}^{h/2} E_b(y) dy$ ,

$$M^* = b \int_{-\frac{h}{2}}^{\frac{h}{2}} E_b(y) \varepsilon_b^* y dy, N^* = b \int_{-\frac{h}{2}}^{\frac{h}{2}} E_b(y) \varepsilon_b^* dy, ES_{red} = E_S(A_S' y_S' - A_S y_S) + b \int_{-\frac{h}{2}}^{\frac{h}{2}} E_b(y) y dy.$$

В качестве функции формы для прогиба принимаем следующий полином:

$$v(x) = \alpha_0 + \alpha_1 x + \alpha_2 x^2 + \alpha_3 x^3 = \{1 \quad x \quad x^2 \quad x^3\}\{\alpha\}.$$
 (9)

Вектор  $\{\alpha\}$  может быть найден из следующих условий:  $v(0) = v_i$ ,  $\varphi(0) = -\frac{dv}{dx}\Big|_{\alpha=0} = \varphi_i$ ,

$$\begin{split} v(l) &= v_j, \ \varphi(l) = -\frac{dv}{dx}\Big|_{x=l} = \varphi_j: \\ \{\alpha\} &= \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -3/l^2 & 2/l & 3/l^2 & 1/l \\ 0 & 0 & 2/l^3 & -1/l^2 & -2/l^3 & -1/l^2 \end{bmatrix} \{U\} = [\Phi]\{U\}. \end{split}$$

Кривизна стержня запишется в виде

$$\chi = \frac{d^2v}{dx^2} = \{0 \quad 0 \quad 2 \quad 6x\}\{\Phi\}\{U\}. \tag{10}$$

Для осевого перемещения принимаем следующую аппроксимацию:

$$u = (1 - x/l)u_i + (x/l)u_i. (11)$$

Тогда осевая деформация примет вид:

$$\varepsilon_0 = du/dx = \{-1/l \quad 1/l \quad 0 \quad 0 \quad 0\}\{U\}.$$
 (12)

Подставив (10) и (12) в (8), получим:

$$\Pi = \frac{1}{2} \{U\}^{\mathrm{T}} [K] \{U\} - \{U\}^{\mathrm{T}} \{F_b^*\} + \frac{1}{2} E_b \int_{\mathbb{T}} (\varepsilon_b^*)^2 dV, \tag{13}$$

$$[K_{\rm c}] = \frac{EA_{red}}{l} \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix}; \quad [K_{\rm H}] = EI_{red} \begin{bmatrix} 12/l^3 & -6/l^2 & -12/l^3 & -6/l^2 \\ -6/l^2 & 4/l & 6/l^2 & 2/l \\ -12/l^3 & 6/l^2 & 12/l^3 & 6/l^2 \\ -6/l^2 & 2/l & 6/l^2 & 4/l \end{bmatrix}$$

Применив принцип минимума полной энергии, получим:

$$\frac{\partial \Im}{\partial \{U\}} = \frac{\partial \Pi}{\partial \{U\}} + \frac{\partial A}{\partial \{U\}} = [K]\{U\} - \{F_b^*\} - \{F_q\} = 0,$$

где A — работа внешних сил,  $\{F_a\}$  — вектор внешних узловых нагрузок.

Был выполнен расчет параболической арки, жестко защемленной по концам, загруженной равномерно распределенной нагрузкой q, при следующих исходных данных: пролет L=f=3.2 м, b=20 см, h=40 см,  $au_0=28$  сут,  $E_b( au_0)=3\cdot 10^4$  МПа, подъем коэффициент армирования  $\mu = A_{S,\text{общ}}/A_b = 0.02$ ,  $y_S = y_S' = 15$  см,  $E_S = 2 \cdot 10^5$  Мпа, q = 60 кH/м, призменная прочность  $R_b = 20 \text{ M}\Pi a$ .

Меру ползучести приняли в виде:  $C(t,\tau) = C(e^{\alpha t} - e^{\alpha \tau})/(e^{\alpha t} - 1) + B(e^{-\gamma \tau} - e^{-\gamma t}).$ константы  $\alpha = 0.032, \gamma = 0.062, C = 3.77 \cdot 10^{-5} \,\mathrm{M}\Pi\mathrm{a}^{-1}, B = 5.68 \cdot$ Реологические  $10^{-5} \, {\rm M}\Pi {\rm a}^{-1}$ , Функция напряжений принималась в виде:  $f(\sigma) = \sigma + \beta \sigma^2$ , где  $\beta$  эмпирический коэффициент, определяемый по формуле:

$$\beta = (66 - R_b) / [(R_b - 6)R_b^2]. \tag{14}$$

В выражении (14) размерность призменной прочности МПа.

На рис. 2—3 показаны соответственно графики изменения напряжений в арматуре и бетоне в сечениях x=0 (черные линии) и x=L/2 (синие линии). Штриховым линиям соответствуют напряжения у верхней грани, сплошным — у нижней. Из рис. 2 видно, что по абсолютной величине напряжения в арматуре существенно возрастают, а в бетоне наоборот убывают.

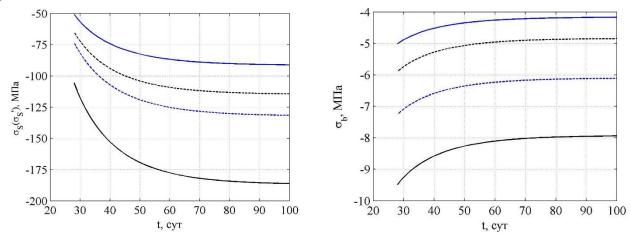


Рис. 2 — Изменение напряжений в арматуре

Рис. 3 — Изменение напряжений в бетоне

#### Список литературы

- 1. *Тамразян А.Г.* Механика ползучести бетона: монография/ А.Г. Тамразян, С.Г. Есаян. Москва: МГСУ, 2012. 490 с.
- 2. *Юхнов И.В., Языев Б.М., Чепурненко А.С., Литвинов С.В.* Напряженно-деформированное состояние короткого внецентренно сжатого железобетонного стержня при нелинейной ползучести // Научное обозрение. №8. Часть 3. 2014. С.929–934.
- 3. *Гурьева Ю.А*. Некоторые приложения упрощенной теории нелинейной ползучести нестареющего бетона при сжатии// Промышленное и гражданское строительство. 2008. 1000.
- 4. *Андреев В.И.* Некоторые задачи и методы механики неоднородных тел: монография. М.: Издательство АСВ, 2002. 288 с.

05.13.18

# <sup>1</sup>И.А. Акимов д.т.н., <sup>2</sup>А.И. Акимов к.т.н., <sup>1</sup>Е.О. Каракулина

<sup>1</sup>Оренбургский государственный педагогический университет, физико-математический факультет, кафедра математического анализа и методики преподавания математики, Оренбург, akimov\_ia@mail.ru

<sup>2</sup>Московский технологический институт «ВТУ», филиал в г. Оренбурге, кафедра Информатики и автоматизации, Оренбург, akimoff11@mail.ru

# ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ НА ВТОРОМ ЭТАПЕ ПРОИЗВОДСТВА КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ МЕТОДОМ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ В УСТАНОВКАХ АВТОМАТИЧЕСКОГО ВЕДЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА (АВТП)

В данной работе рассматриваются результаты изучения теплопередачи в многослойных изделиях на втором этапе производства композиционных материалов. Многослойные композиционные материалы изготавливаются в установках АВТП методом полимеризации. При полимеризации выделяется тепло фазового перехода. Поэтому при разработке системы управления производством композиционных материалов приходится учитывать эти факторы.

Ключевые слова: *полимеризация*, фазовый переход, установки АВТП, многослойные композиционные материалы, метод изотермических поверхностей.

Композиционные материалы достаточно широко востребованы в авиастроении, космической технике, медицине, машиностроении, при построении технических объектов и т.д. Соответственно возросли и требования к их прочностным характеристикам, долговечности, надежности, способности выдерживать экстремальные условия эксплуатации.

Важнейшими факторами, сдерживающими применение композиционных материалов, является серьезные проблемы технического характера, затрудняющие высокую степень реализации прочности в деталях. Поэтому основные усилия исследователей и производственников направлены на совершенствование технологии производства композиционных материалов. Одним из путей усовершенствования изготовления таких изделий является соблюдение определенных технических и технологических требований производства. Этого можно достичь только путем разработки системы автоматического управления производством композиционных материалов. Для разработки системы управления необходимы сведения о теплопередаче на всех трех этапах производства композиционных материалов (рис. 1).

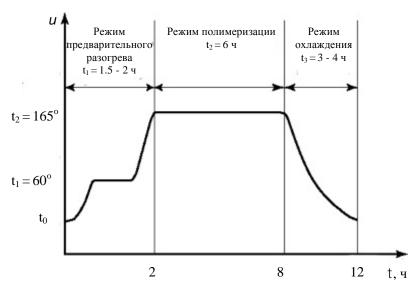


Рис. 1 - Обобщенный экспериментальный график зависимости температуры от времени в установках АВТП:  $t_0$  – начальная температура,  $t_I$  – температура предварительного разогрева,  $t_2$  – температура режима нагревания,  $\tau$  – время

В данной работе рассматривается теплопередача на втором этапе производства композиционных материалов, а именно этап полимеризации многослойных изделий.

Многослойные композиционные материалы полой цилиндрической формы изготавливаются в специальных пресс-формах с электроподогревом (рис. 2).

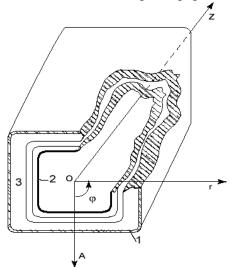


Рис. 2 — Геометрия узла установки для получения композиционных материалов в разрезе: 1-нагреватель - матрица, 2— технологический мешок, 3— многослойный композиционный материал (число слоев  $k \approx 60$ );

Так как длина изделия значительно больше диаметра  $(I >> 2R_0)$ , то изделие можно считать бесконечным полым цилиндром. Изделие находится внутри пресс-формы и тепло передается только в радиальном направлении по изотермическим поверхностям, поэтому цилиндрические координаты  $\varphi$  и  $\mathbf{Z}$  можно исключить из рассмотрения, так как по длине и по  $\varphi$  теплопередача будет одна и та же.

При таких предположениях, постановка задачи по радиальной схеме в цилиндрической системе координат следующая.

Найти решения уравнений

$$\frac{1}{a_k} \frac{\partial U_k(r,\tau)}{\partial \tau} = \frac{\partial^2 U_k(r,\tau)}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial U_k(r,\tau)}{\partial r} + f_k(r,\tau), \quad t > 0, \quad R_{k-1} \le r \le R_k,$$
(1)

$$(k=1,2,\ldots j,\ldots,n)$$

 $R_0(r,\tau) > r > \xi(\tau)$  для зоны полимеризации — I,  $\xi(\tau) > r > R_{n+1}(r,\tau)$  для противоположной зоны — II, при начальных условиях

$$U(r,0) = f(r) \tag{2}$$

и при граничных условиях

$$U_n(R_n,\tau) - \frac{\lambda_n}{\alpha_n} \frac{\partial U_n(R_n,\tau)}{\partial r} = P_n(r); \tag{3}$$

$$U_{k-1}(R_{k-1},\tau) = U_k(R_{k-1},\tau) = P_{k-1}(r); \tag{4}$$

$$U_1(R_0,\tau) - \frac{\lambda_1}{\alpha_1} \frac{\partial U_1(R_0,\tau)}{\partial r} = P_0(r);$$
(5)

$$U_I[\xi(\tau),\tau] = U_{II}[\xi(\tau),\tau] = U_{kD}; \tag{6}$$

$$U_{II}[a\xi(\tau),\tau] = U_0; \tag{7}$$

$$\lambda_{k-1} \frac{\partial U_{k-1}(R_{k-1}, \tau)}{\partial r} = \lambda_k \frac{\partial U_k(R_{k-1}, \tau)}{\partial r}, \tag{8}$$

при  $R_k(r,\tau) \neq \xi(\tau)$ ;

$$\lambda_{I} \frac{\partial U_{I} \left[ \xi(\tau), \tau \right]}{\partial r} - \lambda_{II} \frac{\partial U_{II} \left[ \xi(\tau), \tau \right]}{\partial r} = \sigma \frac{\partial \xi(\tau)}{\partial \tau}, \tag{9}$$

где  $a_k$ ,  $\lambda_k$ ,  $\alpha_k$  — коэффициенты температуропроводности, теплопроводности и теплопередачи;

 $\sigma$  – теплота полимеризации;

a — безразмерный параметр теплового влияния в k-ом слое;

 $P_{k-1}(r)$ ,  $\xi(\tau)$  — достаточно гладкие функции своих аргументов, которые подлежат определению через условия (4) и (7);

 $U_k(r,\tau)$  – температура k -го слоя изделия.

Для решения поставленной задачи применим метод изотермических поверхностей [1], для чего заменим истинное распределение температуры  $U_r(r)$  внутри каждой области  $[R_k(r,\tau),\xi(\tau)]$  и  $[\xi(\tau),a\xi(\tau)]$  при фиксированных положениях границы  $\xi_j(\tau)=\xi(\tau_j)$  нестационарным распределением температуры  $U_j(r,\tau),\ \tau \to \tau_j=\tau(\xi_j)$ .

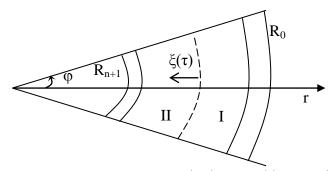


Рис. 3 — Схема расположения зон: t > 0,  $R_0(r,\tau) > r > \xi(\tau) = I$ ;  $\xi(\tau) > r > R_{n+1}(r,\tau) = II$ 

Если  $R_{j-1}(r,\tau)>\xi(\tau)>R_j(r,\tau)$ , где  $1\leq j\leq n$  , то введя вспомогательные функции

$$\left[\chi_{n}(r,\tau_{j}) = P_{n-1}(\tau_{j}) + \left[P_{n}(\tau_{j}) - P_{n-1}(\tau_{j})\right] \cdot \frac{r - R_{n-1}}{R_{n} - R_{n-1}}; \right] \\
\chi_{j,I}(r,\tau_{j}) = U_{kp.} + \left[P_{j,I}(\tau_{j}) - U_{kp.}\right] \cdot \frac{r - \xi_{j}(\tau)}{R_{j} - \xi_{j}(\tau)}; \\
\chi_{j,II}(r,\tau_{j}) = U_{0} + \left[U_{kp.} - U_{0}\right] \cdot \frac{r - a\xi_{j}(\tau)}{(1 - a) - \xi_{j}(\tau)}; \\
\chi_{1}(r,\tau_{j}) = P_{0}(\tau_{j}) + \left[P_{1}(\tau_{j}) - P_{0}(\tau_{j})\right] \cdot \frac{r - R_{0}}{R_{1} - R_{0}}, \tag{10}$$

можно определить решение задачи (1)-(9) в виде 
$$U_k(r,\tau_j) = Y_k(r,\tau_j) + \chi_k(r,\tau_j) \tag{11}$$

В результате эти задачи можно привести к следующей форме:

$$\frac{1}{a_k} \frac{\partial Y_k(r, \tau_j)}{\partial \tau} = \frac{\partial^2 Y_k(r, \tau_j)}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial Y_k(r, \tau_j)}{\partial r} + \psi_k(r, \tau_j) \tag{12}$$

с начальными условиямі

$$Y_k(r,0) = U_k(r,0) + \chi_k(r,0) \tag{13}$$

и с однородными граничными условиями типа (3)-(9).

Решение задачи (11)-(13) вычисляется в виде суммы

$$Y_k(r,\tau_j) = V_k(r,\tau_j) + w_k(r,\tau_j), \tag{14}$$

где  $V_k(r,\tau_i)$  определяется из уравнения

$$\frac{1}{a_k} \frac{\partial V_k(r, \tau_j)}{\partial \tau} = \frac{\partial^2 V_k(r, \tau_j)}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial V_k(r, \tau_j)}{\partial r} + \psi_k(r, \tau_j), \tag{15}$$

$$\psi_{k}(r,\tau_{j}) = f_{k}(r,\tau_{j}) + \frac{\partial^{2}\chi_{k}(r,\tau_{j})}{\partial r^{2}} + \frac{1}{r} \frac{\partial\chi_{k}(r,\tau_{j})}{\partial r} - \frac{1}{a_{k}} \frac{\partial\chi_{k}(r,\tau_{j})}{\partial \tau}, \tag{16}$$

а  $w_k(r, \tau_i)$  определяется из уравнения

$$\frac{1}{a_k} \frac{\partial w_k(r, \tau_j)}{\partial \tau} = \frac{\partial^2 w_k(r, \tau_j)}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial w_k(r, \tau_j)}{\partial r} , \qquad (17)$$

с определенными выше типами начальных и граничных условий.

Частными решениями уравнений (17) являются функции Бесселя [2,3].

Применяя метод конечных интегральных преобразований Ханкеля к уравнениям (17) по переменной r с весовой функцией  $\rho(r) = r$ , и переходя к оригиналу получим искомое решение уравнения (17) в виде

$$w_{k}(r,\tau_{j}) = \sum_{\gamma=1}^{\infty} \frac{e^{-a_{k}\eta_{jk}^{2}\tau_{j}}}{c_{\gamma k}} \cdot \int_{R_{k-1}}^{R_{k}} w_{k}(r,0) [A_{k}J_{0}(\eta_{\gamma k}r) + B_{k}Y_{0}(\eta_{\gamma k}r)] r dr,$$
(18)

где  $\left[A_k J_0(\eta_{jk}r) + B_k Y_0(\eta_{jk}r)\right]$  — ядро интегрального преобразования.

Подчинив общее решение для собственных функций однородным граничным условиям, можно получить

$$\begin{cases} A_n J_0 \left( \eta_{\gamma n} R_n \right) + B_n Y_0 \left( \eta_{\gamma n} R_n \right) + \frac{\lambda_n}{\alpha_n} \left[ A_n J_0' \left( \eta_{\gamma n} R_n \right) + B_n Y_0' \left( \eta_{\gamma n} R_n \right) \right] = 0; \\ A_n J_0 \left( \eta_{\gamma n} R_{n-1} \right) + B_n Y_0 \left( \eta_{\gamma n} R_{n-1} \right) = 0, \end{cases}$$

.....

$$\begin{cases} A_m J_0 \left( \eta_{\gamma m} R_m \right) + B_m Y_0 \left( \eta_{\gamma m} R_m \right) = 0, m = 1, 2, \dots, n \\ A_m J_0 \left( \eta_{\gamma m} R_{m-1} \right) + B_m Y_0 \left( \eta_{\gamma m} R_{m-1} \right) = 0, \end{cases}$$

$$\begin{cases}
A_{2}J_{0}(\eta_{\gamma 2}R_{2}) + B_{2}Y_{0}(\eta_{\gamma 2}R_{2}) = 0, \\
A_{2}J_{0}(\eta_{\gamma 2}R_{1}) + B_{2}Y_{0}(\eta_{\gamma 2}R_{1}) = 0, \\
A_{1}J_{0}(\eta_{\gamma 1}R_{1}) + B_{1}Y_{0}(\eta_{\gamma 1}R_{1}) = 0, \\
A_{1}J_{0}(\eta_{\gamma 1}R_{0}) + B_{1}Y_{0}(\eta_{\gamma 1}R_{0}) + \frac{\lambda_{1}}{\alpha_{1}} \left[ A_{1}J_{0}'(\eta_{\gamma 1}R_{0}) + B_{1}Y_{0}'(\eta_{\gamma 1}R_{0}) \right] = 0.
\end{cases}$$
(19)

Очевидно, что нулями собственных функций являются и значения  $\xi(\tau_j)$  (границы фазового перехода).

Это дает дополнительную систему, вид которой зависит от номера слоя.

Решив систему (19) найдем с точностью до произвольного множителя

$$A_{m} = Y_{0}(\eta_{\gamma m}R_{m}), \ B_{m} = -J_{0}(\eta_{\gamma m}R_{m}), \ A_{n} = Y_{0}(\eta_{\gamma m}R_{n-1}), \ B_{n} = -J_{0}(\eta_{\gamma m}R_{n-1}).$$

Для определения собственных чисел  $h_{qn}$  получим уравнения

$$Y_{0}(\eta_{\gamma n}R_{n-1})J_{0}(\eta_{\gamma n}R_{n}) - J_{0}(\eta_{\gamma n}R_{n-1})Y_{0}(\eta_{\gamma n}R_{n-1}) + \frac{\lambda_{n}}{\alpha_{n}} \left[ Y_{0}(\eta_{\gamma n}R_{n-1})J_{0}(\eta_{\gamma n}R_{n}) + J_{0}(\eta_{\gamma n}R_{n-1})Y_{0}(\eta_{\gamma n}R_{n}) \right] = 0;$$

К этим уравнениям относятся также уравнение с учетом границы фазового перехода  $\xi(\tau_j)$ , вид которого зависит от положения этой границы. Нормирующие делители  $c_{\gamma k}$  получаются в следующем виде

$$\begin{cases}
c_{m} = \int_{R_{n-1}}^{R_{n}} [A_{n}J_{0}(\eta_{\gamma n}r) + B_{n}Y_{0}(\eta_{\gamma n}r)]^{2} r dr = \frac{R^{2}_{n}}{2} \cdot \{G_{n}^{2}(\eta_{\gamma n}R_{n}) - [G_{n}'(\eta_{\gamma n}R_{n})]^{2}\} \\
c_{\gamma m} = \int_{R_{m-1}}^{R_{m}} [A_{m}J_{0}(\eta_{\gamma m}r) + B_{m}Y_{0}(\eta_{\gamma m}r)]^{2} r dr = \\
= \frac{R^{2}_{m-1}}{2} G_{m}'(\eta_{\gamma m}R_{m-1}) \cdot \left[\frac{R_{m}}{R_{m-1}} G_{m}'(\eta_{\gamma m}R_{m}) - G_{m}(\eta_{\gamma m}R_{m-1})\right]; \\
c_{\gamma 1} = \int_{R_{0}}^{R_{1}} [A_{1}J_{0}(\eta_{\gamma 1}r) + B_{1}Y_{0}(\eta_{\gamma 1}r)]^{2} r dr = -\frac{R^{2}_{0}}{2} \cdot \{G_{1}^{2}(\eta_{\gamma 1}R_{0}) - [G_{1}'(\eta_{\gamma 1}R_{0})]^{2}\} \end{cases}$$
(21)

которые далее будем обозначать величиной  $c_{jj}$ , имеющий одной из формул в зависимости от того в каком слое находится граница  $\xi(\tau_j)$ .

Где  $G_n(\eta_m r)$  - функция Бесселя III-го рода.

Таким образом, подставив в формуле (18) нормирующие делители, придем к решению уравнения (17), где  $w_k(r,0) = U_k(r,0) - \chi_k(r,0)$ .

Решение задачи (15), (16) будем искать в виде ряда

$$V_k(r,\tau_j) = \sum_{\gamma=1}^{\infty} V_{\gamma k}(\tau_j) \left[ A_k J_0(\eta_{\gamma k} r) + B_k Y_0(\eta_{\gamma k} r) \right], \tag{22}$$

так что граничные условия удовлетворяются сами собой, при этом предполагается, что функции  $\psi_k(r,\tau_j)$  разлагаются в ряд по собственным функциям

$$\psi_k(r,\tau_j) = \sum_{\gamma=1}^{\infty} \psi_{\gamma k}(\tau_j) \left[ A_k J_0(\eta_{\gamma k} r) + B_k Y_0(\eta_{\gamma k} r) \right]. \tag{23}$$

Подставляя (22), (23) в (15) и полагая, что  $r = \sqrt{\tau}$ , приведем задачу (21)-(23) к виду

$$\frac{\partial V_k(\tau_j, \gamma)}{\partial \tau} + a_k \left(\frac{\eta_{\gamma k}}{2}\right)^2 V_k(\tau_j, \gamma) = \psi_k(\tau_j, \gamma); \tag{24}$$

$$V_k(0,\gamma) = 0 , (25)$$

и получаем ее решение

$$V_{jk} = \int_{0}^{\tau_{j}} \psi_{jk}(\tau) \cdot \exp \left[ a_{k} \left( \frac{\eta_{jk}}{2} \right)^{2} (\tau - \tau_{j}) \right] d\tau , \qquad (26)$$

а коэффициенты  $\psi_{\gamma k}(\tau)$  находятся из условия ортонормированности собственных функций

$$\psi_{\gamma k}(\tau) = \frac{1}{c_{\gamma k}} \int_{R_{k-1}}^{R_k} \psi_k(r, \tau_j) \left[ A_k J_0(\eta_{\gamma k} r) + B_k Y_0(\eta_{\gamma k} r) \right] r dr$$
(27)

Подставляя (27) в (26) получаем окончательное решение задачи (5)

$$V_{k}(r,\tau_{j}) = \sum_{\gamma=1}^{\infty} \frac{1}{c_{\gamma k}} \int_{0}^{\tau_{j}} \int_{R_{k-1}}^{R_{k}} \psi_{k}(r,\tau_{j}) \cdot e^{\left[a_{k}\left(\frac{\eta_{\gamma k}}{2}\right)^{2}\left(\tau-\tau_{j}\right)\right]} \cdot \left[A_{k}J_{0}(\eta_{\gamma k}r) + B_{k}Y_{0}(\eta_{\gamma k}r)\right] r dr d\tau$$

$$(28)$$

Согласно (18) и (28) решение уравнения 14 имеет вид

$$Y_{k}(r,\tau_{j}) = \sum_{\gamma=1}^{\infty} \frac{e^{a_{k}\eta^{2}_{jk}\tau_{j}}}{c_{\gamma k}} \int_{R_{k-1}}^{R_{k}} \{Q_{k}(r) + U_{k}(r,0) - \chi_{k}(r,0)\} \cdot \left[A_{k}J_{0}(\eta_{\gamma k}r) + B_{k}Y_{0}(\eta_{\gamma k}r)\right] r dr , (29)$$

где 
$$Q_k(r) = \int_0^{\tau_j} \psi_k(r, \tau_j) \cdot e^{a_k \left(\frac{\eta_{jk}}{2}\right)^2 \left(\tau + 3\tau_j\right)} d\tau$$

С учетом (10) и (29) итоговое решение задачи (11) имеет вид

$$U_{k}(r,\tau_{j}) = \sum_{\gamma=1}^{\infty} \frac{e^{-a_{k}\eta^{-}_{jk}\tau_{j}}}{c_{jk}} \times \left\{ \int_{R_{k-1}}^{R_{k}} \left\{ \int_{0}^{\tau_{j}} \psi_{k}(r,\tau_{j}) \cdot e^{a_{k}\left(\frac{\eta_{jk}}{2}\right)^{2}\left(\tau+3\tau_{j}\right)} d\tau \right\} + U_{0} - \chi_{k}(r,0) \right\} \cdot \left[ A_{k}J_{0}(\eta_{jk}r) + B_{k}Y_{0}(\eta_{jk}r) \right] r dr +$$

$$(30)$$

где последовательность  $\{t_i\}$  определяется рекуррентной формулой

$$\tau_{j+1} = \tau_{j} + \sigma \Delta \xi_{j-1} \left[ \lambda_{I} \frac{\partial U_{I}(r, \tau_{j})}{\partial r} \bigg|_{r=\xi_{j-1}} - \lambda_{II} \frac{\partial U_{II}(r, \tau_{j})}{\partial r} \bigg|_{r=\xi_{j}} \right]^{-1}, \tag{31}$$

в которой  $DX_{j-1} = X_{j-1} - X_j$ ;

$$\left.\frac{\partial U_k\!\left(\!r,\boldsymbol{\tau}_j\right)}{\partial r}\right|_{r=\boldsymbol{\xi}_j} = \frac{\partial \chi_k\!\left(\!r,\boldsymbol{\tau}_j\right)}{\partial r}\bigg|_{r=\boldsymbol{\xi}_j} - \sum_{\gamma}^{\infty} N_{\gamma} \eta_{\gamma\!k} \left[\!A_k J_k\!\left(\!\eta_{\gamma\!k}\boldsymbol{\xi}_j\right)\! + B_k Y_k\!\left(\!\eta_{\gamma\!k}\boldsymbol{\xi}_j\right)\!\right]_{r=\boldsymbol{\xi}_j} + \left.\sum_{\gamma}^{\infty} N_{\gamma} \eta_{\gamma\!k} \left[\!A_k J_k\!\left(\!\eta_{\gamma\!k}\boldsymbol{\xi}_j\right)\! + B_k Y_k\!\left(\!\eta_{\gamma\!k}\boldsymbol{\xi}_j\right)\!\right]_{r=\boldsymbol{\xi}_j}\right]_{r=\boldsymbol{\xi}_j}$$

где

$$N_{\gamma} = \frac{e^{-a_{k}\eta^{2}_{\gamma k}\tau_{j}}}{c_{\gamma k}} \int_{R_{k-1}}^{R_{k}} \{Q_{k}(r) + U_{0} - \chi_{0}\} \cdot \left[A_{k}J_{0}(\eta_{\gamma k}r) + B_{k}Y_{0}(\eta_{\gamma k}r)\right] r dr,$$
(32)

$$R_{k-1}(r,\tau) < \xi_j(\tau) < R_k(r,\tau), \ a = \frac{\xi_{II,j}}{\xi_{I,j}} > 1, \ \chi_k(r,0) = \chi_0.$$

Результаты расчетов можно использовать для разработки системы управления производства композиционных материалов.

- 1. *Шафеев М.Н.* О сходимости метода изотермических поверхностей. // ВИНИТИ № 6597-В86. Уфа, 1986. 13 с.
- 2. Лыков А.В. Теория теплопроводности. М.: Высшая школа, 1967. 599 с.
- 3. *Беляев Н.М., Рядно А.А.* Методы теории теплопроводности. Т.2. М.: Высшая школа, 1982. 303 с.

05.23.11

## <sup>1</sup>Р.В. Андронов к.т.н., <sup>2</sup>Б.П. Елькин к.т.н., <sup>1</sup>Д.А. Гензе к.т.н.

<sup>1</sup>Тюменский государственный архитектурно-строительный университет (ТюмГАСУ), кафедра автомобильных дорог и аэродромов, Тюмень, aroma77777@mail.ru, ehre2003@mail.ru

<sup>2</sup>Тюменский государственный нефтегазовый университет (ТюмГНГУ), кафедра «Транспорт углеводородных ресурсов», Тюмень, borelpet@yandex.ru

# ПОНЯТИЕ ЗАТОРА И ФОРМИРОВАНИЕ ОЧЕРЕДЕЙ НА РЕГУЛИРУЕМОМ ПЕРЕСЕЧЕНИИ В УСЛОВИЯХ ПЛОТНОГО ТРАНСПОРТНОГО ПОТОКА

В статье рассматривается понятие затора на регулируемом пересечении. Несмотря на выход в последние годы значительного количества нормативной документации по организации дорожного движения, пока отсутствует четко определенное понятие затора транспортного потока на регулируемом пересечении. В статье на основе анализа формирования очереди перед регулируемым пересечением предлагается сформулированное определение транспортного затора на регулируемом пересечении. Результаты публикации полезны для методик определения задержек транспорта на пересечениях и определения целесообразности мероприятий по улучшению организации дорожного движения.

Ключевые слова: *Регулируемые пересечения, очереди, транспортные заторы, задержки транспортных средств, плотный транспортный поток.* 

Реальностью транспортной ситуации в современных крупных городах России стало движение автомобилей в режиме плотных транспортных потоков с высоким уровнем загрузки улично-дорожной сети и существование заторов на ней. В значительной степени это обусловлено отставанием развития транспортной инфраструктуры от роста автопарка в условиях т.н. «взрывной автомобилизации». Систематические заторы на улично-дорожной сети городов прежде всего образуются на регулируемых пересечениях, т.к. пропускная способность городской улицы в этом месте является минимальной.

Несмотря на выход в последние годы значительного количества нормативной документации по организации дорожного движения, в частности [1], пока отсутствует четко определенное понятие транспортного затора на регулируемом пересечении. В монографии [2] предлагается сформулировать понятие затора на регулируемом пересечении: «...затор – это состояние транспортного потока, когда длительность задержки транспортных средств на пересечении составляет более длительности одного цикла». Такой режим работы пересечения может возникать при превышении количества подходящих транспортных средств к стоп-линии пересечения над его пропускной способностью в определенный период [3].

$$K_{_{3}} = \frac{N}{P} \tag{1}$$

где К<sub>3</sub> - коэффициент загрузки пересечения;

N – интенсивность подхода автомобилей к стоп-линии пересечения, авт/цикл;

Р – практическая пропускная способность стоп-линии пересечения, авт/цикл;

T.к. при прохождении регулируемого пересечения транспортные потоки движутся с периодическими остановками, то длина очереди изменяется в соответствии с циклом светофора. В момент загорания разрешающего сигнала очередь достигнет максимальной длины  $(q_{max})$  и постепенно начнет уменьшаться. Во время действия разрешающей фазы очередь будет уменьшается и общая длина станет минимальной  $(q_{min})$ .

В зависимости от значения этих параметров и пропускной способности пересечения в створе стоп-линии в процессе исследования затора были выделены несколько схем образования очередей по одной полосе движения и определения задержек по ним [4].

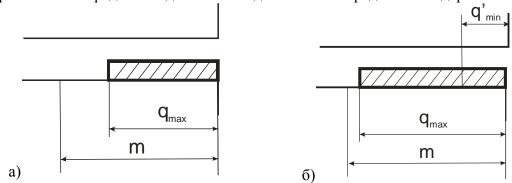


Рис. 1. а- схема накопления автомобилей на пересечении при  $q_{max} < m; q'_{min} = 0; q_{min} = 0$  б - схема накопления автомобилей на пересечении при  $q_{max} < m; 0 < q'_{min} < m; q_{min} = 0;$ 

При первой ситуации (Рис.1 а;  $K_3$ <1) общая длина очереди меньше максимального количества транспортных средств, которые смогли бы проехать на разрешающий сигнал светофора, перед загоранием запрещающего сигнала очередь отсутствует. На запрещающий сигнал останавливается только часть автомобилей, часть проезжает либо свободно, либо несколько снижая скорость.

При второй ситуации (Рис.1 б;  $K_3>1$ ) через стоп-линию успевает проезжать меньше автомобилей, чем подъехало к пересечению. В данном случае последние в этой пачке автомобили, хотя не успевают проезжать на разрешающий сигнал, но в процессе подхода к пересечению замедляют скорость, пристраиваясь к последнему в очереди автомобилю, а затем останавливаются на запрещающий сигнал. Также отсутствуют, несмотря на некоторое превышение подходящего потока над уходящим, автомобили, останавливающиеся два раза и продолжительность задержки которых больше длительности цикла, т.е. те, которые попадают под определение затора [2]. Часть автомобилей полностью не останавливаются, а только снижают свою скорость при уплотнении потока в очереди. Отсутствуют автомобили, проезжающие через стоп-линию без снижения скорости.

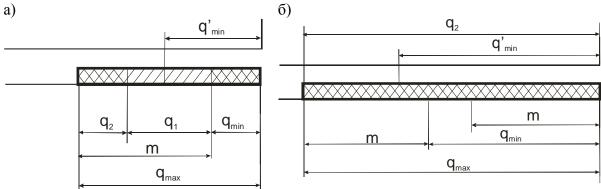


Рис. 2. а - схема накопления автомобилей на пересечении при q<sub>max</sub> > m; q<sub>min</sub> <m; q'<sub>min</sub> <m; б - схема накопления автомобилей на пересечении при q<sub>max</sub> > m; q<sub>min</sub> >m; q'<sub>min</sub> >m; Где q<sub>max</sub> — накопленное количество автомобилей к началу действия разрешающей фазы светофора (максимальная длина очереди);

 $q_{min}$  — оставшееся от первоначальной очереди количество автомобилей к началу действия запрещающей фазы светофора;  $q_{min} = q_{max}$ -m;

т – практическая пропускная способность пересечения за цикл светофора;

 $q'_{min}$  – фактическое количество оставшихся автомобилей в очереди,  $q'_{min} = q_{min} + n$ ;

n – количество автомобилей, подошедших к очереди за время ее разъезда;

q<sub>1</sub> – автомобили, остановившиеся только один раз на пересечении;

 $q_2$  - автомобили, остановившиеся два и более раз на пересечении (продолжительность задержки более цикла);

При третьей ситуации (Рис.2 а;  $K_3>1$ ) максимальная длина очереди из остановившихся на запрещающий сигнал светофора превышает возможное, которое может пропустить за разрешающую фазу пересечение, и последние в очереди автомобили останавливаются два раза перед проездом пересечения с продолжительностью задержки более продолжительности цикла (выделено штриховкой). Остальные автомобили останавливаются перед пересечением один раз.

При последней ситуации (Рис.2 б;  $K_3>1$ ) минимальная длина очереди превышает возможную пропускную способность, поэтому все автомобили перед пересечением остановятся два и более раз. Данная схема соответствует систематическим транспортным заторам, которые имеют место в результате длительного превышения интенсивности подходящего потока автомобилей над пропускной способностью пересечения.

Т.о. существуют схемы (вторая и третья), когда в очереди имеются автомобили, остановившиеся только один раз на запрещающий сигнал светофора и продолжительность задержки которых будет меньше продолжительности цикла светофора. В этом случае затор будет «неполным». При второй ситуации не все подходящие автомобили успевают проезжать на разрешающий сигнал, но отсутствуют повторные остановки перед стоплинией.

В связи с этим предлагается сформулировать понятие затора на регулируемом пересечении следующим образом: <u>затор на регулируемом пересечении</u> — это состояние транспортного потока, при котором транспортные средства, подошедшие за время (одного) цикла светофора, не успевают полностью проехать его за его разрешающую фазу.

В дальнейшем, используя данный анализ формирования очередей, на основе метода «Монте-Карло» была разработана вероятностная модель образования затора и определения задержек транспортных средств [4,5]. Данная методика позволяет оценивать эффективность мероприятий по оптимизации светофорного регулирования.

#### Выводы:

- 1. При исследовании формирования очереди на регулируемом пересечении выделено 4 схемы образования очередей при его работе на пределе пропускной способности;
  - 2. Определению затора [2] соответствует режим движения только при 4-й схеме;
- 3. Предложено сформулировать понятие <u>затора</u> транспортного потока <u>на регулируемом пересечении</u> как состояние транспортного потока, при котором транспортные средства, подошедшие за время цикла светофора, не успевают полностью проехать его за его разрешающую фазу.
- 4. На основе приведенных схем образования очередей в [4,5] предложена методика определения задержек транспортных средств на регулируемом пересечении, базирующаяся на имитационном моделировании по методу «Монте-Карло».

- 1. ОДМ 218.2.020-2012. Методические рекомендации по оценке пропускной способности автомобильных дорог. М.: Информавтодор, 2012. 148с.
- 2. *Капитанов В.Т., Хилажев Е.Б.* Управление транспортными потоками в городах. М.: Транспорт, 1985.
- 3. Дрю Д. Теория транспортных потоков и управление ими. М.: Транспорт, 1972, 424 с.
- 4. *Андронов Р.В.* Моделирование очередей на регулируемых пересечениях улично-дорожной сети крупного города в условиях плотного транспортного потока: дисс. ... канд.техн.наук. Тюмень, 2007. 187 с.
- 5. *Андронов Р.В., Елькин Б.П.* Расчет потерь от заторов на регулируемых пересечениях. Журнал Автомобильные дороги 2006г. №8. с.14.

05.13.18

## <sup>1</sup>С.М. Аульченко, <sup>2</sup>Е.И. Васильева, <sup>2</sup>В.О. Каледин

<sup>1</sup>Институт теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича СО РАН, г. Новосибирск, admin@itam.nsc.ru

<sup>2</sup>Новокузнецкий институт (филиал) ФГБОУ ВПО «Кемеровский государственный университет», факультет информационных технологий, кафедра математики и математического моделирования, г. Новокузнецк, lenavas2003@mail.ru, vkaled@mail.ru

# ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧИ ОБТЕКАНИЯ ПРОФИЛЯ КРЫЛА ЛАМИНАРНЫМ ПОТОКОМ ВЯЗКОЙ НЕСЖИМАЕМОЙ ЖИДКОСТИ

Предложено решение задачи об обтекании крыла ламинарным потоком. При численном моделировании была использована модель вязкой сжимаемой жидкости. Отличительная особенность её состоит в том, что предельный переход от рассматриваемой модельной среды к среде с бесконечно большой объёмной вязкостью даёт несжимаемую жидкость. Рассчитанное влияние угла атаки на аэродинамические характеристики сопоставляется с данными эксперимента.

Ключевые слова: вязкая сжимаемая жидкость, коэффициент подъёмной силы, коэффициент лобового сопротивления, угол атаки, поляра.

В работах [1, 2] на основе решения сопряженных задач гидродинамики и упругого деформирования оболочки исследованы некоторые вопросы, связанные с распространением бегущих волн по поверхности тела вращения. В [1, 2] численное интегрирование уравнения движения упругой оболочки и уравнений Навье-Стокса осуществлялось с помощью алгоритмов, основанных на разных принципах: вариационном и конечно-разностном, соответственно. Для построения единой расчетной модели представляется перспективной методика численного интегрирования уравнений движения сплошной среды без связей, предложенная авторами ранее [3, 4, 5]. В настоящей работе её работоспособность анализируется на примере расчета поля скоростей потока, обтекающего профиль крыла.

Определяющее уравнение включает слагаемые со сдвиговой и объёмной вязкостью:

$$\sigma_{ii} = -(p - p^*)\delta_{ii} + \tau_{ii} - p^*\delta_{ii}, \tag{1}$$

где  $(p-p^*)=-3\xi\dot{\varepsilon}_0$ ,  $\tau_{ij}=2\mu(\dot{\varepsilon}_{ij}-\dot{\varepsilon}_0\delta_{ij})$  – тензор вязких напряжений,  $\dot{\varepsilon}_0=\frac{1}{3}\dot{\varepsilon}_{kk}$  – скорость

объёмной деформации,  $\xi$  — объёмная вязкость,  $p^*$  — физический параметр, имеющий размерность давления,  $\sigma_{ij}$ ,  $\dot{\varepsilon}_{ij}$  — тензоры напряжений и скоростей деформации.

Это позволяет использовать наиболее общую вариационную постановку задачи и определяет выбор граничных условий. Предельный переход к бесконечной объёмной вязкости ( $\xi \to \infty$ ) даёт несжимаемую ньютонову жидкость:

$$\sigma_{ij} = -p\delta_{ij} + 2\mu \dot{\varepsilon}_{ij}, \dot{\varepsilon}_{kk} = 0.$$
 (2)

При подстановке реологического уравнения (1) в уравнения движения сплошной среды, получим уравнение движения, пригодное только для частного класса сред – вязких сжимаемых жидкостей:

$$\rho \dot{\upsilon}_i = \left(\xi + \frac{1}{3}\mu\right) \upsilon_{j,ji} + \mu \upsilon_{i,jj} + \rho b_i. \tag{3}$$

В результате дискретизации получена разрешающая система уравнений, которая имеет следующий вид:

$$M\dot{\upsilon} + (C+S)\upsilon = Q - K\upsilon, \tag{4}$$

где  $M = \int_{\Omega} N^T \rho N d\Omega$  — матрица масс;  $C = \int_{\Omega} \rho N^T \dot{\varepsilon} N d\Omega$  — матрица конвективных масс;  $K = \int_{\Omega} \rho N^T \dot{\omega} N d\Omega$  — матрица завихренности;  $\dot{\varepsilon} = B \upsilon$  — матрица-столбец скоростей деформаций; N — матрица функций формы;  $\upsilon$  — матрица-столбец узловых скоростей;  $S = \int_{\Omega} B^T D B d\Omega$  — матрица демпфирования; B — матрица деформаций, содержащая частные производные по пространственным координатам;  $Q = \int_{\partial\Omega} N^T q d\Gamma + \int_{\Omega} B_0^T p * d\Omega$  — вектор эквивалентных узловых сил,  $B_0$  — матрица, связывающая скорость объемной деформации с узловыми скоростями;  $N^T$ ,  $B^T$ ,  $B_0^T$  — транспонированные матрицы; D — матрица вязкости, которая имеет следующий вид:

$$D = \begin{pmatrix} \left(\xi + \frac{4}{3}\mu\right) & \left(\xi - \frac{2}{3}\mu\right) & \left(\xi - \frac{2}{3}\mu\right) & 0 & 0 & 0 \\ \left(\xi - \frac{2}{3}\mu\right) & \left(\xi + \frac{4}{3}\mu\right) & \left(\xi - \frac{2}{3}\mu\right) & 0 & 0 & 0 \\ \left(\xi - \frac{2}{3}\mu\right) & \left(\xi - \frac{2}{3}\mu\right) & \left(\xi + \frac{4}{3}\mu\right) & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \mu & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \mu & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \mu \end{pmatrix}.$$

Положив в системе (4)  $\dot{\upsilon} = 0$ , так как течение установившееся, имеем нелинейную систему уравнений:

$$(C(\upsilon) + S)\upsilon = Q - K\upsilon. \tag{5}$$

В основу программной реализации в составе пакета программ «Композит-НК» [6] положен разработанный алгоритм расчёта узловых значений скоростей [2,3], который состоит в следующем:

Шаг 1. Задаются начальные значения вектора скорости  $v^0 = v_{\mu q q}$ .

Шаг 2. Формируем матрицу демпфирования S и вектор узловых сил Q. Положим  $n=0,\,t=0.$ 

Шаг 3. Формируем матрицу конвективных масс  $C(\upsilon^n)$  и матрицу завихренности  $K(\upsilon^n)$ , которые изменяются после каждого изменения вектора скоростей.

Шаг 4. Формируем матрицу  $A = C(\upsilon^n) + S$  и вектор  $R = Q - \tau K(\upsilon^n)\upsilon^n$ .

Шаг 5. Факторизуем матрицу  $A = LL^T$ .

Шаг 6. Решаем систему  $LL^T v^{n+1} = R$ .

Шаг 7. Проверяем условие сходимости:  $\left|\upsilon_{n+1}-\upsilon_{n}\right|\leq \varepsilon$ .

Шаг 8. Если сходимость не достигнута, увеличиваем n на 1 и переходим к шагу 3.

Давления и касательные напряжения можно найти путем дифференцирования поля скоростей и подстановкой полученного тензора скоростей деформаций в реологическое уравнение.

Точность численной схемы оценена на решении следующей задачи. Рассмотрим стационарное течение вязкой сжимаемой жидкости в канале, имеющей препятствие в виде крыла. Граничные условия примем следующие: на нижней и верхней стенках ставятся условия непротекания, на входе зададим начальную скорость, на выходе — нулевое давление. На профиле крыла ставятся условия прилипания жидкости  $\upsilon_i = 0$ .

Имеется большое количество экспериментальных данных об аэродинамических характеристиках дозвуковых крыловых профилей. Для верификации предложенного подхода

44

к моделированию течений вязкой несжимаемой жидкости было проведено сравнение расчетных и экспериментальных [7] значений коэффициентов подъемной силы и сопротивления серии Р-II-12% ЦАГИ для диапазона углов атаки. Профиль имеет следующие геометрические характеристики:

- относительная толщина  $\bar{c} = 0.12$ ;
- относительная кривизна  $\overline{f} = 0.034$ ;
- относительное положение максимальной кривизны  $\overline{x_f} = 0.25$  .

На рис.1 приведен его внешний вид.



Рис.1 – Профиль Цаги Р-ІІ-12%

Эксперимент, описанный в работе [7], был выполнен на модели крыла размером  $300_{MM} \times 1500_{MM}$  при числе Рейнольдса Re=850000. Размеры расчётной модели и скорость потока на входе выбраны из условия сохранения числа Рейнольдса  $\text{Re} = \frac{\rho \upsilon b}{\mu}$ , где  $\rho = 0.125 \text{ кг/m}^3$ ,  $\mu = 1.82 \cdot 10^{-6} \text{ Па·c}$ , b = 4000.

Для решения дискретного уравнения (5) применяется метод конечных элементов. Область разбивается на треугольные элементы с линейной интерполяцией скоростей, см. рис. 2.

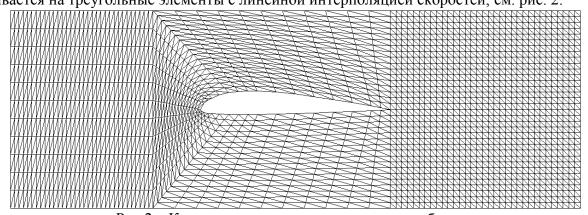


Рис.2 – Конечно-элементная дискретизация области

В эксперименте для получения аэродинамических характеристик крыла полная аэродинамическая сила разлагается на две составляющие, вектор подъёмной силы Y и лобового сопротивления X.

В таблице 1 приведены: угол атаки  $\alpha^{\circ}$ , экспериментально измеренные значения коэффициентов подъёмной силы  $C_{y^{(9)}}$  и лобового сопротивления  $C_{x^{(9)}}$  и рассчитанные коэффициенты подъёмной силы  $C_y$  и лобового сопротивления  $C_x$ , где

$$C_y = \frac{2Y}{\rho v^2 b}, C_x = \frac{2X}{\rho v^2 b}.$$

Таблица 1 - Коэффициенты подъёмной силы и лобового сопротивления

$lpha^{\circ}$	$C_{y(9)}$	$C_{y}$	$C_{x(\mathfrak{o})}$	$C_x$
-4	-0,078	-0,078	0,0130	0,0132
-2	0,054	0,0541	0,0118	0,0118
0	0,190	0,190	0,0138	0,0135
2	0,326	0,327	0,0182	0,0180
4	0,456	0,457	0,0260	0,0261

Графики зависимости коэффициентов лобового сопротивления и подъёмной силы от угла атаки представлены на рис 3.

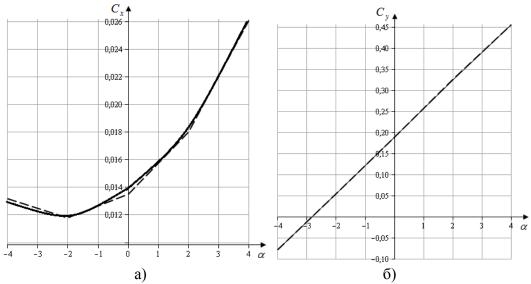


Рис. 3 – Зависимости коэффициентов лобового сопротивления (a) и подъёмной силы (б) от угла атаки. Сплошная линия – эксперимент, пунктирная линия – расчет.

Из рисунка видно, что коэффициенты лобового сопротивления и подъёмной силы, полученные численно, достаточно хорошо согласуются с экспериментальными значениями этих коэффициентов при всех углах атаки. Отклонение коэффициентов подъёмной силы составляет лишь 0,3%. Наблюдается линейный закон изменения  $C_y$  по  $\alpha$ . Рассчитанные коэффициенты лобового сопротивления отличаются от экспериментальных не более, чем на 2%.

На рис. 4 представлена поляра Лилиенталя первого рода, изображающая зависимость  $C_{_{y}}$  от  $C_{_{x}}$  с разметкой углов атаки.

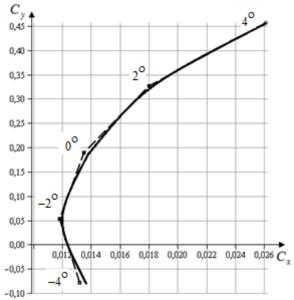


Рис. 4 – Поляра Лилиенталя первого рода: эксперимент, численный расчёт (пунктирная линия).

Следует отметить высокую точность вычисления такой трудно поддающейся расчету характеристики, как сопротивление [8]. Т.к. максимальный вклад в сопротивление давления вносят области профиля вблизи передней и задней кромки, то для достижения точности расчета коэффициента лобового сопротивления приходилось последовательно увеличивать

число узлов на нижней части носка профиля. Коэффициент подъемной силы меньше зависит от густоты сетки элементов.

Проведенные тестовые расчеты показывают работоспособность предложенного алгоритма и позволяют в рамках единой расчетной модели решать сопряженные задачи, например, задачи аэроупругости.

В рамках модели вязкой сжимаемой жидкости разработан алгоритм расчёта узловых значений скоростей, применение которого показано на решении задачи об обтекании профиля серии P-II-12%. Коэффициенты подъёмной силы и лобового сопротивления, полученные численно, достаточно хорошо согласуются с экспериментальными значениями этих коэффициентов при всех углах атаки.

- 1. Аульченко С.М., Каледин В.О., Аникина Ю.В. Моделирование механизма снижения сопротивления оболочек тел вращения, обтекаемых вязкой жидкостью // Письма в ЖТФ. 2007. T. 33, вып. 17. C. 83-88.
- 2. Аульченко С.М., Каледин В.О., Шпакова Ю.В. Вынужденные колебания оболочек тел вращения, обтекаемых вязкой жидкостью // Письма в ЖТФ. -2009.- Т. 35, вып. 3. С. 33-39.
- 3. *Васильева Е.И*. Модель течения вязкой сжимаемой жидкости со специальным определяющим уравнением // Краевые задачи и математическое моделирование: тематич. сб. науч. статей Новокузнецк, 2010. Т.1. С. 52-58
- 4. *Аульченко С.М., Васильева Е.И., Каледин В.О.* Численная схема для приближённого расчёта дву- и трёхмерного течения вязкой сжимаемой жидкости // Решетневские чтения: материалы XV Междунар. науч. конф., посвящ. памяти генер. Конструктора ракет.-космич. систем акад. М.Ф. Решетнева Красноярск, 2011. Ч. 2. С. 535-536
- 5. Аульченко С.М., Васильева Е.И., Каледин В.О. Моделирование ламинарного течения вязкой сжимаемой жидкости при малых скоростях // Вестник Кемеровского государственного университета. -2013. №2-1 (54). С. 170-173.
- 6. *Бурнышева Т.В., Каледин В.О., Равковская И.В., Эптешева С.В.* Развитие пакета программ математического моделирования сопряженных задач механики неоднородных конструкций // Вестник КемГУ. -2010. T. 41, N = 1. C. 3-8.
- 7. Кравец А.С. Характеристики авиационных профилей М.: Оборонгиз, 1939. 213 с.
- 8. Вождаев В.В., Теперин Л.Л. Влияние расчётной сетки на аэродинамические характеристики профиля NACA0012 при естественном ламинарно-турбулентном переходе // Техника воздушного флота. -2012. -№2. С. 3-8.

05.22.07

#### А.П. Буйносов д.т.н., Д.С. Денисов

Уральский государственный университет путей сообщения (УрГУПС), кафедра «Электрическая тяга», Екатеринбург, byinosov@mail.ru, ds.denisov7@yandex.ru.

#### СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ИЗНОСА БАНДАЖЕЙ КОЛЕСНЫХ ПАР ЭЛЕКТРОВОЗОВ 2ЭС10 И ВЛ11

В статье приведены результаты сравнительного анализа износа бандажей колесных пар электровозов 29С6 и ВЛ11 с различными профилями при эксплуатации на полигоне Свердловской и Западно-Сибирской железных дорогах.

Ключевые слова: электровоз, колесная пара, бандаж, износ, сравнение, анализ.

Износ бандажей колесных пар электровозов зависит от многих факторов [1]. В [2] приведен сравнительный анализ износа колесных пар электровозов 2ЭС10 с различной маркой бандажей. Важнейшим фактором, влияющим на износостойкость бандажей, кроме твердости, является и конфигурация профиля поверхности катания. Как же различается интенсивность износа бандажей колесных пар электровозов 2ЭС10 и ВЛ11 с различными профилями? Ответ на этот вопрос был получен на основе наблюдения за электровозами в эксплуатации и замером контролируемых параметров [3]. Эта работа была выполнена в депо Свердловск и Пермь-Сортировочная в 2014 и начале 2015 годов.

Обработка собранной информации о значении контролируемых параметров производилась электронным прибором КИП-05 и профилометром с последующей обработкой на ПЭВМ по программе «АРМ Депо».

Подконтрольная эксплуатация электровозов 2ЭС10 выявила нехарактерные для других серийных электровозов формы износа бандажей колесных пар.

На электровозах 2ЭС10 (в отличие электровозов серии ВЛ11, обточка колесных пар которых в основном проводится по браковочной толщине гребня) появились такие явления как: 1) интенсивный износ гребней колесных пар с образованием выдавливания металла на вершину гребня; 2) прокат — износ поверхности бандажа по кругу катания; 3) раскат — местное уширение толщины бандажа.

В первом случае в результате износа гребня металл выдавливается на вершину гребня и образует на ней нарост, который при проведении замеров параметров бандажа вносит в измерения погрешность в показаниях толщины гребня и проката. Во втором и третьем случаях из-за особенностей работы асинхронного привода происходит выработка бандажа по поверхности катания с выдавливанием части металла на край бандажа в виде наплывов и местного уширения толщины бандажа.

Для устранения последствий нехарактерного износа бандажей колесных пар в 2014 году обточено 163 колесные пары электровозов серии 2ЭС10, а удельное количество обточек на 1 млн. км составило 54,9 случая. Средний пробег между обточками у электровозов серии 2ЭС10 составил 109,3 тыс. км.

Показатель удельного количества обточек за 12 месяцев 2014 года по электровозам ВЛ11 приписки ТЧЭ-17, эксплуатируемых в сопоставимых условиях, составляет 95,1 на 1 млн км пробега. Все обточенные бандажи имеют марку стали 2 [4].

Таблица. Распределение причин обточек колесных пар электровозов 2ЭС10 за 12 мес. 2014 г.

Причина обточки	Кол-во случаев
Предельная толщина гребней	44
Местное уширение бандажа и выдавливание металла на вершину гребня	115
Выкрашивание металла на вершине гребня	4

На рис. 1 приведены средние значения интенсивности износа гребней бандажей электровозов 2ЭС10 и ВЛ11 с апреля по декабрь 2014 года.

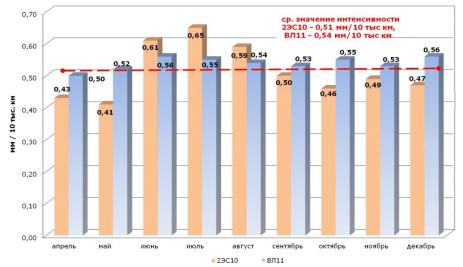


Рис. 1. Интенсивность износа гребней бандажей электровозов в 2014 году

Как видно из рис. 1, увеличение значений интенсивности износа гребней электровозов 2ЭС10 в летний период (июнь—август) объясняется увеличением относительно всего эксплуатируемого парка процента новых локомотивов с толщиной гребня от 33 до 30 мм, имеющих большую интенсивность износа из-за необходимости приработки гребней [5]. В мае принято в эксплуатацию 5 электровозов 2ЭС10 №№ 014, 015, 016, 017, 018; в июне 2 электровоза 2ЭС10 №№ 019, 020; в августе 3 электровоза 2ЭС10 №№ 021, 022, 023. Таким образом, в июне количество локомотивов, имеющих повышенную интенсивность износа, составило 26 % от эксплуатируемого парка, в июле — 34 %, в августе — 20 %. На 01.05.2014 доля новых электровозов составляла 8 % (электровоз 2ЭС10 №012 запущен в эксплуатацию 14.04.2014 г.). Перед этим последнее поступление новых электровозов с завода было 17.01.2014 г. (2ЭС10 № 013).

Таким образом, однозначно нельзя ответить на вопрос гребни бандажей каких электровозов интенсивнее изнашиваются.

Динамика интенсивности износа колесных пар по поверхности катания электровозов 2ЭС10 соответствует ресурсу в 690–750 тыс. км для бандажей из стали марки 2, имеющими твердость 280–295 НВ по ГОСТ 398-2010. Для повышения ресурса бандажей колесных пар электровозов 2ЭС10 с № 023 выпускаются с бандажами повышенной твердости, изготовленными из стали марки 4, имеющим твердость 320–360 НВ. Ведется дальнейшее накопление статистических данных по износу данных бандажей.

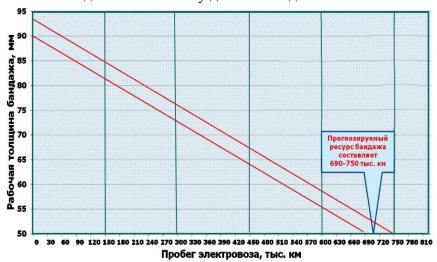


Рис. 2. Динамика изменения средней толщины бандажей колесных пар электровозов 2ЭС10

Для проведения сравнительных анализа интенсивности износа гребней бандажей колесных пар с различными профилями поверхности катания три новых электровоза 2ЭС10 №№ 029, 030 и 031 были обточены по профилю ДМетИ (ЛР). Сравнение интенсивности износа гребней колесных пар производилось электровозами 2ЭС10 №№ 026, 027 и 028, бандажи которых были обточены по профилю ГОСТ 11018-2011.

Предварительные результаты значений средних интенсивностей износа гребней бандажей колесных пар электровозов 2ЭС10 при пробеге 15 тыс. км от начала эксплуатации:

- бандажи с профилем ДМетИ ЛР (толщина гребня 30 мм) 0,53 мм/10 тыс. км;
- − бандажи с профилем ГОСТ 11018-2011 (толщина гребня 33 мм) − 0,95 мм/10 тыс. км.

Результаты значений интенсивности износа гребней при пробеге 30 тыс. км от начала эксплуатации:

- бандажи с профилем ДМетИ ЛР (толщина гребня 30 мм) 0,47 мм/10 тыс.км;
- бандажи с профилем ГОСТ 11018-2011 (толщина гребня 33 мм) 0,77 мм/10 тыс.км.

Результаты расчета интенсивностей износа приведены на рис. 3.

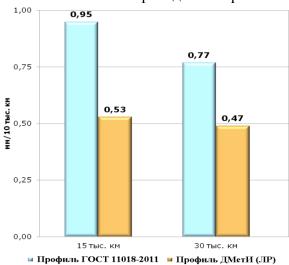


Рис. 3. Интенсивность износа гребней бандажей колесных пар с различными профилями бандажей

Таким образом, гребни бандажей электровозов 2ЭС10 с различной конфигурацией профиля поверхности катания колесных пар (по ГОСТ 11018–2011 и ДМетИ типа ЛР) имеют разную степень износа колесных пар. Бандажи, обточенные по профилю ДМетИ (ЛР) на 10–16 % изнашиваются менее интенсивно, чем бандажи с конфигурацией профиля поверхности катания по ГОСТ 11018–2011.

Можно сделать вывод: что эффективность применения обточки бандажей по профилю ДМетИ (ЛР) очевидна. Но для окончательного решения необходимо продолжить результаты исследований на других электровозах.

- 1. *Иванов И.А.*, *Урушев С.В.* О повышении ресурса цельнокатаных колес // Железнодорожный транспорт. 2000. № 6. С. 38-40.
- 2. *Буйносов А.П., Денисов Д.С.* Сравнительный анализ износа колесных пар электровозов 2ЭС10 с различной маркой бандажей // Научно-технический вестник Поволжья. 2014. № 6. С. 84-86.
- 3. *Буйносов А.П.* Основные причины интенсивного износа бандажей колесных пар подвижного состава и методы их устранения. Екатеринбург: Изд-во УрГУПС, 2009. 224 с.
- 4. *Иванов И.А.*, *Урушев С.В.*, *Ситаж М.*, *Будюкин А.М.* Повышение работоспособности колес рельсового транспорта при ремонте технологическими методами. СПб.: Из-во ПГУПС, 1995. 124 с.
- 5. *Буйносов А.П.*, *Шепелева И.О*. Оценка экономической эффективности применения рекуперативного торможения электровозов // Научно-технический вестник Поволжья. 2014. N 4. С. 81-83.

05.22.07

#### А.П. Буйносов д.т.н., А.М. Кислицын

Уральский государственный университет путей сообщения (УрГУПС), кафедра «Электрическая тяга», Екатеринбург, byinosov@mail.ru, alex\_teem@mail.ru.

#### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ КОЛЕСНОЙ ПАРЫ ПРИ ДВИЖЕНИИ ЭЛЕКТРОВОЗА С ПОМОЩЬЮ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ АСОК-Л

В статье рассмотрены один из способов определения параметров колесной пары используя ультразвуковые измерительные каналы системы ACOK-Л при движении электровоза на основе использования бесконтактных методов измерения.

Ключевые слова: электровоз, движение, колесная пара, параметр, определение, система, канал, измерение.

Измерительная система АСОК-Л может производить обмеры при движении электровоза как в прямом, так и в обратном направлении относительно системы измерительных датчиков. Считается, что электровоз движется в прямом направлении, если он приближается к системе измерительных датчиков со стороны датчиков  $\Pi KH_1$ , и в обратном – при движении со стороны датчиков  $\Pi KH_2$ . Нормальная работа измерительной системы обеспечивается, если абсолютное значение скорости локомотива находится в диапазоне 2,5–8,0 км/час [1].

Для нормальной работы основных процедур программы «convdata.exe» [2] должен быть предварительно определен и указан знак скорости, т. е. направление движения электровоза, а также должны исключаться из обработки те исходные данные, которые соответствуют ложному обнаружению колесных пар. Указанные задачи решаются с помощью специальных программ на основе анализа сигналов в каналах  $\Pi KH_1$  и  $\Pi KH_2$ .

Длина интервала наблюдения, а соответственно и номер периода, в котором колесная пара находится над центром блока датчиков, соответствуют истинным значениям только при абсолютно точной и симметричной установке датчиков. В реальной системе датчики установлены в пространстве с некоторой погрешностью, поэтому при равной величине запаздывания сигналов в каналах ПКН колесо в общем случае смещено относительно центра блока датчиков (см. рисунок).

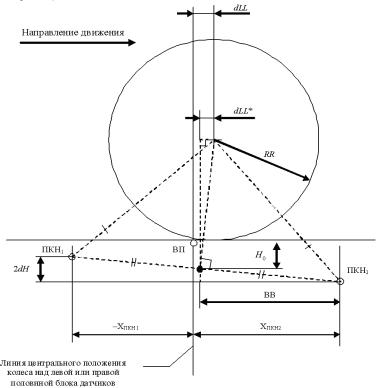


Рис. Расположение колеса относительно датчиков

Поэтому система вносит соответствующие поправки в оценки длин интервалов наблюдения, учитывающие не идеальность установки датчиков. Для этого на первом этапе отдельно для правой и левой половин блока датчиков вычисляются расстояния dLL между центральным положением колеса над блоком датчиков и положением, соответствующим равному запаздыванию сигналов в каналах ПКН. На втором этапе для каждого колеса и каждой колесной пары производится коррекция значений интервалов наблюдения.

Расстояния dLL исходя из геометрических соотношений (см. рисунок) вычисляются по формуле:

$$dLL(side) = \frac{dH(side) \cdot (RR + H_0(side))}{BB(side)} + X_{\Pi KH_1} + X_{\Pi KH_2},$$

где  $X_{\Pi \text{KH}1}$  и  $X_{\Pi \text{KH}2}$  — путевые координаты (ось X) датчиков  $\Pi \text{KH}_1$  и  $\Pi \text{KH}_2$ , относительно датчика  $B\Pi$ , через который проходит линия центрального положения колеса ( $X_{\Pi \text{KH}1} < 0$ ,  $X_{\Pi \text{KH}2} > 0$ ); side — номер стороны (0 — левая, 1 — правая); dH — половина разности высот установки датчиков  $\Pi \text{KH}$ ; RR — среднее значение радиуса колеса по кругу катания для данной серии электровоза;  $H_0$  — средняя высота установки датчиков; BB — половина путевой базы между датчиками  $\Pi \text{KH}_1$  и  $\Pi \text{KH}_2$ .

Величина поправки рассчитывается как удвоенное отношение расстояния *dLL* к расстоянию, которое колесная пара проходит за один период повторения зондирующего сигнала. При этом используются оценки средних скоростей сигнала в каналах ПКН, которые в первом приближении пропорциональны скорости электровоза. Коэффициент пропорциональности, связывающий вышеуказанные величины, считается постоянным. Его значение (=11350) рассчитано для номинального геометрического положения датчиков, средней скорости звука в воздухе (330 м/с) и среднего диаметра бандажей колесных пар электровозов ВЛ11 в эксплуатации (1320 мм).

Точность измерения скорости звука в воздухе является одним из важных факторов, влияющих на конечную точность в оценке параметров колесных пар [134]. Скорость звука при определенных условиях может ощутимо меняться даже в течение небольших интервалов времени, поэтому для каждого обнаруженного колеса формируется ее новая текущая оценка.

Скорость звука вычисляется как отношение расстояния от датчика ВП до внутренней поверхности рельса к запаздыванию отраженного от данной поверхности сигнала. Расстояние от датчиков ВП до внутренней поверхности рельса измеряется при калибровке измерительной системы и как исходный параметр берется из *INI*-файла. Запаздывание вычисляется при обработке оцифрованных сигналов канала ВП. На первом этапе осуществляется независимый расчет запаздывания сигналов, отраженных от внутренней поверхности рельсов, для всех обнаруженных колесных пар. На втором этапе проводится сравнительный анализ полученных значений запаздывания, устраняются возможные сбои, после чего индивидуально для каждого колеса текущего локомотива вычисляется нормированное значение скорости звука.

Массивы отсчетов дальности в каналах ВП, ПКН и ПК являются исходными для подпрограмм вычисления параметров колесной пары и подпрограммы построения точек поверхности гребня бандажа. В ходе выполнения каждой из процедур вычисления параметров колесных пар с помощью специально разработанных программ решаются три общих задачи: подавление помех; устранение динамических ошибок, связанных с движением отражающей поверхности; вычисление дальностей в измерительном канале, соответствующих по времени моментам излучения зондирующего сигнала.

Можно выделить следующие виды помех, присутствие которых в выходных сигналах измерительных каналов отрицательно сказывается на точности измерения дальности: многократные переотражения сигнала, паразитные каналы распространения сигнала; остаточный «звон» совмещенного датчика после излучения зондирующего сигнала, прямое прохождение излучаемого сигнала из передающего в приемный пьезоакустический преобразователь для сдвоенного датчика; импульсные помехи и акустические шумы при

движении локомотива (удары колес о стыки рельсов, «скрип» рессорного подвешивания); ошибка и шум квантования АЦП.

При обработке сигналов используются следующие способы подавления помех [3]: селекция сигналов во временной области; фильтрация сигналов в частотной области; ограничение мощных импульсных помех по амплитуде.

Подавление помех производится в основном при формировании рабочих массивов. Для повышения эффективности в процедурах обработки используется комбинированный метод подавления импульсных помех. Во временной области при обработке двумерного сигнала отсчеты, амплитуда которых превышает некоторый заданный порог, принимаются равными нулю. Значение порога выбрано равным 95 % от диапазона АЦП. Такой подход позволяет улучшить качество подавления коротких импульсных помех, так как при обнулении отсчета мощная импульсная помеха, амплитуда которой может в несколько раз превышать амплитуду полезного сигнала в точке ее возникновения [4], фактически заменяется импульсной помехой амплитуда которой равна амплитуде полезного сигнала в текущей точке, а фаза противоположна. Энергия такой эквивалентной помехи будет меньше энергии исходной помехи и последующая фильтрация в двумерной частотной области даст лучшие результаты.

Нужно отметить высокую эффективность фильтрации в двумерной частотной области для подавления шумов квантования АЦП. Рассмотренные алгоритмы фильтрации позволяли получать удовлетворительное качество сигнала, исходный уровень которого находился в пределах 3–5 интервалов дискретизации АЦП.

Это объясняется тем, что энергия шума квантования при оцифровке меняющегося от периода к периоду сигнала распределяется в частотной области практически равномерно, также как и энергия короткой импульсной помехи.

Скорость движения локомотива при проведении измерений может достигать 2–3 м/с. Скорость движения отражающих точек несколько меньше, но тем не менее сопоставима со скоростью распространения ультразвука в воздухе. Поэтому запаздывание отраженного сигнала будет соответствовать не тому положению колесной пары [5], в котором она находилась в момент излучения зондирующего сигнала, а тому положению, который соответствует моменту отражения зондирующего сигнала от ее поверхности. Помимо этого возникает смещение спектральных составляющих принятого сигнала. Для подавления эффекта Доплера и устранения запаздывания информации из-за соизмеримости скорости ультразвука и скорости движения колесной пары, используется специально разработанная программа [6].

- 1. *Буйносов А.П., Кислицын А.М.* Ультразвуковые измерительные каналы автоматической системы для обмера параметров колесных пар при движении локомотива // Научнотехнический вестник Поволжья. 2014. № 6. С. 87-90.
- 2. *Буйносов А.П., Кислицын А.М.* Построение профиля гребня бандажа колесной пары при движении локомотива // Научно-технический вестник Поволжья. 2014. № 4. С. 73-76.
- 3. *Буйносов А.П., Кислицын А.М.* Структурная схема автоматизированной системы обмера колесных пар локомотивов // Научно-технический вестник Поволжья. 2013. № 1. С. 125-127.
- 4. *Калмыков А.А.*, *Наговицын В.С.* и др. Бесконтактное измерение бандажей // Железнодорожный транспорт. 1995. № 11. С. 34-36.
- 5. Горский А.В., Наговицын В.С. и др. Экономичная обточка бандажей // Локомотив. 1992. № 4. С. 26-27.
- 6. Калязин В.П. Технические средства диагностирования. Л.: Судостроение, 1984. 208 с.

05.22.07

#### А.П. Буйносов д.т.н., Н.Г. Фетисова

Уральский государственный университет путей сообщения (УрГУПС), кафедра «Электрическая тяга», Екатеринбург, byinosov@mail.ru, NFetisova@usurt.ru

#### ВОССТАНОВЛЕНИЕ РАБОТОСПОСОБНОСТИ БАНДАЖЕЙ КОЛЕСНЫХ ПАР ПРОМЫШЛЕННЫХ ЭЛЕКТРОВОЗОВ С ПОМОЩЬЮ НАПЛАВКИ

В статье приведены разработанная установка и результаты выполненных исследований по выбору технологии восстановления работоспособности бандажей промышленных электровозов с помощью наплавки без выкатки колесных пар.

Ключевые слова: электровоз, колесная пара, бандаж, работоспособность, восстановление, наплавка.

Наиболее эффективным методом восстановления работоспособности бандажей, у которых износ гребня значительно опережает рост проката, является наплавка изношенных гребней колесных пар электровозов. Такой метод по сравнению с восстановлением обточкой имеет преимущества: наплавка гребня в сочетании с формой охватывающего профиля сводит к минимуму технологический износ бандажа до списания преимущественно определяется его естественным износом; ликвидируется простой локомотивов, вызванный необходимостью промежуточных обточек (для электровоза 8–12 часов); снижаются расходы на содержание станков для обточки без выкатки и приобретение режущего твердосплавного инструмента; достигается экономия заработной платы [1].

Наплавка гребней бандажей без выкатки из-под электровоза производилась еще более 50 лет назад [2]. Инструкция по освидетельствованию, ремонту и формированию колесных пар локомотивов и электросекций 1954 г. позволяет наплавлять следующие элементы бандажей: изношенные гребни, выбоины (ползуны), местный прокат. После выполнения наплавочных работ колесных пар паровозов без выкатки их из-под локомотива, следовала обработка с помощью специального устройства с точильными кругами для придания концентричности [3].

В настоящее время в соответствии с п. 2.10.8.8 действующей инструкцией по сварочным и наплавочным работам [4] наплавку гребней бандажей необходимо производить автоматической наплавкой с использованием специальных двухдуговых автоматов типа А-1829 с выкаткой колесных пар из-под локомотива и последующей обработкой наплавленного металла на обточном станке. К сожалению, в инструкции по ремонту и содержанию колесных пар тягового подвижного состава железных дорог колеи 1520 мм (ЦТ-329 1995 г.) и последующих дополнениях, отсутствуют такие рекомендации. Также в инструкции [5] неоправданно указывается о проведении наплавки колесных пар с выкаткой из-под электровоза.

Наплавка гребней бандажей промышленных электровозов требует специальной технологии, обеспечивающей наряду с износостойкостью — гарантию отсутствия сварочных дефектов под воздействием неизбежных на железнодорожном транспорте общего пользования технологических отклонений. Кроме того, выполнение требований такого рода осложнено тем, что бандажная сталь относится к трудносвариваемым из-за высокого содержания углерода и склонности при сварке к образованию горячих и холодных трещин [6].

Встала задача разработать установку и менее энергоемкую технологию, не требующую предварительного подогрева бандажей колесных пар [7] с возможностью использования на промышленном железнодорожном транспорте.

Такая установка для одновременной наплавки двух гребней бандажей без выкатки колесной пары из-под электровоза  $\Pi 92^{M}$  была разработана в железнодорожном цехе OAO «Ураласбест», вид установки показан на рисунке.



Рис. Вид установки для наплавки гребней бандажей без выкатки колесных пар из-под электровоза

После изготовления установки в железнодорожном цехе ОАО «Ураласбест» для наплавки бандажей были проверены различные способов наплавки с разным сварочным током, скорости подачи проволоки, скорости наплавки при использовании различных марок проволоки и флюса.

На первом этапе использовалась сварочная проволока и флюс согласно инструкции [4], то есть проволока типа Св-08 и флюс АН-348.

Наплавочные работы на бандажах проводились в помещении с температурой не ниже +5 °C без сквозняков и резких температурных перепадов согласно технологической инструкции И32-ВНИИЖТ-0501/2-90.

Однако, после наплавки гребней бандажей всех колесных пар электровоза  $\Pi \ni 2^M № 19$  выполненных наблюдений в эксплуатации и металлографических исследований с помощью оптического микроскопа, были обнаружены усталостные трещины), а один гребень имел откол.

После 2-х летних экспериментов в железнодорожном цехе ОАО «Ураласбест» наплавки бандажей без выкатки колесных пар из-под электровоза  $\Pi \ni 2^M$  была выбрана проволока  $30 \text{X}\Gamma \text{CA}$  и флюс AHK-18.

Наплавку гребней бандажей необходимо производить по подслою, наплавленному под керамическим легирующим флюсом АНК-18. В этом случае обеспечивается благоприятное изменение микротвердости на границе сплавления основной металл бандажа — первый слой наплавки.

Выбор рационального способа и технологических приемов наплавки гребней определялась необходимостью получения бандажа с требуемыми размерами и наплавленного слоя с требуемыми свойствами.

При разработанной технология наплавки обеспечивается максимальная производительность и экономичность процесса. Средняя толщина наплавленного слоя составляет 5,5 мм, включая припуск на последующую черновую механическую обработку инструментом из мелкозернистых твердых сплавов ВКЗМ и ВК6М. Обязательным условием для черновой обработки является применение резцов с отрицательными передними углами, обеспечивающими повышенную прочность рабочей части резца или шлифовальным кругом ЭБ25СМ2К5. Для чистовой обработки наплавленных гребней бандажей в ОАО «Ураласбест» рекомендовано использовать инструмент из эльбора-Р и гексанита-Р или инструмент из материалов безвольфрамовых, в том числе из сверхтвердых материалов на основе синтетических алмазов и композитов на основе нитрида бора.

После механической обработки наплавленного гребня в железнодорожном цехе ОАО «Ураласбест» бандаж тщательно осматривают и проверяют магнитным и ультразвуковым дефектоскопами. Выбоины (ползуны) на поверхности катания бандажа устраняют обточкой или электронаплавкой с последующей механической обработкой.

В настоящее время ОАО «Ураласбест» это пока единственное промышленное предприятие, которое наплавляет гребни бандажей электровозов без выкатки колесных пар.

Последующие исследования показали, что присутствие хрома в проволоке 30XГСА нежелательно, так как усложняется механическая обработка и снижается износоустойчивость наплавленного слоя.

Поэтому перспективна разработка порошковой проволоки специально для восстановления гребней бандажей, которая содержала бы в своем составе 12–14 % марганца с недефицитной микролегирующей добавкой, улучшающей свойства наплавленного металла, например ванадием.

Представляется перспективным метод наплавки изношенных гребней бандажей колесных пар электровозов ленточным электродом. Кроме высокой производительности, этот метод обладает следующими преимуществами: достигается малая глубина проплавления основного металла бандажа, чем уменьшается доля основного металла в наплавленном слое; изменяя дозировку компонентов, можно получить наплавленный металл заданного состава; необходимая конфигурация наплавленного слоя достигается выбранной шириной и поперечными колебаниями электрода при наплавке. Это позволяет наплавить гребень бандажа колесной пары даже со сложной формой выработки.

Значительный интерес представляет применение металлокерамической ленты. Ее изготовляют холодной прокаткой порошков с последующим спеканием в печи (толщина 0,8—1,2 мм, ширина 25—100 мм). Преимуществами металлокерамической ленты являются: повышенная производительность наплавки (на 25—30 % больше, чем холоднокатаной ленты); наплавленный металл более однороден. Опыт применения лент для наплавки гребней незначителен.

Таким образом, процесс восстановления работоспособности изношенного гребня бандажа без наплавки является экономически невыгодным, так как для увеличения толщины гребня приходится снимать с поверхности катания значительный слой металла. При наплавке гребней бандажей получаем значительную экономию времени и средств из-за отсутствия необходимости отправки колесных пар на завод или в колесный цех для ремонта для смены изношенных бандажей.

- 1. *Буйносов А.П., Шепелева И.О.* Увеличение ресурса колесных пар электровозов за счет плазменного упрочнения гребней бандажей // Научно-технический вестник Поволжья. 2013. № 6. С. 182-185.
- 2. Железнодорожники в великой отечественной войне 1941-1945 / Под ред. Н.С. Конарева. М.: Транспорт, 1987. 344 с.
- 3. *Буйносов А.П.* Основные причины интенсивного износа бандажей колесных пар подвижного состава и методы их устранения. Екатеринбург: Изд-во УрГУПС, 2009. 224 с.
- 4. Инструкция по сварочным и наплавочным работам при ремонте тепловозов, электровозов, электропоездов и дизель-поездов: ЦТ-336. М.: Транспорт, 1995. 236 с.
- 5. Инструкция по формированию, ремонту и содержанию колесных пар тягового подвижного состава железных дорог колеи 1520 мм: ЦТ/329. М.: Транспорт, 1995. 121 с.
- 6. Ларин Т.В. Износ и пути продления срока службы бандажей железнодорожных колес. М.: Трансжелдориздат, 1958. 169 с.
- 7. *Буйносов А.П.* Восстановление конфигурации изношенных гребней бандажей промышленных электровозов с помощью наплавки без выкатки колесных пар // Транспорт: наука, техника, управление. 2013. № 4. С. 32-37.

05.11.16

#### А.М. Васильев, В.К. Гарипов, В.В. Слепцов

Московский государственный университет приборостроения и информатики, Институт комплексной безопасности и специального приборостроения, кафедра «Информационные системы и технологии», Москва, amvrf@yandex.com

# ВОПРОСЫ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ В ИНФОРМАЦИОННО - ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ И УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМАХ ГИБКИХ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ПРОИЗВОДСТВ

В статье рассмотрены вопросы обработки данных в информационно-измерительных и управляющих системах гибкого автоматизированного производства. Показано, что основным направлением для повышения эффективности функционирования требуется оптимизировать информационно - вычислительные процессы в таких системах.

Предложен формализованный комплекс математических моделей оптимального распределения задач по элементам систем.

Ключевые слова: обработка данных, информационно-измерительные и управляющие системы, информационно-вычислительные процессы, гибкие автоматизированные производства.

Характерной особенностью гибких автоматизированных производств (ГАП) является наличие сложных многоуровневых информационно-измерительных и управляющих систем (ИИУС). ИИУС ГАП представляют собой системы, состоящие из совокупности локальных вычислительных сетей (ЛВС), управляющих вычислительных комплексов (УВК), отдельных рабочих станций и автоматизированных рабочих мест (АРМ), соединенных между собой каналами передачи данных. Для сокращения задач оптимизации информационновычислительного процесса (ИВП), предлагается рассматривать ИИУС ГАП в виде совокупности вложенных контуров управления, которые можно разделить на контуры высших и низших уровней [1, 2].

Для снижения затрат на выполнение полного объема данных в ИИУС ГАП оптимизацию ИВП на высших уровнях управления целесообразно производить по критерию минимума объема передаваемой информации.

Для достижения максимальной степени функционального назначения системы, оптимизацию ИВП на низшем уровне (ЛВС) целесообразно производить по критерию максимума вероятности решения всех задач, распределенных в этот уровень.

Для оптимизации ИВП на уровне КС предлагается следующая математическая модель [3].

Пусть задана сеть (контур управления), состоящая из  $\bar{L}$  узлов (контуров, ЛВС). Каждый узел имеет  $L_m$  УВК (рабочих станций, АРМ)  $\left(m=1,2,\ldots,\bar{L}\right)$ . В сети работают  $\bar{W}$  абонентов, и решается  $\bar{N}$  задач.

Распределение задач по узлам сети определяется планом распределения, задаваемым матрицей  $\bar{X} = \|\overline{x}_{nm}\|$ ,

$$\overline{x}_{nm} = \begin{cases} 1, & \text{если n-я задача размещается в m-м узле,} \\ 0, & \text{в противном случае,} \end{cases}$$

$$n=1,2,\ldots,\overline{N}, \quad m=1,2,\ldots,\overline{L}.$$

В результате решения задачи оптимизации ИВП на уровне сети необходимо определить такой план распределения задач по узлам сети  $\overline{X} = \|\overline{x}_{nn}\|$ , который обеспечивает экстремальное значение используемого критерия оптимизации. Постановка задачи

распределения задач по узлам сети. Определить значения  $\overline{x}_{nm}$   $n=1,2,\ldots,\overline{N}, \quad m=1,2,\ldots,\overline{L}$  (), такие что

$$\overline{\Lambda} = \min \sum_{m=1}^{L} \sum_{n=1}^{N} \overline{\Lambda}_{nm} \left( \overline{x}_{nm} \right), \tag{1}$$

при ограничениях:

а) на вероятность решения n - ой задачи в m - м узле,

$$\overline{P}_{nm}^{peul} \ge \overline{P}_{nm}^{oon} \qquad n = 1, 2, ..., \overline{N}, \quad m = 1, 2, ..., \overline{L}$$
 (2)

б) на время решения n - ой задачи в m - м узле

$$T_{mn}^{peul} \le T_{mn}^{oon} \quad n = 1, 2, ..., \overline{N}; m = 1, 2, ..., \overline{L};$$
 (3)

в) на значения переменных

$$\overline{x}_{nm} = \{ 0,1 \}; \quad n = 1, 2, ..., N; m = 1, 2, ..., \overline{L};$$
 (4)

$$\sum_{n=1}^{N} \bar{x}_{nm} \le \bar{z}_{m \max}, \ m = 1, 2, ..., \bar{L},$$
 (5)

 $\overline{\Lambda}_{mn}$  - объем информации циркулирующей в сети при решении n - ой задачи в m - м узле;  $\overline{P}_{nm}^{\ peu}$  - вероятность решения n - ой задачи в m - м узле ;  $\overline{P}_{nm}^{\ don}$  - минимально допустимое значение вероятности решения n - ой задачи в m - м узле;  $\overline{T}_{mn}^{\ peu}$  - время решения n - ой задачи в m - м узле;  $\overline{T}_{mn}^{\ don}$  - максимально допустимое время решения n - ой задачи в m - м узле;  $\overline{Z}_{mmax}$  - максимальное количество задач размещенных в m -м узле.

Для оптимизации ИВП на уровне ЛВС предлагается следующая математическая модель.

Пусть задана ЛВС, в которой работают W абонентов. Сеть состоит из L УВК и в ней решается N задач. Каждая задача состоит из  $K_n$  (n=1,2,...,N) программных модулей (ПМ).

Порядок решения n - ой задачи может быть представлен в виде ранжированного на M уровней направленного графа, где вершины представляют собой ПМ, а дуги - связи между ПМ (информационные потоки), или в виде матрицы связности

$$\Psi_n = \|\psi_{ngk}\| \quad n = 1, 2, ..., N \ (; \ g = 1, 2, ..., K_n; \ k = 1, 2, ..., K_n) \ [2].$$

Распределение ПМ по УВК сети определяется планом распределения, задаваемым матрицами  $X_n = \|x_{knj}\|$ ,

$$x_{knj} = \begin{cases} 1, & \text{если k-й ПМ n-й задачи размещается на j- й ЦВМ,} \\ 0, & \text{в противном случае,} \end{cases}$$

$$k = 1, 2, ..., K_n, n = 1, 2, ..., N, j = 1, 2, ..., L.$$

Вероятность решения задачи, распределенной в данную ЛВС, может быть определена по следующим зависимостям:

- вероятность решения h - м абонентом f - й УВК 1- го модуля n - ой задачи  $\left(h\in s_f; f=1,2,\ldots,L; n=1,2,\ldots,N\right)$ 

$$P_{hf1n} = \sum_{i=1}^{L} p_{1nj} x_{1nj} p_{hfnj}^{3}$$

- вероятность решения h - м абонентом f - й УВК k - го модуля n - ой задачи

$$(k \in B_m; k = 2,..., K_n - 1; h \in s_f; f = 1, 2,..., L; m = 2, 3,..., M_n - 1; n = 1, 2,..., N)$$

$$P_{_{hfkn}} = \prod_{g \in B_{m-1} \mid \psi_{ngk} = 1, \, x_{gni} = 1} P_{_{hfgn}} \sum_{j=1}^{L} p_{_{knj}} \, x_{_{knj}} \, p_{_{gikjn}}^{\,\delta}.$$

- вероятность решения h - м абонентом f - й УВК n - ой задачи  $\left(h \in s_f; f = 1, 2, ..., L; n = 1, 2, ..., N\right)$ :

$$P_{hfn}^{peuu} = \tau_{nhf} \prod_{g \in B_{M_{n-1}} \mid \psi_{ngK_{n}=1}, x_{gni}=1} P_{hgn} \sum_{j=1}^{L} x_{K_{n}nj} \left( p_{K_{n}nj} p_{giK_{n}jn}^{\delta} p_{hfnj}^{p} \right), \quad (6)$$

 $p_{knj}$  - вероятность решения k - го модуля n - ой задачи на j - й УВК при наличии исходных данных;  $p_{hfnj}^3$  - вероятность доведения запроса h - го абонента f -й УВК на решение n -ой задачи на j -ю УВК;  $p_{ij}^3$  - вероятность доведения сообщения эталонной длины из i - й УВК в j - ю;  $l^2$  - длина эталонного сообщения;  $l_{hfn}^3$  - длина запроса h - го абонента f - й УВК на решение n - ой задачи;  $p_{kigjn}^0$  - вероятность доведения информационного сообщения, передаваемого от k -го ПМ, распределенного в i - ю УВК, к g - му ПМ, распределенного в j -ю УВК, при решении n - ой задачи;  $l_{kgn}^0$  - длина информационного сообщения, передаваемого от k - го ПМ к g - му ПМ при решении n - ой задачи;  $p_{hfnj}^p$  - вероятность получения h - м абонентом f - й УВК результатов решения n - ой задачи из j - й УВК;  $l_{hfn}^p$  - длина сообщения, получаемого h - м абонентом f - й УВК и содержащего результаты решения n - ой задачи;  $s_j$  - множество номеров абонентов АСУ j - й УВК,  $l_{hfn}^p$  - й УВК имеет право решать  $l_{hfn}^p$  - ю задачу,  $l_{hfn}^p$  - о в противном случае.

В результате решения задачи оптимизации ИВП на уровне ЛВС необходимо определить такой план распределения ПМ по УВК ЛВС  $X = \|x_{knj}\|$ , который обеспечивает экстремальное значение используемого критерия оптимизации.

Постановка задачи распределения ПМ по УВК ЛВС. Определить значения  $x_{knf}$  ( $k=1,2,...,K_n$ ; f=1,2,...,L; n=1,2,...,N) такие, что

$$P = \max \prod_{f=1}^{L} \prod_{h \in s_f} \prod_{n=1}^{N} P_{hfn}^{peuu} \left( x_{knf} \right)$$
 (7)

при ограничениях:

а) на время решения h - м абонентом f - й УВК n - ой задачи

$$T_{hfn}^{peu} \le T_{hfn}^{\partial on} \quad h \in s_f; f = 1, 2, ..., L; n = 1, 2, ..., N;$$
 (8)

б) на объем информации циркулирующей в сети при решении n - ой задачи h - м абонентом f - й УВК

$$\Lambda_{hfn} \le \Lambda_{hfn}^{oon} \quad h \in s_f; f = 1, 2, ..., L; n = 1, 2, ..., N;$$
 (9)

в) на объем ВЗУ f - й УВК

$$\sum_{n=1}^{N} \sum_{k=1}^{K_n} x_{knf} \ u_{kn} \le V_f; \tag{10}$$

г) на значения переменных

$$x_{knf} = \{0,1\}; k = 1, 2, ..., K_n; f = 1, 2, ..., L; n = 1, 2, ..., N;$$
 (11)

$$\sum_{k=1}^{K_n} x_{knf} \le z_{nf \max}, k = 1, 2, \dots, K_n, n = 1, 2, \dots, N;$$
(12)

где:  $P_{hfn}^{peuu}$  - вероятность решения h - м абонентом f - й УВК n - ой задачи;  $T_{hfn}^{peuu}$  - время решения h - м абонентом f - й УВК n - ой задачи;  $T_{hfn}^{\partial on}$  - максимально допустимое время

решения h - м абонентом f - й УВК n - ой задачи;  $\Lambda_{hfn}$  - объем информации циркулирующей в системе при решении h - м абонентом f - й УВК n - ой задачи;  $\Lambda_{hfn}^{\partial on}$  - максимально допустимый объем информации циркулирующей в системе при решении h - м абонентом f - й УВК n - ой задачи;  $u_{kn}$  - объем k - го ПМ n - ой задачи;  $V_f$  - объем ВЗУ f - й УВК;  $z_{nf\, max}$  - максимальное количество ПМ n - ой задачи в f - й УВК.

При последовательном решении задач (1) - (5) и (7) - (11) возможно уточнение значений параметров системы и ее структурных компонентов.

Решение этих задач обеспечит концептуальное единство ИВП и возможность рационального распределения ресурсов в ИИУС ГАП, которые будут использоваться более эффективно за счет экономного размещения их на каждом уровне.

- 1. Оллсон  $\Gamma$ ., Пиани Дж. Цифровые системы автоматизации и управления. СПб.: Невский Диалект, 2001.- 557 с.: ил.
- 2. *Васильев А.М.* Современные распределенные информационно-измерительные системы. Методология построения. Книга 1. М.: МГУПИ, 2008. 235 с. ил.
- 3. *Табуров Д.Ю., Гарипов В.К., Слепцов В.В.* Оптимизация вычислительных процессов в информационно-измерительных и управляющих системах гибких автоматизированных производств. Deutschland, Saarbrucken.: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2014. 145 с.: ил.

05.23.02

#### В.В. Воронцов, А.В. Набоков, В.П. Овчинников, С.А. Твердохлеб

Тюменский государственный архитектурно-строительный университет, строительный институт, кафедра строительных конструкций, Тюмень, mkl@tgasu.ru

## РЕЗУЛЬТАТЫ КОМПРЕССИОННОГО СЖАТИЯ СЛАБЫХ ВОДОНАСЫЩЕННЫХ ГЛИНИСТЫХ МАКРООБРАЗЦОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ «ГРУНТОВОГО ЗАМКА»

В работе дается описание методики проведения эксперимента по исследованию консолидации слабого водонасыщенного глинистого грунта нарушенной структуры с применением «грунтового замка» в условиях компрессионного сжатия. Приводятся его результаты и выводы для планирования дальнейших экспериментов.

Ключевые слова: макрообразец из слабого водонасыщенного глинистого грунта, «грунтовый замок», поровое давление.

В учебном пособии для студентов строительных ВУЗов [1] коллектив авторов выделяет группу слабых водонасыщенных глинистых грунтов, относя к ним илы, ленточные глины, водонасыщенные лессовые грунты и некоторые другие виды глинистых грунтов. Согласно нормативной литературе [2] в настоящее время к слабым следует относить связные грунты, имеющие прочность на сдвиг в условиях природного залегания (при испытании прибором вращательного среза) менее 0,075 МПа, удельное сопротивление статическому зондированию конусом с углом при вершине 30° менее 0,02 МПа или модуль осадки при нагрузке 0,25 МПа более 50 мм/м (модуль деформации ниже 5 МПа). При отсутствии данных испытаний к слабым грунтам следует относить: торф и заторфованные грунты, илы, сапропели, глинистые грунты с коэффициентом консистенции более 0,5, иольдиевые глины, грунты мокрых солончаков.

М.Ю. Абелев в своей монографии [3] отмечает, что на территории Российской Федерации большинство слабых водонасыщенных глинистых грунтов относится к морским отложениям. Они распространяются вдоль побережья Северного Ледовитого океана, встречаются в долинах крупных рек, впадающих в него. В результате подъема суши морские отложения встречаются на отметках до 280 м. Такие грунты залегают в бассейнах Каспийского, Черного, Азовского, Балтийского, Чукотского и Охотского морей, на территории Западно-Сибирской низменности и о. Сахалин.

Глинистые грунты намывных отложений широко распространены в бассейнах равнинных рек и имеют наибольшую мощность в руслах, дельтах и старицах (бассейны рек Волги, Дона, Амура, Оби) [3].

Слабые глинистые грунты ледникового происхождения чаще всего представлены слоями с ясно выраженной ленточной слоистостью (ленточные глины). Мощность таких слоев достигает в отдельных случаях 30 м. Эти отложения характеризуются значительным изменением прочностных свойств при нарушении их природной структуры [3].

Характерными особенностями слабых водонасыщенных глинистых грунтов является их высокая пористость в природном состоянии, насыщенность водой, малая прочность и большая деформируемость, наличие начального градиента напора и избыточных остаточных поровых давлений при действии внешних нагрузок. Для ленточных глин в естественном состоянии коэффициент пористости обычно равен 0,7...0,8, естественная влажность – 0,3...0,5. Обычно они находятся в скрытопластичном или в скрытотекучем состоянии [1].

Для определения механических характеристик грунта обычно проводят лабораторные испытания образцов грунта относительно небольших размеров в условиях трехосного (стабилометры) или компрессионного сжатия (одометры). Схема трехосного испытания позволяет с наибольшей точностью определить как деформационные, так и прочностные

характеристики грунтов, используемые для различных моделей. Однако конструкции приборов и применяемые методики при этом существенно усложняются по сравнению с компрессионными испытаниями. Поэтому сжатие в стабилометре используется для исследовательских целей или при проектировании ответственных сооружений. При массовом строительстве для определения деформационных и прочностных характеристик грунтов оснований пользуются, как правило, компрессионными и сдвиговыми приборами.

Не смотря на широкое распространение компрессионных испытаний в производственных лабораториях, существующий метод определения деформационных и консолидационных характеристик водонасыщенного грунта в стандартном одометре не позволяет учитывать влияние избыточных поровых давлений. Избыточные напряжения в жидкой фазе в силу малости размеров испытываемых образцов (от 40 до 80 мм в диаметре, от 20 до 30 мм высотой) через 75-90 минут уменьшаются до нуля [3]. Малые размеры испытываемых образцов, в частности торфяных, приводят еще и к тому, что «...многие важнейшие характеристики водопроницаемости, сжимаемости и прочности при их определении по образцам стандартных размеров не могут характеризовать систему в целом и отображают ее в плане точечного определения» [4, с. 117].

Натурные и лабораторные эксперименты многих авторов [3, 5, 6, 7] показывают, что при стабилизированном состоянии водонасыщенного грунта в поровой жидкости наблюдаются остаточные давления сверх гидростатического. Полевыми исследованиями [3] илов оз. Сиваш жесткими штампами площадью 10 тыс. см² было установлено, что избыточное поровое давление в основании штампов уменьшалось по времени до нуля в течение 2 – 65 суток, а на удалении 2 м от основания штампов снижалось до 0,005 – 0,014 МПа и оставалось постоянным в течение всего срока наблюдений.

Натурные эксперименты [5] по исследованию напряженно-деформированного состояния и консолидации оснований опытных полигонов г. Санкт-Петербурга, сложенных глинистыми верхнечетвертичными озерно-ледниковыми отложениями от текучей до твердой консистенции, показали, что на участке без дрен приложение ступеней нагрузки в виде отсыпанных слоев песчаной насыпи неизменно вызывало практически мгновенное возрастание порового давления. При этом приращения порового давления по разным датчикам составляли от 88 до 100% нагрузки данной ступени. После окончания нагружения этого участка рассеивание порового давления продолжалось в течение 10 месяцев. В последующие пять лет наблюдений фиксировались колебания величины порового давления в сторону возрастания.

Лабораторные эксперименты [6] с крупногабаритными образцами из водонасыщенного торфа (площадь штампов 500 и 800 см $^2$ ) позволяют говорить о том, что остаточное поровое давление в основании образца в установке с водяным столбом составляет 27%, а в установке без водяного столба – 15% от рабочего давления на подошве штампа.

Лабораторные эксперименты [7] с крупногабаритными образцами из водонасыщенной глины (площадь штампа 760 см²) позволили выявить следующие закономерности: в исследуемом образце грунта, удаленном от дневной поверхности существуют области, откуда не происходит отжатия поровой воды, а значит, действует начальный градиент напора; остаточное поровое давление в основании двухкомпонентного образца при проведении эксперимента в установке с водяным столбом составляет 55%, в основании идентичного образца при проведении эксперимента в установке без водяного столба — 35% от рабочего давления на подошве перфорированного штампа; величина осадки перфорированного штампа в крупногабаритном образце из водонасыщенной глины, придавленным сверху водяным столбом, на 20% меньше по сравнению с осадкой штампа в образце без водяного столба.

В связи с вышесказанным представляется актуальным определение механических характеристик слабых водонасыщенных глинистых грунтов с учетом влияния избыточных поровых давлений в условиях максимально соответствующих природным. Основная идея

исследования заключается в размещении над испытуемым образцом «грунтового замка», имитирующего вышележащие слои грунтового массива.

В процессе исследования требуется установить влияние высоты и физико-механических характеристик «грунтового замка» на деформационные свойства испытуемого образца, протекание процесса консолидации, на избыточные поровые давления и начальный градиент напора. В результате определить алгоритм назначения оптимальных параметров «грунтового замка» путем сопоставления полученных результатов с данными натурных исследований.

На Рис. 1 представлена схема установки, собранной в экспериментальной лаборатории ТюмГАСУ, для исследования напряженно-деформированного состояния и избыточных поровых давлений в водонасыщенном глинистом макрообразце. Для исследования была приготовлена грунтовая паста с характеристиками, представленными в таблице 1. Эта паста использовалась для создания испытываемых образцов и «грунтового замка». Использование грунтовой пасты обусловлено габаритами образцов и требованием повторяемости физикомеханических характеристик в экспериментах. Размеры испытуемых макрообразцов задаются пропорционально размерам образца в стандартном компрессионном приборе (1:3,5) и составляют: диаметр D=505 мм и высота H=145 мм (площадь штампа 2 тыс. см²). Высота «грунтового замка» в первой серии экспериментов принята равной высоте образца  $H_3=145$  мм. Одновременно с экспериментом было начато испытание образца из той же пасты в стандартном компрессионном приборе марки КПр-1М.

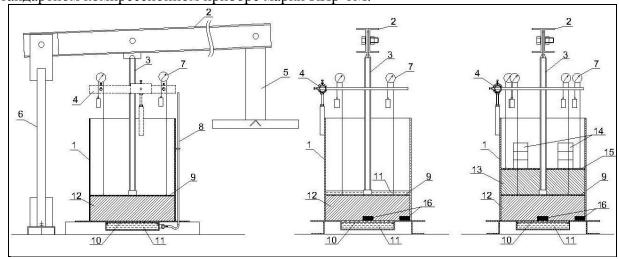


Рис. 1- Схема эксперимента:

1 – корпус (труба диаметром 505 мм); 2 – рычаг; 3 – загружающий шток; 4 – реперная система на корпусе установки; 5 – разновес; 6 – опорная стойка; 7 – датчики измерения перемещений (индикаторы часового типа); 8 – гидравлический датчик поровых давлений; 9 – перфорированный штамп №1; 10 – перфорированный вкладыш; 11 – вода; 12 – исследуемый образец грунта; 13 – «грунтовый замок»; 14 – нагрузка на «грунтовый замок»; 15 – перфорированный штамп № 2; 16 – датчики измерения общих давлений

Таблица 1- Физические характеристики грунтовой пасты

таолица 1- Физические характеристики грунтовой пасты					
Наименование характеристики, ед.	Значение характеристики				
Плотность, г/см <sup>3</sup>	1,87 – 1,9				
Плотность сухого грунта, г/см <sup>3</sup>	1,42 - 1,46				
Плотность частиц грунта, г/см <sup>3</sup>	2,69 - 2,73				
Влажность, %	30 - 32				
Влажность на границе раскатывания, %	20,3				
Влажность на границе текучести, %	27,6				
Число пластичности, д. ед.	7,3				
Показатель текучести, д. ед.	1,46				
Коэффициент пористости, д. ед.	0,87				
Степень водонасыщения, д. ед.	0,96				

Для измерения деформаций и контроля совместности перемещения «грунтового замка» и штампа №1 применяются модифицированные индикаторы часового типа с ценой деления 0,1 мм. За критерий условной стабилизации была принята скорость деформации образца, не превышающая 0,05% за последние 2 суток наблюдений при выделении на консолидационной кривой участков, характерных для минеральных грунтов текучей и текучепластичной консистенции. Консолидационная кривая при этом строится в полулогарифмическом масштабе. Нагрузка на образцы передавалась следующим образом: уплотнительная ступень 0,005 МПа, равная весу «грунтового замка» и пригруза, обеспечивающего совместность перемещений штампа №1 и «грунтового замка», и одна рабочая ступень 0,010 МПа. После стабилизации осадки образцов от уплотнительной ступени показания индикаторов обнулялись. Суммарная нагрузка на образцы составила во всех случаях 0,015 МПа.

Для уменьшения сил трения на стенки корпуса наносились два слоя полиэтиленовой пленки по солидолу. Для контроля возможных потерь давления на образец за счет преодоления сил трения о стенки корпуса используются тензорезисторные датчики общих давлений мембранного типа (мессдозы) диаметром 34 мм. При разработке конструкций мессдоз использовалась методика, изложенная в работах А.В. Голли и других авторов [6, 7, 8, 9, 10]. Схема расположения мессдоз во всех установках приведена на Рис. 1. В качестве вторичного преобразователя (регистрирующей аппаратуры) используется тензостанция Zet017-Т8. Тарировка тензорезисторных датчиков общих давлений мембранного типа производилась сжатым воздухом в герметичном баке. Расхождение значений общих напряжений в исследуемых образцах, измеряемых при помощи мессдоз, не превышало 6-7% от величины рабочего давления в течение всего времени проведения эксперимента, что свидетельствует об одномерной консолидации грунта.

Для предотвращения высыхания грунта в процессе проведения эксперимента над штампом был налит небольшой слой воды и растительного масла.

Для измерения избыточных поровых давлений применяются трубки-пьезометры. На Рис. 2 приведен график изменения избыточных поровых давлений по времени в нижнем сечении образцов.

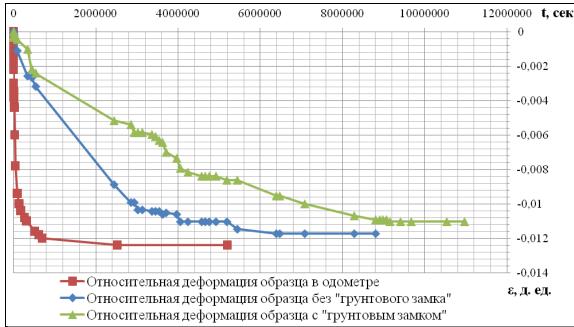


Рис. 2- График изменения избыточных поровых давлений по времени в нижнем сечении образцов

До наступления стабилизации от рабочей ступени в эксперименте без «грунтового замка» прошло 102 календарных дня, с «грунтовым замком» — 127 суток, в компрессионном приборе 67 суток. На Рис. 3 изображены графики относительной деформации образцов по времени, построенные по результатам описываемых экспериментов и испытания в одометре. На Рис. 4

приведен график относительной деформации образцов по времени, построенный в полулогарифмическом масштабе.

На основании проведенного эксперимента для всех образцов были вычислены модуль деформации и коэффициент фильтрационной консолидации, которые составили: для образца в одометре  $E_\kappa$ =0,48 МПа и  $c_\nu$ =6,8\*10<sup>-4</sup> см²/мин; для макрообразца без «грунтового замка» E=0,51 МПа и  $c_\nu$ =6,4\*10<sup>-4</sup> см²/мин; для макрообразца с «грунтовым замком»  $E_3$ =0,54 МПа и  $c_\nu$ =3,9\*10<sup>-4</sup> см²/мин.



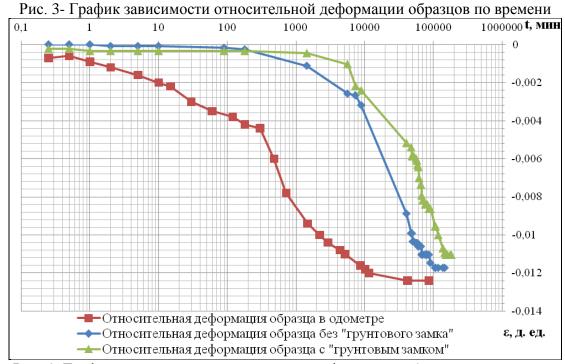


Рис. 4- График зависимости относительной деформации образцов по времени в полулогарифмическом масштабе

Полученные данные позволяют сделать следующие выводы:

1) предложена методика проведения экспериментов и выбран критерий условной стабилизации образцов: скорость деформации образца, не превышающая 0,05% за последние 2 суток наблюдений при выделении характерных участков на консолидационной кривой, построенной в полулогарифмическом масштабе;

- 2) относительная деформация образца без «грунтового замка» больше относительной деформации образца с «грунтовым замком» на 5%;
- 3) величина максимального порового давления в установке без «грунтового замка» составила 57,9%, а в установке с «грунтовым замком» 63,8% от рабочего давления на подошве штампа;
- 4) в исследуемых образцах избыточное поровое давление с течением времени уменьшается до гидростатического (74 календарных дня для образца без «грунтового замка» и 105 суток для образца с «грунтовым замком»), поэтому для дальнейшего исследования необходимо увеличить высоту или изменить характеристики «грунтового замка»;
- 5) для устранения влияния перепадов атмосферного давления на показания пьезометра необходимо заменить гидравлический датчик на механический (образцовый манометр), а также использовать мессдозы поровых давлений.

- 1. *С.Б Ухов, В.В. Семенов, В.В. Знаменский, З.Г. Тер-Мартиросян, С.Н. Чернышев.* Механика грунтов, основания и фундаменты: Учеб. пособие для строит. спец. вузов. М.: Высш. шк., 2007. 566 с.: ил.
- 2. ГОСТ Р 54476-2011 Грунты. Методы лабораторного определения характеристик сопротивляемости сдвигу грунтов в дорожном строительстве.
- 3. *Абелев М.Ю*. Строительство промышленных и гражданских сооружений на слабых водонасыщенных грунтах. М.: Стройиздат, 1983. 248 с., ил.
- 4. Амарян Л.С. Свойства слабых грунтов и методы их изучения. М.: Недра, 1990. 220 с, ил.
- 5. *Бугров А.К.* Натурные исследования напряженно-деформированного состояния и консолидации оснований сооружений комплекса защиты Санкт-Петербурга от наводнений / А.К. Бугров, А.В. Голли, А.А. Каган и др.// Основания, фундаменты и механика грунтов 1997. №1. С. 2-9.
- 6. *Демин В.А.* Экспериментальное и теоретическое исследование вязкоупругой двухфазной среды: диссертация канд. техн. наук; ТюмГАСА. Тюмень, 2005. 174 с.
- 7. *Набоков А.В.* Исследование напряженно-деформируемого состояния основания из водонасыщенной глины: диссертация канд. техн. наук; ТюмГАСА. Тюмень, 2004. 142 с.
- 8.  $\Gamma$ олли A.B. Методика измерения напряжений и деформаций в грунтах: Учеб. пособие.  $\Pi$ .: ЛИСИ, 1984. 53 с.
- 9. *Воронцов В.В.* Вертикальное армирование деятельного слоя в основании дорожной конструкции: диссертация канд. техн. наук; ТюмГАСА. Тюмень, 2006. 175 с.
- 10. *Краев А.Н.* Экспериментально-теоретическое обоснование использования песчаной армированной сваи в водонасыщенных глинистых грунтах: диссертация канд. техн. наук; ТюмГАСА. Тюмень, 2009. 156 с.

05.13.01

## <sup>1</sup>В.А. Глушков, <sup>2</sup>Н.А. Бухтоярова, <sup>3</sup>В.В. Бухтояров

 $^{1}$ Сибирский федеральный университет, glushkov.05@mail.ru  $^{2}$ Сибирский государственный аэрокосмический университет им. академика М.Ф. Решетнева, Институт информатики и телекоммуникаций,

кафедра Безопасности информационных технологий, natally\_vip@mail.ru <sup>3</sup>Сибирский федеральный университет, кафедра Технологических машин и оборудования нефтегазового комплекса, Красноярск, vladber@list.ru

# ГЕТЕРОГЕННЫЕ КОЛЛЕКТИВЫ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ЗАДАЧ МОДЕЛИРОВАНИЯ

В статье представлены результаты разработки и исследования подхода к решению задач моделирования, в основе которого лежит использование гетерогенных (неоднородных по составу) коллективов моделей. Каждая из моделей реализуется на основе отдельного типа интеллектуальных технологий анализа данных — искусственных нейронных сетей, генетического программирования, машин опорных векторов. Приведены результаты численных исследований эффективности предлагаемого подхода на наборе тестовых задач.

Ключевые слова: *моделирование*, *эволюционные алгоритмы*, *генетическое программирование*, *коллективные интеллектуальные методы*, *нейронные сети*.

#### Введение

В настоящее время в программных системах, применяемых в качестве инструмента решения прикладных задач анализа данных, все более широкое применение находят так называемые коллективы (ансамбли) интеллектуальных информационных технологий [1-3]. Применение коллективных подходов становится все более актуальным в виду ряда причин. Среди этих причин можно выделить усложнение задач анализа данных, и, как следствие, недостаточную эффективность применения одиночных экземпляров интеллектуальных информационных технологий. Так же, ввиду значительного расширения областей применения распределенных И облачных вычислений, коллективные актуализируются в виду возможности параллельной генерации отдельных экземпляров интеллектуальных информационных технологий (ИИТ) на отдельных узлах распределенной вычислительной системы.

Однако, несмотря на все более широкий опыт применения коллективных подходов к решению задач анализа данных, актуальным остается вопрос об их совершенствовании. Среди путей повышения эффективности применения коллективов ИИТ можно отметить следующие:

- Совершенствование методов генерации отдельных экземпляров интеллектуальных информационных технологий с учетом последующего их использования в коллективе. Важно поддерживать на необходимом уровне разнообразие решений в коллективе для обеспечения возможности к обобщению.
- Совершенствование методов интеграции индивидуальных решений отдельных экземпляров информационных технологий в общее коллективное решение.

В развитие обозначенных выше перспективных направлений повышения эффективности коллективных подходов в статье исследуется метод построения гетерогенных коллективов информационных технологий. Рассматриваемый метод был реализован в программной системе и апробирован на тестовых задачах моделирования и задачах с реальными данными. Проведено сравнение предлагаемого подхода с «традиционными» (гомогенными) коллективными подходами и с методами, в основе которых лежит использование одиночных

экземпляров ИИТ. Выполнена статистическая проверка значимости результатов полученных в ходе проведения вычислительных экспериментов.

#### Предлагаемый подход

В рамках проводимых исследований предлагается для повышения эффективности моделирования использовать коллективы ИИТ, в состав которых возможно вхождение экземпляров трех видов технологий интеллектуального анализа данных искусственные нейронные сети; генетическое программирование; метод опорных векторов.

Дадим краткую характеристику каждому типу используемых технологий интеллектуального анализа данных.

Искусственные нейронные сети (ИНС). Один из наиболее распространенных типов ИИТ, нашедших широкое применение при решении задач моделирования, прогнозирования и классификации. Нейронные сети, теоретически, могут быть использованы для построения эффективных регрессионных моделей в задачах восстановления любой нелинейной гладкой функции. Для этого, в общем случае, необходим набор данных, который используется для проектирования структуры нейронной сети и настройки ее весовых коэффициентов. В рамках работы для проектирования структуры нейронной сети использовался вероятностный эволюционный метод [3]. Для настройки весовых коэффициентов сети использовался гибридный генетический алгоритм.

Регрессионные модели построенные методом генетического программирования. ГП является одним из многообещающих подходов в данном направлении [5]. В отличие от ГА, в которых индивиды в популяции представляют собой символьные (в частности бинарные) строки, кодирующие решение, решения в ГП могу быть представлены в различной форме и иметь различный размер. Чаще всего используется представление решений в виде деревьев.

*Регрессия опорных векторов (SVR — Support Vector Regression) —* поход к построению регрессионных моделей, в основе которого лежит метод опорных векторов, применяемый также для решения задач классификации [6]. Базовой идеей *SVR* является нелинейное отображение исходных данных в пространство переменных высокой размерности и применение метода линейной регрессии в этом новом пространстве.

Помимо положительных моментов, позволяющих говорить о возможности эффективного использования рассмотренных типов ИИТ в некоторых задачах моделирования, для каждого из этих типов характерны и недостатки, зачастую, существенно ограничивающие их применение. Поэтому для построения эффективной адаптивной системы моделирования на базе регрессионного подхода целесообразно формировать коллектив ИИТ, состоящие из экземпляров всех типов ИИТ, рассмотренных выше. Применение нескольких типов ИИТ в рамках одной коллективной моделирующей системы позволяет перейти к рассмотрению и исследованию эффективности гетерогенных коллективов информационных технологий для решения задач моделирования.

Далее приводятся условия и результаты вычислительных экспериментов рассматриваемого подхода.

#### Вычислительные эксперименты

С целью оценки эффективности решения задач моделирования с помощью гетерогенных коллективов ИИТ на базе нейронных сетей, нейронечетких систем и метода опорных векторов. Для достижения поставленной цели численного экспериментирования было сформировано тестовое множество задач, сформулированы схема проведения численных экспериментов и выбраны методы обработки их результатов, определены методы проектирования ИИТ и в ходе предварительного исследования подобраны настройки параметров этих методов, с использованием многоядерного вычислительного узла проведены численные исследования, собраны обработаны результаты этих исследований, выполнен анализ полученных результатов. Кратко охарактеризуем каждый этап подготовки и проведения вычислительных экспериментов.

#### Описание задач

Для исследования эффективности рассматриваемого подхода он был апробирован на нескольких модельных задачах и задаче с реальными данными из Machine Learning Repository. Выбранные задачи являются одними из наиболее популярных тестовых задач для оценки эффективности алгоритмов моделирования и включают в себя наборы данных различного объема. Краткая характеристика наборов данных модельных задач приведена [3].

#### Схема исследования

Для построения коллектива ИИТ исходные выборки тестовых задач случайным образом разбивалась на выборки в следующем соотношении: 80% примеров исходной выборки использовались для настройки модели, оставшиеся 20% примеров использовались для оценки эффективности построенных моделей.

Полученные результаты обрабатывались для получения статистических оценок математического ожидание ошибки моделирования и среднеквадратического отклонения ошибки моделирования. Для проверки значимости получаемых результатов использовался метод ANOVA. Анализ проводился при уровне значимости 0,05.

#### Методы проектирования ИИТ. Настройки алгоритмов

Рассмотрим методы проектирования для выбранных типов ИИТ.

*Искусственные нейронные сети*. Для проектирования структуры нейронных сетей использовался вероятностный метод PGNS. Для настройки весов нейронных сетей использовался гибридный генетический алгоритм с параметрами, подобранными в ходе предварительного исследования.

— *Метода* генетического программирования. Для метода генетического программирования фиксированными параметрами были выбраны: количество индивидов в поколении 150, тип селекции — турнирная, размер турнира равен 5, вероятность скрещивания 0.95, тип мутации — сильная, тип инициализации начального поколения - полный, начальная глубина дерева 5, максимальная глубина дерева 12, интервал для констант из терминального множества [0.1;9], коэффициент штрафа за сложность дерева 0,005.

Метод опорных векторов. Использовалась программная реализация метода, разработанная авторами прикладной программной библиотеки LIBSVM. Все параметры были выставлены в значения, рекомендуемые разработчиками программной библиотеки, и описываемые ими как обеспечивающие наилучшую эффективность в среднем на наборах апробированных задач [9].

#### Результаты

Результаты сравнительного исследования рассматриваемых методов приведены в таблице 2. Для всех методов, с целью получения корректных результатов численных экспериментов, использовалось одинаковое ограничение на количество вычислительных ресурсов доступных методу для получения решения.

Таблица 2 – Результаты сравнительного исследования на тестовых задачах

20	Одна сеть	Метод проектирования коллективов			
Задача		GASEN	GA-based1	GA-based2	Предлагаемый подход
1	1,880	1,444	1,335	1,302	0,867
2	4,355	3,479	3,486	3,482	2,468
3	2,537	1,679	1,651	1,639	1,005
4	7,146	6,192	6,147	6,100	4,384
5	2,852	1,917	1,833	1,747	0,936
6	6,473	4,916	4,745	4,528	3,128
7	6,754	6,095	6,083	6,152	3,978
8	4,480	3,821	3,824	3,818	3,135
9	4,204	3,168	3,305	3,124	1,948
10	4,304	3,163	3,157	3,121	2,237
Прогнозирование прочности бетона	4,950	3,720	3,950	3,910	3,460

Ячейки, номер столбца для которых соответствует методу, показавшему статистически значимо лучшие результаты на тестовой функции, номер которой соответствует номеру строки, выделены в таблице 4 серым цветом.

Анализ хода решения задачи позволяет сделать вывод, что конкурирующие с рассматриваемым гетерогенным коллективным подходом методы подходы практически достигли потолка своей эффективности, что легко отслеживалось по их нечувствительности к увеличению вычислительных ресурсов, выделяемых на формирование коллективного решения. При этом повышается эффективность модели по параметрам «вычислительная сложность — точность моделирования». Это видно из результатов сравнения ошибки моделирования, полученной для решений, являющихся усреднением по всему предварительному пулу, и решений, полученных с помощью разработанного метода. По сравнению с другими однородными коллективными подходами, формирующими коллектив схожей размерности, улучшение наблюдается по критерию адекватности проектируемой. Этот факт является весьма существенным при решении практически задач, в которых высокая степень согласия модельных и реальных данных очень важна.

#### Выводы

Предложеноиспользовать метод формирования общего решения на основе неодородного коллектива ИИТ, включающего в себя экземпляры ИНС, регрессионные модели, построеные методом генетического программирования и регрессионы модели, полученные методом SVM. Это позволило не только автоматизировать выбор способа расчета коллективного решения, но и расширить гибкость системы, основанной на использовании коллективов ИИТ. При этом, рассматриваемый метод позволяет не только формировать структуру взаимодействия между членами коллектива, но и (за счет включения или не включения соответствующих аргументов в формулу общего решения) обирать те ИИТ, решения которых будут наиболее полезны в плане эффективности решения задачи.

Проведенные численные исследования показали, что исследуемый метод построения гетерогненых коллективов ИИТ позволяет повысить эффективность решения большинства тестовых задач моделирования и моделирования, и его можно рекомендовать для применения при решении практических задач.

- 1. Hansen L.K., Salamon P. Neural network ensembles //IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence.  $-1990. T. 12. N_{\odot}. 10. C. 993-1001.$
- 2. Zhou Z.H., Wu J., Tang W. Ensembling neural networks: many could be better than all //Artificial intelligence. -2002. -T. 137. -No. 1. -C. 239-263.
- 3. Bukhtoyarov V. V., Semenkina O. E. Comprehensive evolutionary approach for neural network ensemble automatic design //Evolutionary Computation (CEC), 2010 IEEE Congress on. IEEE, 2010. C. 1-6.
- 4. Koza J.R. Genetic programming: A paradigm for genetically breeding populations of computer programs to solve problems. Stanford University, Department of Computer Science, 1990.
- 5. Smola A.J., Schölkopf B. A tutorial on support vector regression //Statistics and computing. 2004. T. 14. №. 3. C. 199-222.
- 6. Asuncion A. UCI Machine Learning Repository: [http://www.ics.uci.edu/~mlearn/MLRepository.html] / A. Asuncion, D.J. Newman // Irvine, CA: University of California, School of Information and Computer Science.
- 7. I-Cheng Yeh "Modeling of strength of high performance concrete using artificial neural networks" / Yeh I-Cheng // Cement and Concrete Research, Vol. 28, No. 12, 1998. pp. 1797-1808.
- 8. Chang C.C., Lin C.J. LIBSVM: a library for support vector machines //ACM Transactions on Intelligent Systems and Technology (TIST).  $-2011.-T.2.-N_{\odot}.3.-C.27.$

05.09.01

#### И.В. Гуляев д.т.н., А.В. Волков, А.А. Попов, Е.Н. Белкина

Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва, кафедра Электроники и наноэлектроники, Capaнck, elsoldador@rambler.ru

#### ЭЛЕКТРОПРИВОД НА БАЗЕ АСИНХРОНИЗИРОВАННОГО ВЕНТИЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ

В работе рассматриваются актуальные вопросы повышения энергоэффективности регулируемых электроприводов. Одним из вариантов подобных систем является электропривод на базе асинхронизированного вентильного двигателя. Для анализа электромеханического преобразования энергии традиционным является применение различных систем моделирования, к которым можно отнести и PSIM. Представленные результаты моделирования говорят об адекватности модели и соответствии ее теоретическим положениям.

Ключевые слова: *асинхронизированный вентильный двигатель*, электропривод, преобразователь частоты, система управления.

Современный вентильный двигатель постоянного тока основан на использовании многофазной синхронной машины. В лаборатории вентильных электрических машин национального исследовательского Мордовского государственного университета ведутся теоретические и экспериментальные исследования нового типа контактного и бесконтактного вентильного двигателя (ВД) на базе машины двойного питания, получившего название «асинхронизированный вентильный двигатель» (АВД), а также электропривода на его основе [1, 2].

АВД является аналогом двигателя постоянного тока (ДПТ) независимого возбуждения с жесткими скоростными и механическими характеристиками [1, 2, 3]. Данный тип электропривода представляет собой электромашинно-вентильный комплекс (рис.1), состоящий из асинхронного двигателя с фазным ротором и двух преобразователей частоты (ПЧ). Обмотка статора – якорь АВД – питается от ПЧ<sub>s</sub>, инвертор тока (напряжения) которого управляется по фазе напряжения (тока) якоря, чем имитируется положение щеток на коллекторе ДПТ. Обмотка ротора – обмотка возбуждения – подключена к собственному преобразователю частоты ПЧ<sub>г</sub> с низкой фиксированной частотой в режиме пуска. В алгоритмах энергоэффективного управления эта частота регулируется вплоть до перехода на встречное вращение магнитного поля и ротора. Это позволяет снизить потери в двигателе и преобразователях частоты. У АВД устраняется недостаток, присущий ВД постоянного тока, связанный с ограничениями по токовой нагрузке тиристоров (IGBT-транзисторов) инвертора тока (напряжения) в режиме упора. Применение двух преобразователей частоты в статоре и роторе позволяет осуществить управление четырьмя переменными, что в свою очередь, позволяет управлять энергетическим режимом работы машины [4].

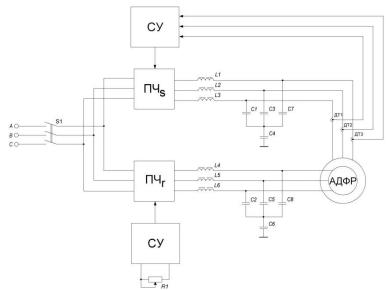


Рис. 1 – Функциональная схема АВД

Отличительной особенностью АВД является то, что обмотка возбуждения питается от автономного инвертора напряжения (АИН) трехфазным переменным током низкой фиксированной частоты, создавая тем самым вращающееся магнитное поле уже при неподвижном роторе. Его можно рассматривать как результат синтеза вентильного двигателя постоянного тока и асинхронизированной синхронной машины, призванный устранить главный недостаток вентильного двигателя — отсутствие коммутации тока в инверторе статора при тяжелом пуске.

Рассмотренная на рис. 1 функциональная схема АВД реализует частотно-зависимое управление, при котором автономный инвертор напряжения (АИН) управляется по фазе тока. Датчики тока ДТ1..ДТ3 предназначены для синхронизации системы управления (СУ) по фазе тока, протекающего в цепи статора.

По данной функциональной схеме была разработана модель системы электропривода на базе АВД в программной среде PSIM. Программа PSIM разработана специально для моделирования систем силовой электроники и устройств управления двигателем, в то время как программы на основе SPICE предназначены для общих электронных схем. PSIM использует узловой анализ по алгоритму вычисления определенного интеграла методом трапеций. Основные отличия от существующих аналогов — скорость моделирования и вывод результатов в режиме реального времени. Также в среде PSIM имеется цифровой модуль управления для дискретного системного анализа и внешние DLL блоки, которые позволяют пользователю создавать ссылки собственного кода на языке Си. Кроме того, PSIM включает в себя множество дополнительных блоков, уникальных для силовой электроники и электроприводов. Это делает его очень привлекательным с точки зрения легкости моделирования.

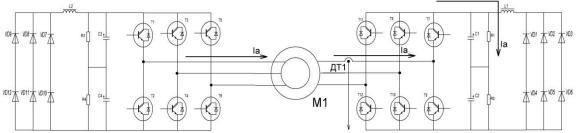


Рис. 2 – Контур протекания тока фазы а в силовых частях преобразователей частоты Схема силовых частей преобразователей частоты представлена на рис.2. На элементах VD7..VD12 и T1..T6 выполнен преобразователь частоты возбуждения ротора. Ток, протекающий через обмотку возбуждения, наводит ЭДС в обмотке статора с той же частотой, что и в обмотке ротора. В момент подачи частоты возбуждения на двигатель транзисторы T7..T12 будут закрыты. ЭДС, наведенная в обмотке статора, создает ток,

протекающий по контуру, образованному обратными диодами IGBT-транзисторов и выравнивающими резисторами R1 и R2.

Исходя из рассмотренной выше схемы, в разрабатываемой модели не имеет смысла вводить пусковые резисторы в обмотку статора [5]. Модель преобразователя частоты, работающего на АВД мощностью 15 кВт, представлена на рис. 3. В модели используется скалярная система управления.

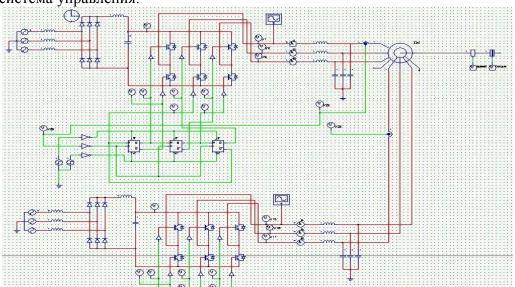


Рис.3 – Модель преобразователя с АД в системе PSIM

Схему можно разделить на три части:

- силовая часть;
- система управления силовой частью преобразователя частоты возбуждения;
- система управления силовой частью преобразователя в цепи статора.

Силовая часть состоит из трёхфазного выпрямителя, входного LC-фильтра, трехфазного инвертора напряжения, выполненного на IGBT-транзисторах, нагрузки, представленной в виде асинхронного двигателя с фазным ротором и механической нагрузки, формирующей момент на валу. Систему управления (СУ) можно разделить на две части — систему синхронизации по фазе тока в статорной обмотке двигателя и систему формирования сигналов управления преобразователем частоты возбуждения. Блок формирования сигналов управления IGBT—транзисторами состоит из схемы делителя частоты на шесть и входного генератора прямоугольных импульсов с частотой генерации 300 Гц. Сигналы с каждого выхода поступают на транзисторы, управляющие фазами напряжения статорной обмотки.

Осциллограмма тока статора представлена на рис. 4.

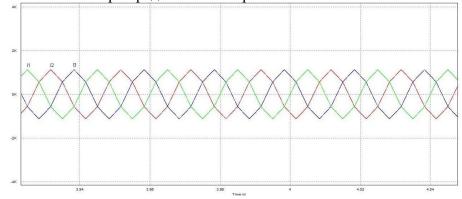


Рис. 4 – Осциллограмма тока статора

Из представленной выше осциллограммы видно, что использование инвертора напряжения обеспечивает форму тока, близкую к синусоидальной, тем самым увеличивает КПД двигателя.

На рис. 5 представлено напряжение на выходном каскаде преобразователя и статорной обмотке двигателя. Форма напряжения соответствует классической, что говорит об адекватности предложенной модели.

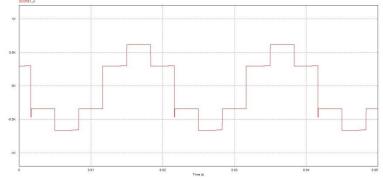


Рис. 5 – Напряжение на статорной обмотке двигателя

На рис. 6 представлен график разгона двигателя (график 1), с набросом механической нагрузки на вал двигателя (график 2). На представленном графическом материале видно, что разгон машины происходит плавно (график 1), соответственно, предлагаемая нами система управления работает правильно. Можно применить ШИМ модуляцию в управляющих сигналах выходных транзисторов инвертора. Это приведет к улучшению гармонического состава выходного напряжения и тока, что положительно скажется на работе двигателя при двойной нагрузке на валу. Дальнейшее усовершенствование модели позволит реализовать и другие способы управления АВД при различных механических нагрузках.

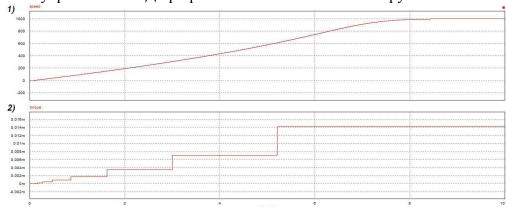


Рис. 6 – Разгон двигателя с нагрузкой

- 1. *Гуляев И.В.* Разработка метода управления серийными преобразователями частоты для реализации электропривода на базе асинхронизированного вентильного двигателя // И.В. Гуляев, А.В. Волков // Вестник Мордовского университета / Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2014. № 1-2. С. 177-181.
- 2. *Тутаев*  $\Gamma$ .*М*. Аппаратная реализация системы управления электроприводом с асинхронизированным вентильным двигателем //  $\Gamma$ .М. Тутаев, А.Н. Ломакин. Издательство Мордовского университета C.3.
- 3. *Сонин Ю.П.* Асинхронизированный вентильный двигатель // Ю.П. Сонин, И.В. Гуляев. Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 1998. 68 с.
- 4. *Гуляев И.В.* Обобщенная электромеханическая система на основе асинхронизированного вентильного двигателя // И. В. Гуляев.— Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2004. 84 с.
- 5. *Гуляев И.В.* Асинхронизированный вентильный двигатель с управлением по фазе тока: монография // И.В. Гуляев, И.С. Юшков Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG, 2011. 192 с.

74

05.13.17

#### М.Л. Долженкова к.т.н., Д.А. Страбыкин д.т.н.

ФГБОУ ВПО «Вятский государственный университет», факультет автоматики и вычислительной техники, кафедра электронных вычислительных машин, Киров, maryid@mail.ru, strabykin@mail.ru

#### ЗАДАЧА АБДУКТИВНОГО ВЫВОДА СЛЕДСТВИЙ<sup>1</sup>

В работе даётся содержательная и формальная постановки задачи абдуктивного вывода логических следствий. Приведены примеры с использованием исчисления высказываний иллюстрирующие формальную постановку задачи. Определены наиболее характерные для использования абдуктивного вывода следствий области применения.

Ключевые слова: абдуктивный логический вывод, множество следствий, факт, дополнительный факт, исчисление высказываний.

В настоящее время разработаны и используются методы, реализующие различные виды логического вывода, в числе которых дедуктивный вывод (проверка выводимости заключения из базы знаний), абдуктивный вывод (пополнение базы знаний частными правилами, необходимыми для вывода заключений), индуктивный вывод (добавление в базу знаний общих правил) [1-4]. Но иногда требуется получить ответ на вопрос: какие факты могут быть выведены из указанных фактов при заданном наборе исходных посылок? Для ответа на такой вопрос необходим особый вид вывода – вывод логических следствий [5].

Содержательная постановка задачи. В логической модели знаний все исходные посылки можно разделить на два класса: данные, представляющие факты возникновения тех или иных событий, явлений (признаков, действий и т.д.) и правила, задающие связи фактов между собой. Для исчисления высказываний фактами будем считать однолитеральные исходные посылки, а правилами – логические формулы, содержащие более одного литерала. При этом каждая посылка, представленная в форме дизъюнкта, должна содержать один литерал без инверсии.

Задача дедуктивного вывода следствий сформулирована в работе [6] следующим образом: при заданной базе исходных посылок для некоторого (нового) набора фактов определить множество следствий (фактов), которые будут следовать из этого набора. Дедуктивный вывод, при проведении которого новые утверждения выступают следствиями из уже имеющихся утверждений, надежен при условии истинности посылок, но имеет ограниченную область применения. В тех случаях, когда дедуктивный вывод следствий завершается неудачно, может быть применен абдуктивный логический вывод.

Содержательная постановка задачи абдуктивного вывода следствий формулируется следующим образом: при заданной базе исходных посылок для некоторого (нового) набора фактов определить множество следствий (утверждений, которые будут следовать из этого набора) и множество дополнительных фактов, необходимых для успешного вывода следствий и не противоречащих исходным посылкам.

Пример 1. Задачу абдуктивного вывода следствий можно проиллюстрировать следующем простейшем примере.

Исходные посылки: A; ABX $\rightarrow$ C; CY $\rightarrow$ E.

Новый факт: В.

Дедуктивный вывод следствий из факта В завершается неудачно: из факта В и заданных исходных посылок не выводится ни одного следствия.

Абдуктивный вывод следствий может определить дополнительные факты X и Y,

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup>Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 15-01-02818 а)

благодаря которым из исходных посылок будут выводиться следствия С и Е.

Таким образом, абдуктивный вывод следствий позволяет продолжить решение задачи вывода следствий в тех случаях, когда с помощью дедуктивного вывода это невозможно.

**Формальная постановка задачи.** В качестве формальной системы будет использоваться исчисление высказываний. Задачу абдуктивного вывода следствий можно сформулировать следующим образом. Имеются исходные непротиворечивые посылки, заданные в виде множества дизъюнктов  $M^{-}{\{D_1,D_2,...,D_I\}}$ . Множество  $M^{-}{=}M^{F}{\cup}M$  состоит из подмножества однолитеральных дизъюнктов  $M^{F}$  — фактов и подмножества дизъюнктов правил M. Также имеется множество новых фактов  $m^{F}{=}\{L_1,L_2,...,L_p,...,L_P\}$ . Задача абдуктивного вывода логических следствий (литералов без инверсий) формулируется следующим образом.

Требуется определить два семейства множеств: следствий  $S=\{s_0,s_1,...,s_h,...,s_H\}$ , и дополнительных фактов  $f=\{f_1,...,f_h,...,f_H\}$ , таких, что множество следствий  $s_h$  содержит следствия, выводимые из множества следствий  $s_{h-1}$ с помощью множества посылок  $M^h$  ( $M^h \subseteq M^{\wedge}$ ) и множества дополнительных фактов  $f_h$ :

 $s_{h-1}$ ,( $M^h \cup f_h$ ) $\Rightarrow s_h$ ,  $h=1,\ldots,H$ ;  $s_0=M^F \cap m^F$  и  $M^A \cup M^f$  — совместно (здесь  $M^f=f_1 \cup \ldots \cup f_H$ ). Причем, если  $s_{h-1}$ ,  $M^h \Rightarrow s_h$  то  $f_h=\emptyset$ .

Таким образом, на каждом шаге абдуктивного вывода в начале выполняется дедуктивный вывод следствий. Если он неуспешен, то проверяется возможность абдуктивного вывода. Если абдуктивный вывод возможен, то производится определение дополнительных фактов, которые обеспечивают его успешность.

**Пример 2.** Формальную постановку задачи абдуктивного вывода следствий можно проиллюстрировать на предыдущем примере.

Исходные данные. Посылки:  $M^=\{D_1,D_2,D_3\}$ ;  $D_1=A$ ;  $D_2=A\lor B\lor X\lor C$ ;  $D_3=C\lor Y\lor E$ . Подмножество фактов  $M^F=\{A\}$ . Множество новых фактов  $M^F=\{A\}$ .

Результаты. Семейство множеств следствий  $S=\{s_0,s_1,s_2\}$ , где  $s_0=M^F\cap m^F=\emptyset$ ,  $s_1=\{C\}$ ,  $s_2=\{E\}$ . Семейство множеств дополнительных фактов  $f=\{f_1,f_2,\}$ , где  $f_1=\{X\}$ ,  $f_2=\{Y\}$ . При этом  $s_0,(M^1\cup f_1)\Rightarrow s_1$  ( $M^1=\{D_1,D_2\}$ ),  $s_1,(M^2\cup f_2)\Rightarrow s_2$  ( $M^2=\{D_3\}$ ).

**Пример 3.** Рассмотрим задачу абдуктивного вывода следствий на более сложном примере. Исходные посылки заданы множеством секвенций [6]:

- 1) AB $\rightarrow$ C; 2) 1 $\rightarrow$ D;
- 3) CD→E;
- 4) EV→L;
- 5)  $1 \rightarrow P$ ; 6)  $L \rightarrow R$ ;

- 7) MP $\rightarrow$ N; 8) 1 $\rightarrow$ S;
- 9) R→U;
- 10)  $N \rightarrow V$ ;
- 11) SR $\rightarrow$ X; 12) X $\rightarrow$ Z.

Необходимо определить, какие следствия можно вывести из фактов  $m^F = \{A, B, M\}$ .

Данная задача успешно решается методом дедуктивного вывода следствий [7]. В результате получается семейство множеств следствий  $S=\{\{C,N\},\{E,V\},\{L\},\{R\},\{U,X\},\{Z\}\}\}$ .

Исключим из множества исходных секвенций факты: 2)  $1 \rightarrow D$  и 5)  $1 \rightarrow P$ . Повторим решение задачи дедуктивного вывода следствий. Для новых исходных данных уже после первого шага дедуктивный вывод завершается неудачно, а результатом является одно следствие C:  $S = \{C\}$ .

Абдуктивный вывод следствий для новых исходных данных восстанавливает исключенные из первоначального множества посылок факты и позволяет получить семейство множеств следствий, сформированное ранее с помощью дедуктивного вывода. В таблице 1 приведены по шагам используемые посылки, множества следствий и множества дополнительных посылок, формируемые в процессе абдуктивного вывода.

Таблица 1 – Абдуктивный вывод следствий из фактов A, B, M.

Two may T Tropy Kinshish Salson Sure A Tishir no Wikitos 11, 2, 111.				
Номер	Используемые посылки, М <sup>h</sup>	Множество дополнительных	Множество следствий, s <sub>h</sub>	
шага, h		посылок, f <sub>h</sub>		
1	1) AB→C; 7) MP→N	{P}	{C,N}	
2	3) CD→E; 10) N→V	{D}	{E,V}	
3	4) EV→L	Ø	{L}	
4	6) L→R	Ø	{R}	
5	9) R→U;11) SR→X	Ø	{U,X}	
6	12) X→Z.	Ø	{Z}	
7	_	Ø	Ø	

Вывод заканчивается на седьмом шаге. Схема вывода следствий показана на рисунке 1.

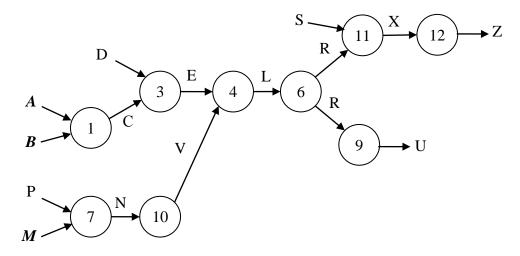


Рис. 1 – Схема вывода следствий

Таким образом, результатом вывода является семейство множеств дополнительных посылок  $F_7=\{\{P\},\{D\},\varnothing,\varnothing,\varnothing,\varnothing,\varnothing\}$  и семейство множеств следствий:  $S_7=\{\{C,N\},\{E,V\},\{L\},\{R\},\{U,X\},\{Z\}\}\}$ . В процессе вывода получено два дополнительных факта  $M^f=\{P,S\}$  и 9 фактов-следствий  $M^S=\{C,N,E,V,L,R,U,X,Z\}$ . Следствия U и Z являются конечными, так как дальнейший вывод из них невозможен.

**Области применения.** Наиболее характерные для использования абдуктивного вывода следствий области применения приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Области применения абдуктивного логического вывода

Диагностика			
Интерпретация исходных	Описание последствий для различных неисправностей		
посылок			
Новые факты	Наблюдаемые неисправности		
Дополнительные факты	Возможные скрытые неисправности		
Распознавание плана действий (интеллектуального агента)			
Интерпретация исходных	Описание планируемых действий по достижению различных состояний,		
посылок	зависящих от начальных установок		
Новые факты	Известные начальные установки		
Дополнительные факты	Возможные скрытые начальные установки		
Приобретение (накопление и усвоение) знаний			
Интерпретация исходных	Исходная база знаний		
посылок			
Новые факты	Известные факты		
Дополнительные факты	Факты, добавление которых в исходную базу знаний позволяет получать из нее		
	дополнительные знания (данные) как логические следствия		
Прогнозирование развития ситуаций			
Интерпретация исходных	Описание условий наступления событий и формирования ситуаций		
посылок			
Новые факты	Наступившие события		
Дополнительные факты	Недостающие условия наступления событий и формирования ситуаций		

Прогнозирование развития ситуаций. Перспективной областью применения логического вывода является прогнозирование [7,8], в частности прогнозирование развития ситуаций. Прогнозирование развития ситуаций представляет интерес в самых различных сферах деятельности человека. Для решения этой задачи известно большое число подходов и методов. Важное место среди них занимает логическое прогнозирование. В этом случае ситуация описывается средствами формальной системы (исчисления высказываний или исчисления предикатов), а ее развитие прогнозируется с помощью дедуктивного логического вывода [6]. Дедуктивный вывод может завершиться неудачно. При этом прогнозирование с помощью дедуктивного вывода также завершается неудачно. Это может объясняться

неполнотой информации, использованной при описании ситуации, что проявляется в отсутствии в посылках недостающих фактов.

В тех случаях, когда дедуктивный вывод завершается неудачно, возможно продолжение прогноза с помощью абдуктивного вывода [9]. Абдуктивный вывод следствий позволяет находить недостающие в описании ситуации факты, добавление которых к исходному описанию делает дедуктивный вывод следствий и прогнозирование успешным. Таким образом, логическое прогнозирование на основе абдуктивного вывода следствий позволит строить прогнозы, когда на базе дедуктивного вывода это невозможно.

- 1. *Вагин, В.Н.* Достоверный и правдоподобный вывод в интеллектуальных системах, 2-е изд., испр. и доп. / В.Н. Вагин, Е.Ю. Головина, А.А. Загорянская, Д.А. Поспелов М.: Физматлит, 2008. 712 с.
- 2. *Финн, В.К.* Индуктивные методы Д. С. Милля в системах искусственного интеллекта / В.К. Финн // Искусственный интеллект и принятие решений. 2010. № 4. С. 14–40.
- 3. *Вагин, В.Н.* Системы аргументации и абдуктивный вывод / В.Н.Вагин, А.А.Загорянская // Изв. РАН. ТиСУ. 2004. № 1. С. 125–137.
- 4. *Вагин, В.Н.* Методы абдуктивного вывода в задачах планирования работы в сложных объектах / В.Н Вагин, К.Ю. Хотимчук // Изв. РАН. ТиСУ. 2010. № 5. С. 95–113.
- 5. Агалаков, Е.В. Метод параллельного логического вывода следствий для исчисления высказываний / Е.В. Агалаков, Д.А. Страбыкин, М.Н. Томчук // Программные продукты и системы. -2012. -№ 2. C. 142-144.
- 6. Страбыкин, Д.А. Логическое прогнозирование развития ситуаций в интеллектуальных системах на основе дедуктивного вывода / Д.А. Страбыкин. Киров: ФГБОУ ВПО «ВятГУ», 2014.-182 с.
- 7. Витяев, Е.Е. Предсказание как вычисление / Е.Е. Витяев // Философские науки. 2007. Note 1 (32). С. 81-101.
- 8. *Кузнецов, О.П.* Интеллектуализация поддержки управляющих решений и создание интеллектуальных систем / О.П. Кузнецов // Проблемы управления. -2009. -№ 3. C. 64–72.
- 9. Страбыкин, Д.А. Метод логического прогнозирования развития ситуаций на основе абдуктивного вывода / Д.А. Страбыкин // Изв. РАН. ТиСУ. 2013. № 5. С. 98–92.

05.13.18

#### А.И. Еникеев, Махфуд Билал Ахмед Мохаммед

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Казанский (Приволжский) федеральный университет», Институт вычислительной математики и информационных технологий, кафедра технологий программирования, a\_eniki@inbox.ru, bilalok@mail.ru

#### МОДЕЛИ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ПРОГРАММНЫХ ПРИЛОЖЕНИЙ НА ПРИМЕРЕ МЕНЮ-ДИАЛОГОВОЙ СИСТЕМЫ

В статье предлагается вариант описания модели меню - диалоговой системы на основе теории взаимодействующих процессов CSP. С помощью средств этой теории строятся спецификации функций управления меню — диалогом. Рассматриваются функции для завершения меню — диалога на любом шаге выполнения, функции, позволяющие вернуться к любому из предыдущих шагов меню — диалога, а также функции — переключатели.

Ключевые слова: модель, программные спецификации, взаимодействующие процессы, формализованные средства, диалоговые системы, технология программирования

#### Введение.

Сложность и многообразие современных программных приложений приводят к необходимости качественного изменения используемых технологических средств их разработки и реализации. Большинство из используемых технологических средств, основанных как правило на интуитивных подходах, не обеспечивают однозначность описания постановки задачи на программирование, предварительное исследование свойств программных приложений до этапа их непосредственной разработки и наконец высокую степень надежности программ. Целесообразным решением перечисленных выше проблем использование формализованного подхода, обеспечивающего строгое и однозначное описание требований к создаваемому программному продукту. Наилучший эффект применения формализованных средств достигается в случае их адекватного использования на всех необходимых этапах разработки, начиная от постановки задачи до этапа непосредственной реализации и внедрения программного продукта. Такой подход обеспечивает возможность компактного описания и принятия обоснованных решений по методам реализации. Формализованный подход имеет много потенциальных преимуществ, от улучшения качества самой спецификации до автоматической генерации выполняемого кода. Основу формализованного подхода составляет построение формальной модели, с помощью которой обеспечивается не только описание соответствующих компонент программного продукта на всех этапах жизненного цикла программного обеспечения, но и проведение предварительных исследований по выбору оптимальных методов разработки и реализации. К настоящему времени известно множество различных формализованных средств построения моделей программных приложений, среди которых можно выделить теорию взаимодействующих процессов CSP [1], привлекательность которой обусловливается возможностями однозначного описания, исследования свойств и, наконец, эффективной реализации моделей программных приложений.

В предлагаемой статье рассматривается вариант построения модели программного приложения на основе теории CSP. В качестве примера программного приложения рассматривается меню - диалоговая система.

#### Модель меню - диалоговой системы.

Одним из существенных требований, предъявляемых к диалоговым системам, является обеспечение удобного интерфейса с пользователем, который заключается в минимизации

вводимых с терминала данных без потери мнемоники обозначений, уменьшении количества ошибок при вводе информации и, самое главное, в быстрой адаптации пользователя к диалоговой системе. Такой интерфейс является важным особенно в тех случаях, когда диалоговая система эксплуатируется «случайным» пользователем или вводимые в режиме диалога данные имеют сложную структуру. Существует много способов обеспечения указанного интерфейса, среди которых меню-диалог является одним из важных. Суть менюдиалога заключается в выдаче альтернативного списка элементов (меню), один из которых выбирается пользователем путем подвода курсора или нажатием соответствующей функциональной клавиши при диалоговом решении задачи на ЭВМ. Наиболее очевидные преимущества, достигаемые при использовании меню - диалоговых систем, следующие:

- 1) быстрая адаптация пользователя к диалоговой системе и практически полное исключение необходимости специального изучения системы;
- 2) минимизация вводимой с терминала информации и, следовательно, уменьшение вероятности появления ошибок.

Меню диалоговое взаимодействие адекватно описывается множеством последовательностей выбираемых из меню элементов. Последнее позволяет использовать для описания меню-диалога средства теории взаимодействующих процессов CSP. В CSP упомянутые выше последовательности называются следами, а каждый элемент последовательности определяет событие (например, функцию, вызываемую к действию после выбора соответствующего элемента). След - это конечная последовательность символов в заданном алфавите. Содержательно след определяет один из возможных путей прохождения меню - диалогового взаимодействия от начала его функционирования до определенного момента времени, а каждый символ следа обозначает одно из событий. Например, <a, b > обозначает след, состоящий из событий а и b. Множество всех символов, обозначающих события, которые могут быть вызваны функционированием заданного процесса, называется алфавитом процесса. Процесс - это множество всех его следов, описывающих всевозможные пути его функционирования. Для любого процесса Р с алфавитом А имеют место следующие соотношения:

Р0. Р $\subseteq$  А \*, A\*— множество всевозможных следов с символами из алфавита А (универсальное множество);

 $P1. <> \in P$ , где <> обозначает пустой след;

 $P2. st \in P => s \in P$ , для всех  $st \in A^*$ , st - конкатенация следа-S со следом t.

Ниже приводятся основные определения теории CSP, которые будут использоваться в дальнейшем.

Пусть s — непустой след ( $s\neq <>$ ), тогда  $s_0$  означает начальный символ следа s, a s' - результат удаления начального символа из s.

Пусть символ  $\sqrt{}$  означает событие успешного завершения процесса, тогда этот символ может появиться только в конце следа. Таким образом при рассмотрении последовательной композиции следов (s; t) след t может быть выполнен только при условии успешного завершения следа s.

Далее вводится отношение  $s \le t$ , которое определяется как  $s \le t = _{df} \exists u (su=t)$ , в этом случае след s называется префиксом следа t. Например,  $\langle x,y \rangle \le \langle x,y,z \rangle$ ,  $\langle x \rangle < \langle x,y \rangle < \langle x,y \rangle$ .

Через (t | A) обозначается результат удаления всех символов из следа t, не принадлежащих множеству A. Например,  $\langle a, d \rangle$   $\{a,c\} = \langle a,c \rangle$ .

Выражение  $P^0$  обозначает множество всех событий, начиная с которых стартует процесс P. Формально это определяется как

$$P^0 =_{df} \{ c \mid  \in P \}.$$

Процесс FAIL =  $_{\rm df}$  {<>} определяет пустой процесс, который ничего не делает, а процесс SKIP =  $_{\rm df}$  {<>,< $\sqrt{\ }$ >}, который также ничего не делает, в отличие от предыдущего процесса завершается всегда успешно.

Пусть с - некоторое событие, а P является процессом. Тогда (с  $\rightarrow$  P) ("с затем P") определяет процесс, который начинается с выполнения события с, после чего его

дальнейшее поведение определяется процессом P. Формально это определяется как  $(c \to P) = _{df} \{(c \to s) \mid c \in \alpha P \& s \in P \}$ , где  $(c \to s) = _{df} < c > s$ , а  $\alpha P$  определяет алфавит процесса P.

Пусть P — некоторый процесс и  $s \in P$ , тогда операция P / s (P после s) определяет новый процесс, который выполняется после того, как в процессе P была выполнена последовательность событий, определяемая следом s. Формальное определение:  $P / s = _{df} \{t \mid st \in P\}$ .

Пусть P и Q являются процессами, тогда операция P | Q определяется как P | Q =  $_{df}$  P  $\cup$  Q, где  $\alpha$  (P | Q ) =  $\alpha$ P  $\cup$   $\alpha$  Q. Данная операция является альтернативной операцией, предусматривающей выбор между P и Q. Выбор зависит от того, какое событие из множества (P | Q) $^0$  будет выполнено. Например, если  $R=(a \to P) \mid (b \to Q), R/<a> = P и <math>R>0$  = Q.

Пусть P и Q являются процессами, тогда последовательная композиция P; Q определяется поведением процесса P до его успешного завершения, после чего следует выполнение процесса Q. Формальное определение:  $P;Q =_{df} \{ s;t \mid s \in P \& t \in Q \}$ .

В CSP меню - диалоговое взаимодействие можно рассматривать как взаимодействующий с пользователем процесс P. Начальное меню, представляющее из себя множество стартовых событий процесса P, которое можно определить как  $P^0$ . После того, как пользователь выбрал одно из событий, например x ( $x \in P^0$ ), дальнейшее выполнение определяется процессом P/< x > (P после x), ( $P/< x > )^0 \dots$ 

Выбор элементов меню активирует события по вызову соответствующих функций, среди которых есть проблемно — ориентированные, связанные с конкретными классами задач и функции, которые являются общими для различных классов задач. В первую очередь — это функции управления меню — диалогом.

Типичными функциями управления являются следующие:

- (1) функции для завершения меню диалога на любом шаге выполнения;
- (2) функции, позволяющие вернуться к любому из предыдущих шагов меню диалога;
- (3) функции переключатели для переключения на запуск другого процесса, в частности, другого сценария меню диалога, процесса ввода данных и т.п.

Цель представляемой статьи заключается в построении абстрактной модели меню – диалогового взаимодействия средствами теории CSP с формализованным описанием спецификаций функций управления меню – диалогом. Рассматриваются следующие функции управления меню – диалогового взаимодействия:

- (1) "stop" для завершения меню диалога на любом шаге выполнения;
- (2) "reset" для восстановления начального состояния меню диалога;
- (3) "back" для восстановления предыдущего состояния меню диалога;
- (4) функции переключатели "off" и "on" для прерывания процесса с переключением на запуск другого процесса и восстановления работы прерванного процесса соответственно.

#### Функция "stop".

Действие этой функции определяется процессом stoppable(P).

Пусть "stop"  $\notin \alpha P$  (символ "stop" не принадлежит алфавиту процесса P). Тогда процесс stoppable(P) может быть определен как процесс, поведение которого определяется процессом P за исключением следующих условий:

- (1) "stop"  $\in$  stoppable(P);
- (2) символ "stop" появляется в каждом из меню процесса stoppable(P);
- (3) при активации события "stop" процесс stoppable(P) успешно завершает свою работу Например:
- <a, b, c, stop,  $\sqrt{\ }>\ \in$  stoppable(P)  $\Leftrightarrow$  <a, b, c $>\ \in$  P, где символ  $\sqrt{\ }$  означает событие успешного завершения процесса.

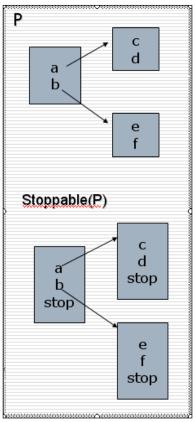


Рис.1. Пример представления процесса stoppable(P).

Для формального определения данного процесса будем использовать теоретико-множественный и процедурный способы определения процесса. Теоретико-множественное определение процесса предусматривает его представление в виде множества следов, определяющих поведение процесса, а процедурный задает процесс в виде пары < I, F >, где I определяет начальное состояние процесса, а F - функцию переходов. Теоретико-множественное определение является удобным для анализа и исследования свойств процесса, а процедурное ориентировано на реализацию процесса.

#### Определение 1 (теоретико – множественное).

stoppable(P) =  $_{df}$  {st | s  $\in$  P & t  $\in$  (stop->SKIP )), где P является успешно завершаемым процессом и stop $\notin \alpha$ P.

#### Определение 2 (процедурное).

```
stop \notin \alpha P \&

(stoppable(P))^0 = P^0 \cup \{stop\} \&

SKIP, если x=stop

(stoppable(P))/\langle x \rangle = \{

stoppable(P/x), если x \neq stop
```

Для последующих процессов управления будут приводиться только процедурные определения, поскольку их теоретико-множественные определения являются достаточно громоздкими.

#### Функция "reset".

Действие этой функции определяется процессом resettable(P). Пусть "reset" ∉ αP (символ "reset" не принадлежит алфавиту процесса P). Тогда процесс resettable(P) может быть определен как процесс, поведение которого определяется процессом P за исключением следующих условий:

- (1) "reset"  $\in$  resettable(P);
- (2) символ "reset" появляется в каждом из меню процесса resettable(P);
- (3) при активации события "reset" процесс resettable(P) возвращается к начальному состоянию.

Например: resettable(P)/ $\langle$ a, b, reset $\rangle$  = resettable(P)

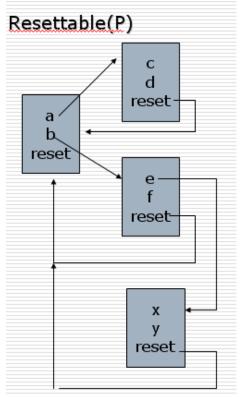


Рис.2. Пример представления процесса resettable(P).

#### Определение (процедурное).

```
reset \notin \alpha P \&
resettable(P) = start(P,P), где
(start(P,Q))<sup>0</sup> = P^0 \cup \{\text{reset}\} \&
start(Q,Q), если x=reset
(start(P,Q))/<x>= \{
start(P/x,Q), если x \neq reset
```

#### Функция "back".

Действие этой функции определяется процессом backtrackable(P). Пусть "back"  $\not\in \alpha P$  (символ "back" не принадлежит алфавиту процесса P). Тогда процесс backtrackable(P) может быть определен как процесс, поведение которого определяется процессом P за исключением следующих условий:

- (1) "back" ∈ backtrackable(P);
- (2) символ "back" появляется в каждом из меню процесса backtrackable(P);
- (3) при активации события "back" процесс backtrackable(P) возвращается к предыдущему состоянию меню диалога.

Например: backtrackable(P) / <a, b, back> = backtrackable(P) / <a >

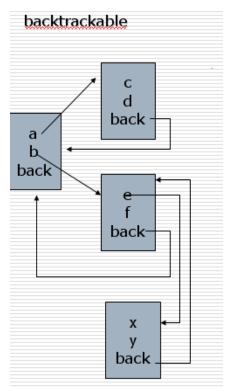


Рис.3. Пример представления процесса backtrackable(P).

#### Определение (процедурное).

back $\notin \alpha P \&$ backtrackable(P) =recover(P,P), где (recover(P,Q))^0 =  $P^0 \cup \{back\} \&$ Q, если x=back (recover(P,Q))/<x>= { recover(P/x, recover(P,Q)), если x  $\neq$  back

#### Функции - переключатели.

Действия функций — переключателей "on" и "off" определяются процессом coroutine(P). Пусть  $(\alpha P \cup \alpha Q) \cap \{\text{off,on}\} = \emptyset$ . Определим процесс coroutine(P,Q) следующим образом:

- (1) сначала coroutine(P,Q) стартует как процесс P, затем
- (1.1) при активации события "off" действие процесса прерывается для переключения на процесс, который стартует сначала как процесс Q, затем
- (1.2) при активации события "оп" действие процесса прерывается для возобновления работы прерванного ранее процесса Р с точки последнего прерывания;
  - (2) дальнейшее поведение процесса coroutine(P,Q) определяется следующим образом:
- (2.1) активация "off" переключает выполнение с процесса P на процесс Q, продолжая процесс Q с места последнего его прерывания;
  - (2.2) аналогично п. (1.2).

Поведение процесса coroutine(P,Q) иллюстрируется на следующем ниже рисунке:

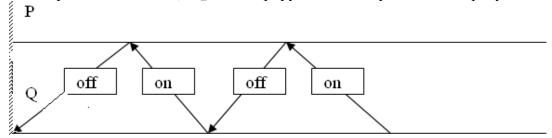


Рис.4. Иллюстрация поведения процесса coroutine(P,Q).

Данный процесс является важным для моделирования взаимодействующих процессов в меню — диалоговых системах, в системах разделения времени для реализации многозадачного режима, в компиляторах для одновременного обслуживания процессов лексического и синтаксического анализов и т.п.

#### Определение (процедурное).

```
(\alpha P \cup \alpha Q) \cap \{off, on\} = \emptyset \&
(coroutine(P,Q))^0 = P^0 \cup \{off\} \&
coroutine1(Q,P), если x=off
coroutine(P,Q) = \{
coroutine(P/<x>,Q), если x \neq off,
rдe
(coroutine1(Q,P))^0 = Q^0 \cup \{on\} \&
coroutine(P,Q), если x= on
coroutine1(Q,P) = \{
coroutine1(Q,P), если x \neq on
```

#### Заключение

В данной статье авторами представлен один из подходов к построению модели программных приложений на примере меню – диалогового взаимодействия. В качестве средств построения модели использованы средства теории взаимодействующих процессов CSP. Модель может быть использована для спецификации, анализа свойств процессов и реализации. Представленная модель меню – диалоговой системы реализована в программной среде системы LISP, осуществляется реализация на базе других популярных систем программирования. Мы не обсуждаем здесь реализацию представленной модели, которая может составить материал следующей статьи. Теория взаимодействующих процессов CSP позволяет построение моделей для различных программных приложений, особенно для тех приложений, где используется парадигма событийно – управляемого программирования. Упомянутая парадигма лежит в основе большинства современных объектно объектно технологии ориентированных систем. Развитие ориентированного программирования привело к появлению новой теории CSP-OZ [2,3], основанной на теории CSP и объектно – ориентированного языка спецификации Object-Z. Эта новая теория позволяет описать поведение процессов и структуру данных, обрабатываемых этими процессами.

- 1.Хоар Ч., X68 Взаимодействующие последовательные процессы: Пер. с англ.— М.: Мир, 1989.— 264 с., ил.ISBN 5-03-001043-2
- 2.C. Fischer. CSP-OZ: A combination of Object-Z and CSP. In H. Bowman and J. Derrick, editors, Formal Methods for Open Object-Based Distributed Systems, volume 2, pages 423–438. Chapman & Hall, 1997. R. Duke, G. Rose, and G. Smith. Object-Z: A specification language advocated for the description of standards. Computer Standards and Interfaces, 17:511–533, 1995.
- 3.Арслан Еникеев, Тахар Бендума, Специализированные модели для разработки информационных систем Изд-во LAP, LAMBERT Academic Publishing, ISBN: 978-3-8454-4045-3, 2011 (монография), 97 с.

05.13.18

#### А.А. Жирнов

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем химико-энергетических технологий Сибирского отделения Российской академии наук, лаборатория №5, Бийск, toluol\_88@mail.ru

#### РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО АЛГОРИТМА ОБРАБОТКИ ФАЙЛОВ ЭКСПЕРИМЕНТА И ЕГО ПРИМЕНЕНИЕ В МОДИФИЦИРОВАННОМ МЕТОДЕ МАЛОУГЛОВОГО РАССЕЯНИЯ

В работе представлены алгоритм и результаты автоматизированной обработки файла эксперимента в модифицированном методе малоуглового рассеяния для определения дисперсных характеристик аэрозоля.

Ключевые слова: алгоритм, индикатриса рассеяния, модулированный сигнал.

Бесконтактные оптические методы диагностики потоков являются перспективным направлением в исследовании аэрозолей, т.к. они не вносят возмущения в исследуемую среду. Для исследования аэрозольных потоков был разработан модифицированный метод малоуглового рассеяния (МММУ) [1], а также установка на его основе (рис. 1).

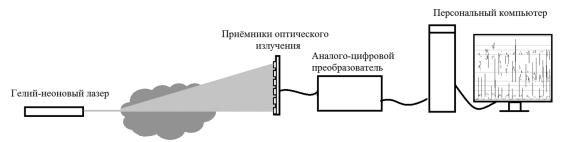


Рис. 1 – Принципиальная схема установки

Математический аппарат метода заключается в предположении равномерности распределения концентрации и размеров частиц в аэрозольном облаке. Уравнение для интенсивности рассеянного потока излучения имеет вид:

$$I_{meop}(y_i) = \frac{\pi SC_n}{4} \int_0^z \left[ I_0(x)B(x, y_i)F(x) \right] dx, \text{ где}$$

$$F(x) = \int_0^\infty Q_s(D, \Theta(x))D^2 f(D) dD,$$
(1)

интенсивность излучения падающего в точку наблюдения.

$$I_0(x) = I_0 e^{-C_n \tau(x)}$$
, где

au(x) – оптическая толщина, зависящая от длины пути зондирующего излучения;

 $C_n$  – концентрация частиц.

Рассеянное излучение от одной частицы для области малых углов  $\theta$  в предположении сферичности частиц определяется в виде аналитической зависимости:

$$Q_{_{S}}(
ho, heta) = rac{\left(rac{\pi D}{\lambda}
ight)^{2}}{4\pi} \cdot \left\lceil rac{2J_{1}\!\left( hetarac{\pi D}{\lambda}
ight)}{ hetarac{\pi D}{\lambda}}
ight
ceil,$$
 где

 $J_1( heta
ho)$  - функция Бесселя первого рода первого порядка;

 $\rho = \frac{\pi D}{\lambda} \text{ - параметр дифракции (параметр Ми);}$ 

 $\theta$  - угол рассеяния;

D - диаметр частиц;

 $\lambda$  - длина волны зондирующего излучения.

Множитель, учитывающий по закону Бугера ослабление рассеянного излучения, определяется соотношением:

$$B(x, y_i) = e^{-C_n \tau(x, y_i)}$$
, где

 $au(x,y_i)$  — оптическая толщина, зависящая от длины пути и высоты приёмника зондирующего излучения.

В качестве базовой функции распределения частиц по размерам принято гаммараспределение:

$$f(D) = aD^{\alpha}e^{-bD} \tag{2}$$

Определение f(D) по измеренной индикатрисе рассеяния  $I_{3\kappa c}(y_i)$  сводится к перебору параметров  $\{\alpha,b\}$  распределения и вычислению функционала:

$$\Omega = \min_{\alpha, b} \left\{ \sum_{i=1}^{n} \left| I_{\mathfrak{SKC}} \left( y_{i} \right) - I_{meop} \left( y_{i} \right) \right| \right\}, \tag{3}$$

где  $I_{_{9KC}}(y_i)$  (i = 1,2,..,n) — измеренные значения индикатрисы рассеяния для дискретных положений на плоскости;  $I_{meop}(y_i)$  — рассчитанные значения по формуле.

Наиболее распространенными являются следующие характерные размеры:  $D_{10}$  – среднеарифметический (среднесчетный);  $D_{20}$  – среднеквадратический;  $D_{30}$  – среднеобъемный;  $D_{32}$  – средний объемно-поверхностный;  $D_{43}$  – среднемассовый.

Средний объёмно-поверхностный диаметр частиц определяется с помощью формулы:

$$D_{32} = \frac{D_{\max}}{D_{\min}} D^3 f(D) dD$$
 или  $D_{32} = \frac{\alpha+3}{b}$   $D_{\min}$ 

Данный метод основан на регистрации малоугловой индикатрисы рассеяния и заключается в нахождении функции распределения частиц по размерам (2) путем решении серии прямых задач оптики аэрозоля [2]. Установка позволяет определять параметры аэрозоля в диапазоне от 2 до 100 мкм (в зависимости от длины волны зондирующего излучения; диапазон может быть незначительно сдвинут в ту или иную сторону).

Несмотря на успешное применение метода на практике в его реализации имеется ряд проблем. Большие затраты по времени на обработку результатов эксперимента связаны со сложным алгоритмом обработки, который выполняет квалифицированный оператор:

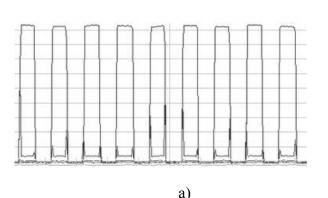
- запускается программа для нахождения индикатрис рассеяния в течение времени эксперимента;
- а) определение базового фона при отсутствии рассеяния (участок сигнала до момента начала эксперимента), для этого определяем средние минимальные и максимальные значения и определяем разницу между ними;
- б) сигнал после момента начала эксперимента разбивается на временные диапазоны и для каждого диапазона получаем усредненные значения разности средних значений минимумов и максимумов;
  - в) учет коэффициентов усиления и калибровки.
- г) сохраняются значения индикатрис для каждого выбранного момента времени в отдельном файле;
  - запускается программа для вычисления функции распределения;
  - а) устанавливается расстояние до фотодиодов;
  - б) устанавливается шаг интегрирования;
  - в) задаются диапазоны перебора параметров α, β и шаг перебора;
  - г) загружается файл индикатрис и запускается расчёт;
  - д) анализируются границы параметров α, β;
  - е) сохраняются итоговые результаты расчётов.

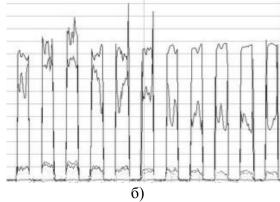
Недостатком такой реализации является недостаточная детализация процесса генезиса аэрозоля, например, 20 точек эксперимента (требуют уже нескольких часов обработки), что явно недостаточно для описания эксперимента более 1-го часа. Возможны ошибки (человеческий фактор) из-за слабой автоматизации процесса.

В связи с этим было принято решение разработать алгоритм [3] [4], реализованный в виде программы, который бы позволил автоматически обрабатывать файлы эксперимента и получать значения экспериментальных индикатрис рассеяния для дальнейшего расчёта в соответствии с МММУ.

Для уменьшения определяемой погрешности индикатрис рассеяния (метод требует не более 5% от истинного) используется модуляция зондирующего излучения.

В качестве модулятора сигнала используется вентилятор с частотой вращения около 80 об/сек. На рисунке 2а и 26 представлен фрагмент модулированного сигнала, регистрируемого аналого-цифровым преобразователем (АЦП).





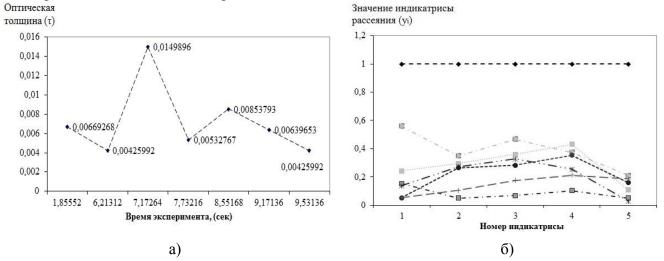
- а) без рассеяния лазерного излучения аэрозолем;
- б) при рассеянии лазерного излучения аэрозолем

Рис. 2 – Фрагменты модулированных сигналов с АЦП L-783

Алгоритм обработки экспериментальных данных за несколько секунд позволяет выделить любое требуемое количество значимых точек из десятков тысяч для дальнейшей обработки.

Следующим этапом является расчёт теоретических индикатрис  $I_{meop}(y_i)$  по формуле (1) и определение минимума функционала (3).

На рисунках 3, 4 приведены результаты автоматической обработки файла эксперимента и его применения в дальнейших расчётах.



а) – время и оптическая толщина; б) – значения индикатрис рассеяния (7 каналов) Рис. 3 – Результат автоматической обработки модулированного сигнала с АЦП L-783

Разработанный алгоритм позволяет значительно (приблизительно, на два порядка) ускорить обработку экспериментальных данных и получать более подробные и точные результаты, описывающие генезис аэрозоля.

В дальнейшем планируется использовать многопараметрическую функцию распределения частиц по размерам вместо аппроксимации с помощью функции гамма-распределения, что существенно повысит точность результатов эксперимента. Это, в свою очередь, либо приведет к значительному увеличению времени расчета, либо потребует больше вычислительных мощностей. В связи с этим планируется применять технологию параллельных вычислений NVIDIA CUDA и разработать новый параллельный алгоритм.

- 1. *Ахмадеев, И.Р.* Метод и быстродействующая лазерная установка для исследования генезиса техногенного аэрозоля по рассеянию луча в контролируемом объеме: дис. канд. техн. наук. Бийск, 2008. С. 34-43.
- 2. Теоретические и прикладные проблемы рассеяния света / Под ред. Б.И. Степанова и А.П. Иванова. Издательство «Наука и техника», Минск 1971, УДК 535.36;
- 3. Цифровая обработка сигналов и изображений в радиофизических приложениях. / Под ред. В.Ф. Кравченко. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007. 544 с.
- 4. Жирнов А.А., Кудряшова О.Б. Алгоритм автоматизированной обработки модулированных сигналов регистрируемых в оптических методах измерения. В кн.: Фотоника и оптические технологии 2014: тез. докл. Молодежная конкурс-конференция «Фотоника и оптические технологии 2014», Новосибирск, 14-16 апреля 2014. С. 31–32.

05.22.10

#### Н.С. Захаров, В.А. Ракитин

Тюменский государственный нефтегазовый университет, кафедра сервиса автомобилей и технологических машин, г. Тюмень, satm\_tsogu@mail.ru

#### ВЛИЯНИЕ ТИПА ТОПЛИВНОЙ АППАРАТУРЫ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АВТОМОБИЛЕЙ В НЕФТЕГАЗОДОБЫВАЮЩЕМ РЕГИОНЕ

В статье изложена методика оценки эффективности использования автомобилей с двигателями, работающих по газодизельному циклу. Предложены корректирующие коэффициенты, учитывающие влияние газобаллонного оборудования на технико-эксплуатационные и экономические показатели автомобиля.

Ключевые слова: методика оценки эффективности использования автомобилей, газобаллонное оборудование, альтернативное топливо, себестоимость автомобильных перевозок, изменение трудоемкости текущего ремонта, изменение производительности автомобилей.

Нефтегазодобывающая промышленность — ведущая отрасль экономики Российской Федерации, обеспечивающая большую долю валового внутреннего продукта. Соответственно от эффективности работы нефтегазодобывающих предприятий зависит решение приоритетных вопросов укрепления обороноспособности страны, перевода экономики на инновационный путь, развития социальной сферы [1].

Существенную роль в обеспечении работы таких предприятий играет транспортнотехнологическая система. От надежности и эффективности ее функционирования зависят своевременность доставки грузов и персонала, простои бригад ремонта скважин из-за отсутствия или отказа транспортно-технологических машин, а также себестоимость конечного продукта [2, 3]. В то же время существует ряд проблем, решение которых позволит повысить надежность и эффективность функционирования транспортнотехнологических машин (ТТС) [4, 5]. Ранее рассматривались отдельные вопросы повышения эффективности, но системного решения проблемы пока нет [1].

На эффективную деятельность любого автотранспортного предприятия (АТП) влияют производительность подвижного состава и эксплуатационные затраты. На эти показатели влияет большое количество различных факторов: условия эксплуатации, природно-климатические условия, эксплуатационные свойства автомобилей и другие. Одним из критериев оценки эффективности функционирования предприятия является себестоимость перевозок.

Для повышения эффективности своей деятельности, АТП стремятся повысить производительность подвижного состава и при этом снизить затраты на его эксплуатацию [1, 2]. Вид используемого автомобилями топлива оказывает значительное влияние на себестоимость перевозки грузов. В последнее время четко выражена тенденция роста цен на все виды нефтяного моторного топлива, при этом стоимость дизельного топлива выше чем бензина. Учитывая, что на дизельном топливе работает подавляющее большинство грузовой и специальной автомобильной техники, это значительно сказывается на эксплуатационных затратах предприятия. Одним из способов снижения затрат на топливо является переход на более дешевый альтернативный вид топлива.

Наиболее распространенным видом альтернативного топлива является природный газ. В настоящее время цены на природный газ для автомобилей значительно ниже и стабильнее цен на жидкое моторное топливо. В качестве топлива для автомобилей используется компримированный (сжатый) природный газ (КПГ) или сжиженный природный газ (СПГ). Применение СПГ потребует значительных конструктивных изменений в устройстве

дизельного двигателя [6]. В отличие от СПГ, применение КПГ не потребует серьезных конструктивных изменений двигателя, а цена на данный вид топлива гораздо ниже, чем цена на СПГ.

Необходимо учитывать, что такой переход влияет на надежность подвижного состава, двигатель которого изначально не предназначен для данного вида топлива. С изменением потока отказов изменятся производительность транспортных средств, затраты на их эксплуатацию, техническое обслуживание и ремонт. Такое влияние требует корректирование известных методик расчета эффективности использования подвижного состава.

Для автомобилей, работающих на КПГ, некоторые общеизвестные закономерности [7] примут следующий вид:

$$W = A \underline{\Pi} \alpha_{\scriptscriptstyle B} T_{\scriptscriptstyle H} \gamma_{\scriptscriptstyle CT} \left( (q \text{-} m_{\Gamma BO}) \upsilon_{\scriptscriptstyle T} \beta l_{\scriptscriptstyle \Gamma} \right) \! / (\mu l_{\scriptscriptstyle \Gamma} + \beta \upsilon_{\scriptscriptstyle T} t_1),$$

где AД – автомобили-дни в работе, ед.;  $\alpha_{\text{в}}$  – коэффициент выпуска;  $T_{\text{н}}$  – время в наряде, час;  $\gamma_{c\scriptscriptstyle T}$  – коэффициент использования грузоподъемности; q – грузоподъемность, т;  $\upsilon_{\scriptscriptstyle T}$  – средняя техническая скорость, км/ч;  $\beta$  – коэффициент использования пробега;  $l_{\Gamma}$  – длина ездки с грузом, км; µ - отношение средней длины ездки с грузом к среднему расстоянию перевозки;  $t_1$  — время простоя под погрузкой-разгрузкой, час;  $m_{\Gamma BO}$  — масса газобаллонного оборудования, т.

Таким образом, учитывается снижение грузоподъемности автомобиля с установленным газобаллонным оборудованием (ГБО). Кроме того снижается коэффициент использования грузоподъемности.

Для газодизельных автомобилей норма расхода сжатого природного газа указана в м<sup>3</sup> с одновременным указанием нормы расхода дизтоплива в литрах. Их соотношение определяется производителем [8]. Поэтому формула расчета затрат на топливо для данных автомобилей примет следующий вид:

$$3_{\text{топГБО}} = Q_{\text{топ}} (a_{\text{д}} \coprod_{\text{д}} + a_{\text{г}} \coprod_{\text{г}}),$$

где  $Q_{\text{топ}}$  – кол-во израсходованного топлива, тыс. л.;  $\coprod_{\pi}$  – цена на дизельное топливо, руб./л;  $\coprod_{\Gamma}$  – цена на компримированный природный газ, руб./м $^3$ ;  $a_{\pi}$  – доля дизельного топлива;  $a_{\Gamma}$  – доля компримированного природного газа.

Для ГБО затраты на запасные части и материалы отличаются на некоторую величину, которая выражается коэффициентом:

$$3_{3^{\text{q-M}}} = \frac{L_{o\delta u\mu}(H_{3^{\text{q}}} + H_{\text{M}})k_{3^{\text{q-M}}}}{1000} k_{\Gamma BO},$$

где  $H_{34}$  - норма затрат на запасные части на 1000 км пробега;  $H_{M}$  - норма затрат на материалы на 1000 км пробега;  $L_{\text{общ}}$  - средний общий годовой пробег данной марки  $\Pi C$ ;  $k_{\text{зч-м}}$  поправочный коэффициент;  $k_{\Gamma DO}$  – коэффициент, учитывающий изменение затраты на запасные части и материалы.

Формула для определения трудоемкости ТО и ТР примет вид: 
$$t_{\text{то}}^{\text{кор}} = t_{\text{то}}^{\text{норм}} k_2 k_5 k_{\text{ТО-ГБО}}, \\ t_{\text{тр}}^{\text{кор}} = t_{\text{тр}}^{\text{норм}} k_1 k_2 k_3 k_4 k_5 k_{\text{ТР-ГБО}},$$

где  $t_{TO}^{HOPM}$  — нормативная трудоемкость технического обслуживания;  $t_{TD}^{HOPM}$  - нормативная трудоемкость текущего ремонта;  $k_1...k_5$  – корректирующие коэффициенты;  $k_{\text{TO-}\Gamma\text{БO}}$  – коэффициент, учитывающий изменение трудоемкости технического обслуживания;  $k_{TP-\Gamma EO}$  – коэффициент, учитывающий изменение трудоемкости текущего ремонта.

Для автомобилей с установленным ГБО трудоемкость технического обслуживания в соответствие с [9] увеличивается на 4...6 % на обслуживание дополнительного оборудования.

ремонта отличается на величину, которую выразить коэффициентом. Величина этого коэффициента может быть определена на основании эксперимента.

Таким образом, методика позволяет более точно рассчитать себестоимость перевозок грузов, на основании которой можно сформировать рациональную структуру парка грузовых автомобилей и повысить эффективность деятельности предприятия.

- 1. *Захаров, Н.С.* Проблемы обеспечения работоспособности автомобилей в условиях Западной Сибири [Текст] / Н.С. Захаров, Г.В. Абакумов, С.Ю. Кичигин, Е.С. Шевелев // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2008. Т. 33. № 1. С. 76-77.
- 2. Захаров, Н.С. Факторы, влияющие на продолжительность простоя транспортнотехнологических машин в текущем ремонте [Текст] / Н.С. Захаров, С.А. Савин, М.М. Иванкив, А.А. Лушников // Нефтяное хозяйство. -2014.-N24. С. 82-84.
- 3. *Новоселов*, *О.А*. Классификация структур транспортно-технологических систем в нефтегазовом комплексе [Текст] / О.А. Новоселов // Научно-технический вестник Поволжья. -2013. № 1. С. 230-233.
- 4. *Захаров*, *H.С.* Целевая функция при управлении снабжением запасными частями для транспортно-технологических машин в нефтегазодобыче [Текст] / H.С. Захаров, О.А. Новоселов, Р.А. Зиганшин, А.Н. Макарова // Научно-технический вестник Поволжья. − 2014. № 4. C. 108-110.
- 5. *Пермяков*, *В.Н.* Оценка надежности бульдозеров Б170М1Б.01В4 при строительстве оснований для нефтегазовых объектов [Текст] / В.Н. Пермяков, О.А. Новоселов, А.Н. Макарова // Научно-технический вестник Поволжья. 2014. № 3. С. 199-201.
- 6. Особенности применения газа в дизелях / И. Леонов, В. Марков, К. Свяжин, А. Тихонов //  $A\Gamma 3K + AT . 2003 . N 6. c.33 34$ .
- 7. Савин, В.И. Перевозки грузов автомобильным транспортом: Справочное пособие. М.: Дело и сервис, 2002. 544 с.
- 8. Р 3112194-0366-03. Нормы расхода топлива и смазочных материалов на автомобильном транспорте.
- 9. РД 03112194-1095-03. Руководство по организации эксплуатации газобаллонных автомобилей, работающих на компримированном природном газе.

05.13.10

#### А.В. Иващенко, И.А. Сюсин

Самарский государственный аэрокосмический университет им. акад. С.П. Королева (национальный исследовательский университет), г. Самара, anton.ivashenko@gmail.com

## ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА РИТМИЧНОГО НАЗНАЧЕНИЯ РЕСУРСОВ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОГО ПРОЦЕССА РАЗРАБОТКИ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

В статье предлагается решение проблемы согласования потоков заявок на разработку версий программного обеспечения, а также проблемы адаптации к изменяющимся внешним условиям при построении процесса разработки программного обеспечения на основе применения метода ритмичного назначения ресурсов в интегрированной информационной среде.

Ключевые слова: *разработка программного обеспечения*, *интегрированная информационная среда, ритмичное назначение, релиз*.

#### Введение

Исследованию фактора времени в системах поддержки принятия решений в настоящее время уделяется достаточно много внимания [1]. Потоки событий, описывающие процессы обмена информацией между лицами, принимающими решения, или компонентами сложной информационно-вычислительной системы, могут достаточно информативно характеризовать эффективность такого взаимодействия, что отражается, например, в ритмичности обмена сообщениями. С другой стороны, в условиях согласованного принятия решений в распределенной информационной среде, например, в мультиагентной системе, управление обстоятельствами взаимодействия позволяет обеспечивать своевременную реакцию на происходящие события в режиме реального времени.

Базовые подходы к построению системы управления взаимодействием в интегрированной информационной среде организации предлагаются в работах [2-4]. В частности, предложен метод кондициального управления взаимодействием в мультиагентной среде и метод ритмичного назначения, основанный на взаимном корреляционно-спектральном анализе потоков событий [5], характеризующих взаимодействие в процессах согласования и принятия решений.

В данной статье предлагается применить данные методы для управления процессом разработки программного обеспечения ( $\Pi O$ ).

#### Существующие технологии управления

Существует множество стандартов, описаний, рекомендаций по разработке ПО, однако все они касаются технических аспектов: совместного написания и синхронизации программного кода, его структурированного хранения, повторного использования, проверки качества и т.д. [6, 7]. Однако эти предписания не учитывают особенности взаимодействия потребителей и поставщиков ПО в едином информационном пространстве, когда необходимо синхронизировать во времени потоки заявок (событий) на выпуск различных версий ПО и процессов разработки программного продукта.

Данные вопросы при этом изучаются при построении систем управления производством и в сфере услуг [8, 9], например, для обеспечения своевременной реакции на возникающие события при предоставлении услуг и синхронизации запросов потребителей и возможностей поставщиков услуг.

Наиболее глубоко проблемы управления производственными процессами изучал Э. Голдратт, создатель фундаментальной теории ограничений [10, 11], которая успешно применяется на практике [12, 13]. Основная идея теории ограничений заключается в

организации внутренних процессов исходя из возможностей производственной цепочки таким образом, чтобы ресурсы с большими мощностями не простаивали из-за «узких мест» в общем процессе, а также возможности гибкой адаптации производства к изменяющимся внешним условиям. Оптимизация в этом случае достигается не за счет роста локальных показателей (в этом случае есть риск перепроизводства отдельных составляющих продукции, увеличения вложений и низкой адаптации к изменяющимся внешним обстоятельствам), а за счет повышения эффективности всей системы в целом.

Будем опираться на основные положения теории ограничений при построении системы управления потоками событий (путем приоритезации, введения запретов и опережений и ограничения доступа к актуальной информации) в многоакторной интегрированной информационной среде.

#### Многоакторная модель взаимодействия разработчиков ПО

Обозначим следующие события жизненного цикла заявки на подготовку версии ПО для сдачи заказчику:

- поступление заявки на выпуск версии ПО с требуемой функциональностью к заданному моменту времени:

$$e_i = e(t^*, t_i) \in \{0, 1\},$$
 (1)

где  $i = 1..N_e$  - порядковый номер заявки,

 $t^*$  - желаемое время сдачи версии  $\Pi O$ ,

 $t_i$  - время поступления заявки.

- начало подготовки версии ПО с требуемой функциональностью для соответствующей i -ой заявки:

$$e'_i = e'(t'_i) \in \{0,1\},$$
 (2)

где  $t_i'$  - время начала подготовки релиза. - окончание подготовки версии  $\Pi O$  с требуемой функциональностью для соответствующей заявки:

$$e_i'' = e''(t_i'') \in \{0,1\},$$
 (3)

где  $t_i''$  - время окончания подготовки версии ПО с требуемой функциональностью.

Рассмотрим поток заявок  $e_i$  на временном интервале  $(T_{{\scriptscriptstyle HAV}},T_{{\scriptscriptstyle OK}})$  в один год  $(T_{{\scriptscriptstyle HAV}}=1)$ января,  $T_{o\kappa}$  = 31 декабря). Поток является неэквидистантным, с постепенным увеличением плотности (см. Рис. 1). Это связано с низкой активностью заключения договоров с заказчиками на разработку ПО в первом полугодии и необходимостью их закрытия к концу календарного года.

Рис. 1– Поток событий поступления заявок на выпуск на выпуск версии ПО с требуемой функциональностью в течение года

Для обеспечения требуемой функциональности ПО необходимо выполнить полный цикл разработки программного продукта, включающий сбор требований, анализ, разработка, тестирование и внедрение и формализованный, например, в виде этапов согласно ГОСТ 19.102.

Эти этапы требуют определенного *времени подготовки выполнения заявки* T, зависящего от имеющихся в нашем распоряжении ресурсов (человеческих и материальных), а также состава и сложности требуемой функциональности:

$$T = f(\lbrace r_i \rbrace, C \rbrace, \tag{4}$$

где  $\{r_i\}, i = 1..N_r$  - доступные ресурсы,

 $C \in (0;1)$  - коэффициент состава и сложности требуемой функциональности.

В случае разработки  $\Pi O\ T$  – суммарное время всех этапов жизненного цикла разработки новой версии программного продукта.

Рассмотрим случай, когда перечень доступных ресурсов неизменен (но ограничен,  $N_r \neq \infty$ ), а состав и сложность требуемой функциональности для всех сдач неизменны, следовательно T=const. На Рис. 2 показаны варианты заявок на выпуск версии ПО с требуемой функциональностью и временем подготовки выполнения T.

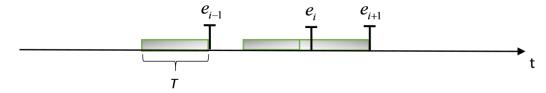


Рис. 2— Заявки на выпуск версии ПО с требуемой функциональностью и временем подготовки выполнения заявки Т

Как видно из Рис. 2 (заявки  $e_i, e_{i+1}$ ), времена подготовки для разных заявок могут пересекаться в случае  $t_{i+1} - t_i < T$ . При этом, учитывая условие ограниченности и неизменности перечня привлекаемых ресурсов, получаем смещение времени старта подготовки версии ПО для заявки (см. Рис. 3).

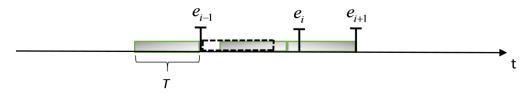


Рис. 3— Смещение времени старта подготовки версии  $\Pi O$  для заявки  $e_i$ 

В этом случае для успешной сдачи заявки  $e_i$  начинать готовить ПО для нее необходимо раньше.

Основным критерием успешного выполнения заказа на выпуск версии ПО с требуемой функциональностью является минимальное суммарное отклонение от времени сдачи версии ПО на заданном интервале времени:

$$D(T_{Hav}, T_{OK}) = \sum_{i=1}^{N_e} e_i \cdot \left| t^* - t' \right| \longrightarrow \min.$$
 (5)

Рассмотрим поток событий  $e_i'$ ,  $e_i''$ . В идеальной ситуации распределение заявок типа  $e_i$ ,  $e_i'$ ,  $e_i''$  должно выглядеть следующим образом (Рис. 4).

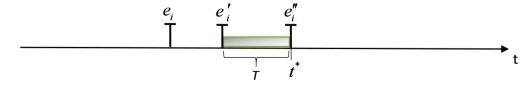


Рис. 4— Распределение заявок типа  $e_i$ ,  $e_i'$ ,  $e_i''$  в идеальной ситуации

Однако в реальности существуют факторы, делающие распределение заявок из Рис. 4 труднодостижимым (назовем их *факторами неопределенности*):

– неравномерность потока заявок  $e_i$ , приводящая к наложению процессов подготовки различных версий ПО (см. Рис. 3);

– непредвиденные ситуации (неверная оценка трудоемкости задач; изменение требований заказчиком; больничные, отпуска, увольнения исполнителей и т.д.).

Кроме того, для любого производства (в том числе и производства  $\Pi O$ ) важным условием эффективности является непрерывность и равномерность. Иными словами, команду исполнителей необходимо обеспечивать постоянной посильной работой, что не всегда соответствует входному потоку заявок  $e_i$ .

Таким образом, возникает задача синхронизации неравномерного потока заявок  $e_i$  (Рис. 1) и равномерного потока заявок  $e_i'$  (Рис. 5). Простое наложение этих двух потоков заявок может привести к накоплению задержек и существенному снижению интегрального показателя (5). В данном контексте наибольший интерес представляет резкое, но непродолжительное возрастание количества заявок на определенном интервала времени (см. Рис. 1, конец интервала). Действительно, в случае небольших отклонений от среднего значения плотности потока заявок  $e_i$  производство будет иметь достаточно времени для адаптации путем использования резервов и буферных времен [12, 13]. В случае резкого и продолжительного увеличения количества заявок для обеспечения (5) будет неизбежно появление отказов.

#### Метод ритмичного назначения

Для решения поставленной проблемы предлагается применить метод ритмичного назначения. Разобьем период  $(T_{\scriptscriptstyle HAY},T_{\scriptscriptstyle OK})$  на интервалы принудительной дискретизации с длительностями  $\Delta au_{\scriptscriptstyle n}, n=1..N_{\scriptscriptstyle au}$ :

$$\rho_{n}(\Delta \tau_{n}) = \sum_{i=1}^{N_{e}} e_{i} \cdot \theta(t_{i} - \Delta \tau_{n-1}) \cdot \theta(\Delta \tau_{n} - t_{i}) = const, \qquad (6)$$

где 
$$\theta(x)$$
 – ступенчатая функция Хэвисайда:  $\theta(x) = \begin{cases} 0, x < 0 \\ 1, x \ge 0 \end{cases}$ .

Выражение (6) описывает **требование ритмичности** поступления заявок  $e_i$  на выпуск версии ПО с требуемой функциональностью.

Нарушение ритмичности поступления заявок  $e_i$  можно описать следующим образом:

$$\rho_n^* \left( \Delta \tau_n \right) = \sum_{i=1}^{N_e} e_i \cdot \theta \left( t_i - \Delta \tau_{n-1} \right) \cdot \theta \left( \Delta \tau_n - t_i \right) \neq const, \tag{7}$$

Для обеспечения максимальной приближенности потока заявок  $e_i'$  к равномерному предлагается использовать метод ритмичного назначения следующим образом:

- 1. Составляется прогноз ожидаемого потока заявок  $e_i$  на интервале времени  $(T_{\mu a q}, T_{o \kappa})$ . Источником данных для прогноза может являться как статистика за предыдущие периоды, так и анализ текущей ситуации.
- 2. Исходя из прогнозируемой плотности заявок  $e_i$ ,  $(T_{\text{\it Hall}}, T_{\text{\it OK}})$  разбивается на интервалы принудительной дискретизации  $\Delta \tau_n$  исходя из возможностей производства и времени T таким образом, чтобы потребности заявок  $e_i$  на каждом интервале  $\Delta \tau_n$  удовлетворялись результатами выполнения  $m \cdot e_i'$  заявок на начало подготовки версии ПО с требуемой функциональностью. При этом, чтобы учесть факторы неопределенности, предлагается дополнить выражение (6) следующим образом:

$$\rho_{n}\left(\Delta\tau_{n}\right) = \sum_{i=1}^{N_{e}} e_{i} \cdot \theta\left(\hat{t} - \Delta\tau_{n-1}\right) \cdot \theta\left(\Delta\tau_{n} - \hat{t}\right) = const, \tag{7}$$
 где  $\hat{t} = (t^{*} - T - \tilde{t} - ((T - (t_{i+1} - t_{i})) \cdot \theta(T - (t_{i+1} - t_{i})))),$ 

- $ilde{t}$  временной буфер для оперативной гибкости, определяется на основании анализа возможностей производства, резервов ресурсов и оценки рисков.
- 3. На каждый интервал  $\Delta au_n$  назначается m заявок  $e_i'$  (с равномерным распределением по интервалу  $(T_{\mu ay}, T_{o\kappa})$ ).
- 4. Начинается выполнение необходимых действий в соответствии с потоком заявок  $e_i'$  последовательно для каждого интервала  $\Delta \tau_n$ .

Описанные выше шаги позволяют подготовиться к обработке реального потока заявок  $e_i$  с учетом негативных сценариев развития ситуации.

- В случае отклонения реального потока заявок  $e_i$  от прогнозируемого предлагается выполнять следующие действия:
- 1. Провести анализ изменения плотности заявок на текущем интервале дискретизации  $\Delta \tau_n$  и переформировать поток событий на интервал  $\Delta \tau_{n+1}$  в соответствии с (7) следующим образом:
- а) при увеличении плотности заявок  $e_i$  уменьшить плотность заявок  $e_i'$  в связи с необходимостью адаптации производства к высокой интенсивности сдач, а также определенностью реального потока заявок на подготовку версии  $\Pi O$  с требуемой функциональностью;
- б) при уменьшении плотности заявок  $e_i$  увеличить плотность заявок  $e_i'$  в связи с неопределенностью реального потока заявок  $e_i$  и уменьшении пула задач.
- 2. Перейти к следующему интервалу  $\Delta \tau_{n+1}$  и выполнять необходимые действия в соответствии с потоком заявок  $e_i'$ .
  - 3. Повторять пп. 1, 2 для всех интервалов дискретизации  $\Delta \tau_n$ .

Основная идея подхода при отклонении реального потока заявок  $e_i$  от прогнозируемого состоит в том, что при появлении неожидаемых событий  $e_i$  на текущем интервале дискретизации  $\Delta \tau_n$  производство уже никак не сможет отреагировать, поскольку все мощности заняты выполнением текущего плана. Необходимо учесть эти изменения и пересмотреть прогноз, чтобы попытаться адаптироваться к новым обстоятельствам.

В случае снижения плотности заявок предлагается уменьшить интервал между событиями  $e_i'$ , поскольку интенсивное производство в прежнем режиме не будет соответствовать реальным заказам, и эффективность его снизится. В условиях неопределенности необходимо максимально повысить гибкость внутренних процессов путем укорачивания интервалов дискретизации.

В случае увеличения плотности заявок, наоборот, неопределенность снижается (все заказы уже поступили, их можно передавать в производство). В этом случае необходимо оптимизировать внутренние процессы для интенсивного производства, максимально быстро передав наборы заказов все разом на длительную реализацию. Следовательно, длительность подготовки версии ПО с требуемой функциональностью увеличится (поскольку увеличивается и известный объем требуемой функциональности).

#### Аспекты практической реализации

Применение описанных выше шагов позволяет минимизировать влияние факторов неопределенности и синхронизировать потоки событий  $e_i$  и  $e_i'$ , однако они не позволяют прийти к равномерности потока событий  $e_i'$ . Для компенсации изменения плотности потока заявок  $e_i$  предлагается применить наложение потоков различных заявок. В сфере разработки ПО обычно параллельно выполняются как минимум 2 процесса:

- подготовка версий ПО с требуемой функциональностью (события этого типа в нашем случае определены как  $e_i$ ). Данный процесс необходим для удовлетворения текущих потребностей пользователей;
- развитие платформы программного продукта: применение новых технологий и методов, разработка новых модулей и подсистем, интеграция со сторонними информационными системами и т.д. Данный процесс позволяет всегда иметь инновационный конкурентоспособный продукт, а также осваивать новые ниши рынка.

Процесс второго типа также состоит из отдельных событий выпуска стабильных версий ПО с новой функциональностью (релизов). Обозначим такое событие

$$q_i = q(t_i) \in \{0,1\},$$
 (8)

где  $j=1..N_a$  - порядковый номер релиза.

Выпуск релизов является внутренним процессом, не зависящим от требований заказчика. Владелец продукта может самостоятельно выбирать сроки и состав функциональности для каждого релиза. Это позволяет составлять план выпуска релизов на заданном интервале времени  $(T_{nav}, T_{o\kappa})$  (т.е. определять вид потока заявок  $q_j$ ) с учетом требований производства (потока заявок  $e_i'$ ) и заказчика (потока заявок  $e_i$ ).

Для решения задачи формирования равномерного потока заявок  $e_i'$  предлагается формировать поток заявок  $q_j$  и накладывать его на поток заявок  $e_i$  таким образом, чтобы компенсировать изменения плотности событий  $e_i$ . При таком подходе итоговый поток заявок  $e_i'$  можно отнести к типу потока с периодической дискретизацией с «дрожанием», что в целом удовлетворяет основному требованию производства в равномерности и предсказуемости потока поступающих задач.

#### Заключение

Применение метода ритмичного назначения позволяет повысить эффективность планирования ресурсов при разработке версий ПО, а также учесть влияние факторов неопределенности и снизить их негативный эффект. Это, в свою очередь, позволяет выполнять сдачи версий ПО с требуемой функциональностью заказчику в срок. Предлагаемый метод также позволяет синхронизировать потоки событий различных внутренних процессов организации для повышения эффективности и гибкости процесса разработки программного обеспечения на практике.

- 1. Anicic D., Fodor P., Rudolph S., Stuhmer R., Stojanovic N., Studer R. A rule-based language for complex event processing and reasoning // Springer, Heidelberg: Hitzler P., Lukasiewicz T. (eds.) RR 2010. LNCS, 2010. Vol. 6333. p. 42 57.
- 2. *Иващенко А.В.* Метод кондициального управления взаимодействием в мультиагентной среде // Системы управления и информационные технологии, 2013. № 1. c. 39 43.
- 3. Иващенко А.В., Сюсин И.А., Юмашев В.Л. Анализ ритмичности назначения для повышения эффективности планирования в транспортной логистике // Известия Самарского научного центра РАН, 2014, т 16. № 4. с. 388 392.
- 4. *Иващенко А.В., Сюсин И.А.* Анализ ритмичности назначения при управлении посреднической деятельностью в сфере услуг // Перспективные информационные технологии (ПИТ 2014): труды Международной научно-технической конференции. Самара: Издательство СНЦ РАН, 2014. с. 121 124
- 5. Прикладной анализ случайных процессов. Под ред. Прохорова С.А. / Самарский научный центр РАН, 2007. 582 с.
- 6. A successful Git branching model [Электронный ресурс] / Throughts and writings by Vincent Driessen. URL: http://nvie.com/posts/a-successful-git-branching-model/ (20.11.2014).
- 7. Continuous Integration [Электронный ресурс] / Martin Fowler. URL: http://www.martinfowler.com/articles/continuousIntegration.html (20.11.2014).
- 8.  $\Phi$ орд  $\Gamma$ . Моя жизнь, мои достижения / М.: «Манн, Иванов и Фербер OOO», 2013. 304 с.
- 9. *Оно Т.* Производственная система Тойоты: уходя от массового производства [Текст] / М: Издательство ИКСИ, 2012.
- 10. Детмер У. Теория ограничений Голдратта. Системный подход к непрерывному совершенствованию / М.: Альпина Паблишер, 2010. 448 с.
- 11. Шрагенхайм Э. Теория ограничений в действии: Системный подход к повышению эффективности компании / М.: Альпина Паблишер, 2014. 286 с.
- 12. «Барабан-Буфер-Канат» методика планирования производства [Электронный ресурс] / Сообщество поклонников TOC. URL: http://www.tocpeople.com/2011/03/baraban-bufer-kanat-metodika-planirovaniya-proizvodstva/ (03.11.2014).
- 13. Стоя на плечах гигантов. Производственные концепции и их отражение в прикладных решениях. Пример Hitachi Tool Engineering [Электронный ресурс] / APБ-консалтинг. Системы менеджмента. URL: http://www.arbconsulting.ru/iso/articles/opyt-vnedreniyatoc\_45.html (03.11.2014).

05.09.07

### С.С. Капитонов к.т.н., Н.Н. Беспалов к.т.н., А.В. Капитонова, А.А. Ашрятов к.т.н., Денис. Р. Кильмямятов, Диас. Р. Кильмямятов

Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва, кафедра электроники и наноэлектроники, кафедра источников света, Capaнск, kapss88@mail.ru

#### РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ СВЕТОДИОДА В СРЕДЕ MULTISIM

В статье рассмотрена разработанная в среде Multisim электрическая модель светодиода. Представлены результаты моделирования вольт-амперной характеристики мощного светодиода при различных значениях температуры его полупроводниковой структуры. Сделаны выводы о возможности использования данной модели для исследования процессов, протекающих в реальных светодиодных лампах и светильниках.

Ключевые слова: *светодиод*, *модель*, *вольт-амперная характеристика*, *полупроводниковая структура*, *температура*.

Основным направлением развития современной светотехники является создание энергоэффективных светодиодных источников света (ИС). С целью повышения надёжности светодиодных ламп и светильников при их проектировании требуется учитывать особенности работы светодиодов в различных условиях и режимах эксплуатации [1]. Для этого на стадии проектирования светодиодных ИС нужно проводить математическое моделирование электрических и тепловых процессов, протекающих в них [2, 3]. Однако, в настоящее время отсутствуют математические модели светодиодов, позволяющие моделировать процессы, протекающие в реальных лампах и светильниках.

Существующие модели светодиодов описывают только их вольт-амперную характеристику (BAX) и не позволяют задавать её температурную зависимость [4]. Требуется разработать в среде Multisim математическую модель светодиода, в которой будет реализована зависимость BAX от температуры его полупроводниковой структуры (ПС).

Зависимость значения прямого падения напряжения на светодиоде от температуры его ПС описывает температурный коэффициент напряжения (ТКН), который определяется следующим выражением:

$$TKH = \frac{\Delta U}{\Delta T_j} \,, \tag{1}$$

где  $\Delta U$  — изменение значения напряжения;  $\Delta T_j$  — изменение температуры ПС.

Изменение значения прямого падения напряжения на светодиоде при изменении значения температуры его ПС определяется по формуле:

$$\Delta U = TKH \cdot (T_j - T_{j0}) , \qquad (2)$$

где  $T_i$  — температура ПС,  $T_{i0}$  — начальная температура ПС.

В среде Multisim существует электрическая модель светодиода. Однако, в ней не учитывается температурная зависимость ВАХ светодиода. На базе существующей модели с учётом зависимости (2) разработана электрическая модель светодиода, в которой описано влияние температуры его ПС на ВАХ. Внешний вид созданной модели представлен на рис. 1,

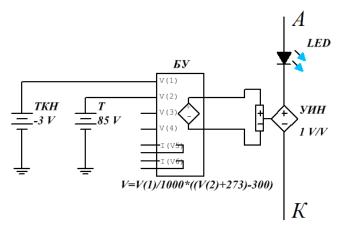


Рис. 1 – Электрическая модель светодиода

На рис. 1 введены следующие обозначения:

ТКН — источник напряжения, задающий значение ТКН в мВ/ °С;

Т — источник напряжения, задающий значение температуры ПС в °С;

БУ — блок управления;

УИН — управляемый источник напряжения;

LED — существующая модель светодиода;

А — анод разработанной модели светодиода;

К — катод разработанной модели светодиода.

Принцип действия предлагаемой электрической модели заключается в следующем. Для реализации температурной зависимости ВАХ светодиода последовательно с существующей моделью светодиода включен УИН, который позволяет увеличивать или уменьшать величину прямого падения напряжения в зависимости от изменения температуры ПС. Величина, на которую изменяется значение прямого падения напряжения рассчитывается в БУ по формуле (2). Значения ТКН и температуры ПС поступают в БУ от источников напряжения ТКН и Т соответственно. Напряжение источника ТКН, равное 1 В, соответствует значению ТКН в 1 мВ/°С. Напряжение источника Т, равное 1 В, соответствует значению температуры ПС в 1 °С.

Для моделирования температурной зависимости прямой BAX светодиода в среде Multisim собрана схема, изображённая на рис. 2.

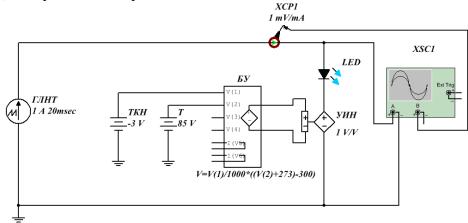


Рис. 2 – Схема для определения ВАХ светодиода

На данной схеме введены следующие обозначения:

ГЛНТ — генератор линейно нарастающего тока;

ХСР1 — измеритель тока;

XSC1 — осциллограф.

Принцип определения прямой ВАХ светодиода заключается в следующем. На разработанную модель, представленную на рис. 1, подаётся от источника ГЛНТ импульс линейно нарастающего тока заданной амплитуды и длительности. При этом с помощью

измерителя XCP1 определяется значение тока, протекающего через светодиод, которое передаётся на вход «В» осциллографа XSC1. Кроме того, на вход «А» осциллографа XSC1 поступает напряжение, прикладываемое к светодиоду в прямом направлении. Далее в XSC1 определяется зависимость тока, протекающего через светодиод (сигнал с канала «В»), от напряжения на нём (сигнал с канала «А»), строится прямая ветвь его ВАХ и отображается на экране осциллографа.

С помощью разработанной электрической модели проведено исследование температурной зависимости ВАХ светодиода XT-E Royal Blue LED, выпускаемого компанией Cree. Данный светодиод имеет следующие значения параметров:

- 1. Максимально допустимый рабочий ток 1 А.
- 2. Прямое падение напряжения (при токе 1 А) 3,5 В.
- 3. ТКН −3 мВ/°С.
- 4. Максимально допустимая температура ПС 150 °C.

Моделирование проводилось при следующих значениях температуры ПС светодиода:

- при комнатной температуре  $T_i = 25$  °C;
- при рабочей температуре  $T_i = 85$  °C;
- при максимально допустимой температуре  $T_i = 150$  °C.

Полученные результаты моделирования температурной зависимости прямой BAX светодиода представлены на рис. 3.

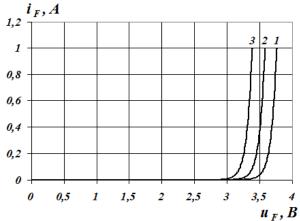


Рис. 3 – BAX светодиода XT-E Royal Blue LED при различных значениях температуры его ПС: 1 —  $T_j$  = 25 °C; 2 —  $T_j$  = 85 °C; 3 —  $T_i$  = 150 °C

Из рис. З видно, что значение прямого падения напряжения на светодиоде при температуре его ПС  $T_j$  = 85 °C и величине прямого тока  $i_F$  = 1 A составило  $u_F$  = 3,58 В. При увеличении температуры ПС светодиода от 25 °C до 150 °C его ВАХ сместилась влево, поскольку ТКН имеет отрицательный знак. При этом значение прямого падения напряжения уменьшилось на 0,4 В. Полученные результаты моделирования совпадают с данными, представленными в паспорте на исследуемый светодиод, что подтверждают правильность работы разработанной модели.

Таким образом, в среде Multisim разработана электрическая модель светодиода, позволяющая задавать зависимость его прямой ВАХ от значения температуры ПС. С помощью данной модели планируется осуществлять исследование процессов, протекающих в светодиодных лампах и светильниках на основе группового соединения светодиодов.

- 1. *Капитонов С.С.* Обзор современных драйверов для светодиодных ламп и светильников / С.С. Капитонов, А.В. Капитонова, А.А. Ашрятов // Проблемы и перспективы развития отечественной светотехники, электротехники и энергетики: сб. науч. тр. XI Междунар. науч.техн. конф. в рамках II Всероссийского светотехнического форума с междунар. участием. Саранск 2013. С. 137—142.
- 2. *Беспалов Н.Н.* Исследование термочувствительных параметров мощных светодиодов / Н.Н. Беспалов, М.В. Ильин, С.С. Капитонов, А.А. Попов // Проблемы и перспективы развития отечественной светотехники, электротехники и энергетики: сб. науч. тр. XI Междунар. науч.-техн. конф. в рамках II Всероссийского светотехнического форума с междунар. участием. Саранск 2013. С. 127-130.
- 3. *Капитонова А.В.* Проблемы биновки светодиодов при формировании ламп и светильников на их основе / А.В. Капитонова, С.С. Капитонов, А.А. Ашрятов // Материалы XVIII научнопрактической конференции молодых учёных, аспирантов и студентов национального исследовательского Мордовского государственного университета им. Н.П. Огарёва. Саранск 2014. С. 221—224.
- 4. *Капитонов С.С.* Исследование стандартной модели светодиода в среде Multisim / С.С. Капитонов, Н.Н. Беспалов, А.В. Капитонова, А.А. Ашрятов // Сборник научных трудов SWorld. Выпуск 4(37). Том 1. Одесса: КУПРИЕНКО СВ, 2014. С. 73–75.

05.11.13

#### Р.Н. Каратаев, А.И. Сойко, А.И. Хрунина

Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева, Kasaнь, alezzzka@yandex.ru

#### МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ РЕАЛИЗАЦИИ КОМПЛЕКТНОГО ПОДХОДА ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ПОВЕРКИ НЕИНВАЗИВНЫХ СФИГМОМАНОМЕТРОВ

В работе представлено математическое обоснование реализации комплектного подхода к проектированию поверочных установок неинвазивных сфигмоманометров. Проведен анализ и выявлен ряд достоинств комплектного перед поэлементным подходом при проведении поверки неинвазивных сфигмоманометров.

Ключевые слова: неинвазивные сфигмоманометры, комплектная поверка, поэлементная поверка, погрешность поверки, достоверность.

Поверка средств измерений (СИ), применяемых в области здравоохранения, имеет свои особенности, основная из которых заключается в повышенном значении ошибок поверки второго рода. В настоящее время интенсивно развиваются цифровые СИ артериального давления (АД) и частоты сердечных сокращений (ЧСС), в связи с чем становится актуальным вопрос повышения достоверности результатов их поверки. В соответствии с [1] различают поэлементную поверку (ПП) и комплектную поверку (КП).

ПП цифровых СИ АД и ЧСС (далее — неинвазивных сфигмоманометров) подразумевает обособленную оценку точности поверяемых приборов отдельно по каналам давления и частоты. В отличие от нее, КП позволяет приблизить процесс поверки к реальным процессам измерения АД и ЧСС современными СИ за счет одновременной и взаимосвязанной передачи размеров единиц величин систолического ( $P_{sys}$ ), диастолического ( $P_{dias}$ ) и ЧСС (f) поверяемым приборам с приемлемой точностью. В связи с этим вопросы проектирования эталонных поверочных установок, использующие КП, должны учитывать ряд особенностей, направленных на снижение ошибок второго рода и повышения их метрологической надежности. Цель настоящей работы дать математическое обоснование применения комплектного подхода при поверке неинвазивных сфигмоманометров и реализации их в поверочных установках.

Под погрешностью поверки понимают отличие оценки величины от ее фактического значения. Она в общем случае имеет две составляющие: первая обусловлена погрешностями измерений при поверке (в простейшем случае — погрешностью используемого эталона), вторая — свойствами методики выполнения измерений при поверке. Поэтому в настоящее время регламентируют как погрешность эталона, так и показатели достоверности результатов поверки, установленных в [2].

Пусть X, Y – показание поверяемого сфигмоманометра и поверочной установки, а  $X_{\partial}$ ,  $Y_{\partial}$ ,  $\xi$  и  $\eta$  - их действительные значения и абсолютные погрешности, то разность измеренных значений можно записать как:

$$X - Y = (X_{\partial} + \xi) - (Y_{\partial} + \eta) = (X_{\partial} - Y_{\partial}) + (\xi - \eta)$$

$$\tag{1}$$

Согласно (1), разность X-Y может оказаться больше предела допускаемой погрешности поверяемого сфигмоманометра из-за погрешности поверочной установки, то есть возникает ошибка поверки первого рода. Возможна и другая ситуация, когда погрешность поверяемого сфигмоманометра окажется больше допускаемого предела, но разность X-Y оказывается меньше предела допускаемой погрешности поверяемого прибора и это обуславливает ошибку поверки второго рода.

Информативные параметры на выходе поверяемого прибора  $X_{\partial}$  и поверочной установки  $Y_{\partial}$  связаны с информативными параметрами на входе: систолическим и диастолическим давлениями P и частотой пульса f:

$$X_{\partial} = \varphi_0(P_{\Pi}, f_{\Pi}), Y_{\partial} = \varphi_1(P_{\ni}, f_{\ni}), \tag{2}$$

а относительные погрешности каналов давления и частоты при поверке:

$$\delta_{p} = \frac{|P_{II} - P_{I}|}{P_{I}}; \ \delta_{f} = \frac{|f_{II} - f_{I}|}{f_{I}}, \tag{3}$$

где  $P_\Pi, f_\Pi$  — показания поверяемого сфигмоманометра;  $P_\Im, f_\Im$  — показания эталонного СИ. Результаты поверки будут отрицательными, если поверка в одной измерительной точке, хотя бы по одному каналу, будут отрицательными. [3, 4]. Однако если рассматривать результаты поверки с позиции КП и ПП, то погрешность поверки могут интерпретироваться по-разному. При обособленной передаче размеров единиц АД и ЧСС суммарный вклад погрешности измерения на результаты поверки должен определяться не только самими составляющими  $\delta_p$  и  $\delta_f$ , но и их взаимосвязью, которая отражает степень их влияния на результаты поверки и определяется значением коэффициента корреляции  $r_{\delta_p \delta_f}$ . В этом случае погрешность измерения при поэлементном подходе можно записать в виде [5]:

$$\delta = \sqrt{\left(\partial \varphi / \partial p\right)^2 \delta_p^2 + \left(\partial \varphi / \partial f\right)^2 \delta_f^2 + 0.5 \left[\left(\partial \varphi / \partial p\right) \left(\partial \varphi / \partial f\right) r_{\delta_p \delta_f} \delta_p \delta_f\right]},\tag{4}$$

где  $\partial \varphi/\partial p$ ,  $\partial \varphi/\partial f$  — частные производные функции по переменным p и f соответственно;

$$r_{\delta_p \delta_f} = \frac{\sum \left(\delta_p - M\left(\delta_p\right)\right)\!\!\left(\delta_f - M\left(\delta_f\right)\right)}{\sqrt{\sum \left(\delta_p - M\left(\delta_p\right)\right)^2 \sum \left(\delta_f - M\left(\delta_f\right)\right)^2}} - \text{коэффициент корреляции между составляющими}$$

погрешностями  $\delta_p$  и  $\delta_f$ ;

 $M(\delta_p)$ ,  $M(\delta_f)$  – математические ожидания погрешности канала измерения АД и ЧСС;  $(\partial \varphi/\partial p)\delta_p$ ,  $(\partial \varphi/\partial f)\Delta\delta_f$  – частные погрешности измерения АД и ЧСС.

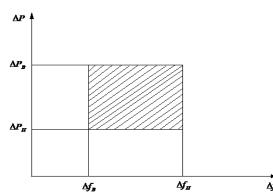
При КП, поскольку  $\delta_p$  и  $\delta_f$  — независимые величины, а  $r_{\delta_p \delta_f} = 0$ , в этом случае погрешность измерения при сличении с эталонным СИ равна:

$$\delta = \sqrt{\left(\partial \varphi / \partial p\right)^2 \delta_p^2 + \left(\partial \varphi / \partial f\right)^2 \delta_f^2} \ . \tag{5}$$

Таким образом, видно, что при ПП измерительных приборов АД и ЧСС допустимая погрешность при передаче размера единиц определяется дополнительным членом, содержащим не только частные погрешности самих измерительных каналов  $(\partial \varphi/\partial p)\delta_p$  и  $(\partial \varphi/\partial f)\delta_f$ , но и парным коэффициентом корреляции  $r_{\delta_p\delta_f}$ , соотношения (3) должны учитывать их взаимосвязь, для оценки погрешностей измерительных приборов.

Пусть функция распределения погрешностей двух величин  $G(\delta_P, \delta_f)$  определяют совместное использование двух неравенств  $\delta_p \leq \delta_{p,\partial on}, \ \delta_f \leq \delta_{f,\partial on}, \$  где  $\delta_{p,\partial on}, \ \delta_{f,\partial on}$  — предельно допустимые погрешности АД и ЧСС поверяемых приборов, тогда при независимости двух погрешностей:

$$G(\delta_p, \delta_f) = \Pr(\delta_p \le \delta_{p, \delta on}) \cdot \Pr(\delta_f \le \delta_{f, \delta on}).$$
(6)



На рис. 1 показана совместная функция распределения условии, когда погрешности каналов измерения АД и ЧСС при поверке являются зависимыми превышают заданных верхних и нижних допустимых значений АД  $(\Delta P_H, \Delta P_R)$  и ЧСС  $(\Delta f_H, \Delta f_R)$ .

Рис. 1. Совместная функция распределения двух зависимых погрешностей

При зависимости погрешностей каналов АД и ЧСС совместную функцию распределения этих погрешностей можно представить в виде:

$$G(\Delta P, \Delta f) = G(\Delta P_B, \Delta f_H) - G(\Delta P_B, \Delta f_B) - G(\Delta P_H, \Delta f_H) + G(\Delta P_H, \Delta f_B). \tag{7}$$

При КП совместную функцию и плотность распределения погрешностей можно записать как:

$$G(\Delta P, \Delta f) = \int_{\Delta P_H}^{\Delta P_B} g(\Delta P)g(\Delta f)d\Delta P, \ G(\Delta P, \Delta f) = \int_{\Delta f_H}^{\Delta f_B} g(\Delta P)g(\Delta f)d\Delta f; \tag{8}$$

$$g(\Delta P, \Delta f) = g(\Delta P) \cdot g(\Delta f). \tag{9}$$

Достоверность поверки D по результатам измерительного контроля численно определяют как вероятность принятия правильного решения о техническом состоянии прибора. Анализируя (6) - (8) можно утверждать, что такую достоверность можно получить с учетом реализации однопараметрического измерительного контроля по каналам измерения АД и ЧСС:

$$D_{p} = 1 - \Pr(P - \Delta P \le P \le P + \Delta P) \cdot \alpha - \Pr[P \notin (P - \Delta P; P + \Delta P)] \cdot \beta, \quad (10)$$

$$D_{f} = 1 - \Pr(f - \Delta f \le f \le f + \Delta f) \cdot \alpha - \Pr[f \notin (f - \Delta f; f + \Delta f)] \cdot \beta. \tag{11}$$

где  $\alpha, \beta$  – условные вероятности ложного и необнаруженного отказов при поверке прибора, которые можно получить как [6]:

$$\alpha = \frac{\int_{\Delta_{B}}^{\Delta_{B}} g(P)dP - \int_{\Delta_{H}}^{\Delta_{B}} g(P) \int_{\Delta_{H}-P}^{\Delta_{B}-P} g(\Delta P)d\Delta PdP}{\int_{\Delta_{H}}^{\Delta_{B}} g(P)dP}$$

$$\beta = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} g(P)dP \int_{\Delta_{H}-P}^{\Delta_{B}-P} g(P)d\Delta PdP - \int_{\Delta_{H}}^{\Delta_{B}} g(P) \int_{\Delta_{H}-P}^{\Delta_{B}-P} g(\Delta P)d\Delta PdP}{1 - \int_{-D}^{\Delta_{B}} g(P)dP}$$
(12)

$$\beta = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} g(P)dP \int_{\Delta_H - P}^{\Delta_B - P} g(P)d\Delta P dP - \int_{\Delta_H}^{\Delta_B} g(P) \int_{\Delta_H - P}^{\Delta_B - P} g(\Delta P) d\Delta P dP}{1 - \int_{\Delta_H}^{\Delta_B} g(P) dP}$$
(13)

Вероятности возникновения ошибок поверки первого α и второго рода β можно вычислить при известной функции плотности распределения поверяемых и эталонных СИ. Заключение

проектированию Применение комплектного подхода К поверочных неинвазивных сфигмоманометров позволяет получить ряд преимуществ подходом. Во-первых, погрешности неинвазивных сфигмоманометров поэлементным оценивают как единое целое, что позволяет данный вид поверки сделать информативным и достоверным. Во-вторых, относительные погрешности каналов измерения АД и ЧСС рассматриваются как независимые характеристики, определяющие качество поверки неинвазивных сфигмоманометров. В-третьих, позволяет повысить достоверность комплектной поверки СИ АД и ЧСС, за счет оценки плотностей и функций распределений независимых погрешностей каналов измерения АД и ЧСС, т.е. увеличивает вероятность забраковки приборов и принятия неправильных результатов поверки.

- 1. РМГ 29-99 ГСИ. Метрология. Основные термины и определения
- 2. МИ 187 86 ГСИ. Средства измерений. Критерии достоверности и параметры методик поверки.
- 3. *Сойко*, *А.И.* Поверочные установки измерителей артериального давления с использованием генераций пульсирующих потоков: монография / А.И. Сойко, Р.Н. Каратаев. Казань: Отечество, 2009 132 с.
- 4. *Каратаев*, *Р.Н.* Поверка измерителей артериального давления и частоты сердечных сокращений на пульсирующих потоках жидкости / Р.Н. Каратаев, А.И. Сойко, А.И Хрунина, И.Н. Синицын // Медицинская техника. -2012. -№ 1. C. 32–36.
- 5. *Каратаев*, *Р.Н.* Общая метрология: монография / Р.Н. Каратаев, А.И. Сойко. Казань: Изд-во ООО «Алекспресс», 2014 392 с.
- 6. Метрологическое обеспечение и эксплуатация измерительной техники / Г.П. Богданов, В.А. Кузнецов, М.А. Лотонов и др.; Под ред. В.А. Кузнецова. М.: Радио и связь, 1990-240c.

05.04.02

#### В.Н. Копчиков, А.В. Фоминых

Вятская государственная сельскохозяйственная академия, инженерный факультет, кафедра тепловых двигателей, автомобилей и тракторов, Киров info@vgsha.info

# ВЛИЯНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТАНОЛА И МЕТИЛОВОГО ЭФИРА РАПСОВОГО МАСЛА НА СОДЕРЖАНИЕ ОКСИДОВ АЗОТА В ОТРАБОТАВШИХ ГАЗАХ ДИЗЕЛЯ 2Ч 10,5/12,0 В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ИЗМЕНЕНИЯ УСТАНОВОЧНЫХ УГЛОВ

В работе представлены результаты изучения влияния установочных углов опережения впрыска топлива на содержание оксидов азота в отработавших газах дизеля. В качестве объекта исследования был выбран дизельный двигатель 2Ч 10.5/12.0 работающий на метаноле и метиловом эфире рапсового масла с использованием двойной системы топливоподачи.

Ключевые слова: дизель, альтернативное топливо, метиловый эфир рапсового масла, метанол, двойная система топливоподачи, оксиды азота.

Наибольшее распространение в автотранспортной области, в настоящее время, получили двигатели внутреннего сгорания, работающие на нефтяном топливе, однако, постоянное ухудшение экологической ситуации и ужесточение норм токсичности отработавших газов (ОГ), заставляют учёных искать альтернативные источники энергии, в том числе альтернативные топлива ненефтяного происхождения, которые, главным образом, являются возобновляемыми. Наиболее опасным компонентом вредных веществ в отработавших газах являются оксиды азота. Поэтому новые виды топлива должны отвечать не только требованиям эффективности работы двигателя, но и должны обеспечивать снижение вредных веществ в ОГ, прежде всего оксидов азота. К таким топливам, отвечающим вышеизложенным требованиям, можно отнести спирты, а также топлива, получаемые из растительных семян, в частности метанол и метиловый эфир рапсового масла.

В связи с этим, нами на кафедре тепловых двигателей, автомобилей и тракторов Вятской ГСХА проводились испытания дизельного двигателя 2Ч 10.5/12.0 модернизированного для работы на метаноле и метиловом эфире рапсового масла (МЭРМ) с использованием двойной системы топливоподачи. При этом штатная система топливоподачи использовалась для подачи спирта, а для подачи запальной порции эфира применялась дополнительная топливная система. Она включает в себя топливный насос 2УТНМ и штифтовые форсунки ФШ-6, установленные в специальные отверстия в головках цилиндров. Запальная порция МЭРМ фиксировалась и не изменялась в течение всего диапазона нагрузочных и скоростных режимов, а увеличение нагрузки происходило путём увеличения подачи основного топлива — метанола. При этом величина запальной порции эфира на номинальном режиме работы составляет 11% от суммарной подачи.

На первом этапе проведения стендовых испытаний нами определялись оптимальные углы подачи топлива для каждой топливной системы. С этой целью определялись эффективные показатели дизеля, проводилось индицирование рабочего процесса, а также определялось содержание токсичных компонентов в отработавших газах при различных сочетаниях установочных углов опережения впрыска топлива (УОВТ) [1]. При этом особое внимание уделялось определению влияния установочных УОВТ на содержание оксидов азота — наиболее токсичного компонента отработавших газов дизелей.

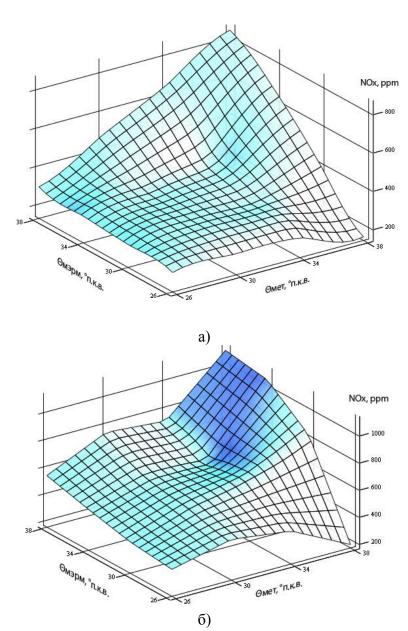


Рисунок 1 — Влияние установочного УОВТ на содержание  $NO_x$  в ОГ дизеля 2Ч 10.5/12.0 при работе на метаноле и МЭРМ: а) при n=1800 мин<sup>-1</sup> и p<sub>e</sub>=0.594 МПа, б) при n=1400 мин<sup>-1</sup> и p<sub>e</sub>=0.594 МПа.

На рисунке 1 представлены графики влияния установочных УОВТ на содержание оксидов азота в ОГ при работе на номинальном скоростном режиме ( $n=1800 \text{ мин}^{-1}$ ,  $p_e=0.594 \text{ МПa}$ ) и режиме максимального крутящего момента ( $n=1400 \text{ мин}^{-1}$ ,  $p_e=0.594 \text{ МПa}$ ).

Из рисунка 1,а видно, что при работе дизеля на номинальном режиме (n=1800 мин $^{-1}$ ) увеличение установочного УОВТ каждого из топлив приводит к увеличению содержания оксидов азота в ОГ. Следует отметить, что содержание оксидов азота изменяется в очень широком диапазоне в зависимости от изменения углов начала подачи топлива. При этом минимальное значение выбросов оксидов азота наблюдается при установочных углах равных 38° для метанола и 26°для подачи эфира и составляет 159 ppm. А максимальное значение достигается при сочетании углов  $\Theta_{\text{мет}}$ =38° и  $\Theta_{\text{мэрм}}$ =38° и составляет 854 ppm.

Из рисунка 1,6 видно, что при работе двигателя в режиме максимального крутящего момента (n=1400 мин<sup>-1</sup>) более ранняя подача топлива также приводит к росту выбросов оксидов азота с ОГ дизеля. При этом минимальное значение достигается при установочных углах равных для метанола  $\Theta_{\text{мет}}$ =38° и для подачи эфира  $\Theta_{\text{мэрм}}$ =26° и составляет 194 ppm. А максимальное содержание оксидов азота наблюдается также при установочных углах равных  $\Theta_{\text{мет}}$ =38° и  $\Theta_{\text{мэрм}}$ =38° и составляет 1117 ppm.

Из рассмотрения данных рисунков можно сделать вывод, что минимальное значение  $NO_x$  достигается при углах подачи метанола  $\Theta_{\text{мет}}=38^\circ$  и МЭРМ  $\Theta_{\text{мэрм}}=26^\circ$  п.к.в., это связано, прежде всего, с низким давлением в цилиндре. Однако, данные регулировки неприемлемы, поскольку двигатель работает крайне неэффективно, с точки зрения расхода топлива и мощностных показателей. Оптимальный установочный угол определялся нами ранее, исходя из минимального значения удельного эффективного расхода топлива, и как следствие, максимального КПД. С точки зрения этих показателей, за оптимальные нами были приняты углы: метанол  $\Theta_{\text{мет}}=34^\circ$  и МЭРМ  $\Theta_{\text{мэрм}}=34^\circ$  п.к.в. Из рисунка 1 видно, что при данном сочетании углов наблюдается резкое снижение содержания оксидов азота по отношению к более ранним углам подачи. При этом содержание оксидов азота при оптимальных установочных углах ( $\Theta_{\text{мет}}=34^\circ$  и МЭРМ  $\Theta_{\text{мэрм}}=34^\circ$ ) составляет 401 ppm при работе на номинальном режиме и 582 при работе на режиме максимального крутящего момента.

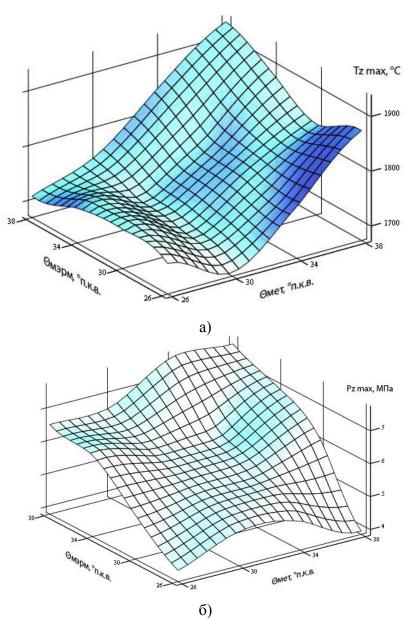


Рисунок 2 — Влияние применения метанола и МЭРМ в дизеле 2Ч 10.5/12.0 при работе с ДСТ на: а) максимальное давление в цилиндре  $P_{z\,max}$ , МПа,

б) максимальную температуру цикла  $T_{z \text{ max}}$ , °С.

Также во время испытаний нами параллельно проводилось индицирование рабочего процесса при различных углах подачи топлива. В результате для более полного изучения влияния установочных УОВТ на выбросы оксидов азота нами определялось влияние углов

подачи топлива на максимальное давление и максимальную осреднённую температуру в цилиндре дизеля.

На рисунке 2 представлено влияние установочных УОВТ на максимальное давление в цилиндре дизеля и максимальную температуру цикла при работе на номинальном режиме (n=1800 мин<sup>-1</sup>).

Из рисунка 2,а видно, что увеличение установочных УОВТ приводит к росту максимального давления в цилиндре дизеля, а пик максимального давления соответствует пику максимального выброса оксидов азота и достигается при углах подачи  $\Theta_{\text{мет}}=38^{\circ}$  и  $\Theta_{\text{мэрм}}=38^{\circ}$ . При этом оно составляет 7.56 МПа.

Из рисунка 2,6 также видно, что максимальная осреднённая температура в цилиндре дизеля соответствует максимальному выбросу оксидов азота при тех же установочных углах равных  $\Theta_{\text{мет}}=38^{\circ}$  и  $\Theta_{\text{мэрм}}=38^{\circ}$  и составляет  $T_{z\,\text{max}}=1932\,^{\circ}\text{C}$ .

Таким образом, можно сделать вывод, что рост выбросов оксидов азота с ОГ при увеличении установочных УОВТ обусловлен, главным образом, ростом максимального давления в цилиндре дизеля и как следствие увеличением максимального значения осреднённой температуры цикла. При этом при оптимальных углах подачи топлива ( $\Theta_{\text{мет}}$ =34° и МЭРМ  $\Theta_{\text{мэрм}}$ =34°) и при работе на номинальном режиме значение максимального давления в цилиндре дизеля составляет  $P_{z max} = 6.05$  МПа, максимальная осреднённая температура цикла  $T_{z max}$  = 1792 °C, а содержание оксидов азота в ОГ дизеля равно 401 ppm.

#### Список литературы

- 1. *Копчиков В.Н.* Методика проведения стендовых испытаний дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метиловом эфире рапсового масла и метаноле с использованием двойной системы топливоподачи, всероссийская ежегодная научно-практическая конференция «общество, наука, инновации» (нпк-2014) [1]
- 2. *Лиханов В.А.* Снижение токсичности и улучшение эксплуатационных показателей тракторных дизелей путем применения метанола.- Киров: Вятская ГСХА, 2001.- 212 с.
- 3. *Лиханов В.А.*, *Лопатин О.П.* Снижение содержания оксидов азота в отработавших газах дизелей, путем применения альтернативных видов топлива: Монография.- Киров: Вятская  $\Gamma$ CXA, 2009 500 с.

05.13.01

#### Г.И. Лавров к.т.н., И.Г. Лавров к.т.н.

ФБГОУ ВПО Тюменский государственный нефтегазовый университет, г. Тюмень, lavrov@tsogu.ru

### АВТОМАТИЗАЦИЯ ПОСТРОЕНИЯ ПОВЕРХНОСТИ ВОДО-НЕФТЯНОГО КОНТАКТА ЗАЛЕЖЕЙ ДЛЯ ТРЕХМЕРНЫХ ЦИФРОВЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ

Разработаны алгоритмы, позволяющие автоматизировать выравнивание поверхности водонефтяного контакта для цифровых трехмерных геологических моделей. Составлена программа для определения возможных сдвижек отметок ВНК в скважинах (введением поправок в инклинометрию либо изменением характера насыщения коллекторов). Программа апробирована при построении геологической модели трех пластов с фондом скважин более 1000.

Ключевые слова: трехмерное моделирование, водонефтяной контакт, алгоритм.

Разведка и разработка нефтяных и газовых месторождений в современных условиях основывается на использовании трехмерных цифровых геологических моделей (3D моделей) [1]. Построение 3D моделей является составляющей технологических процессов обоснования бурения скважин, составления планов разработки месторождений углеводородов, включая оценку экономической эффективности предлагаемых геологотехнологических мероприятий. Создание 3D моделей решает следующие задачи:

- подсчет запасов углеводородов,
- планирование (проектирование) скважин,
- оценка неопределенностей и рисков,
- подготовка основы для гидродинамического моделирования.

При построении трехмерных геологических моделей с большим фондом скважин необходимо затратить значительное время на построение поверхности водонефтяного контакта (ВНК) залежей. Принятые и утвержденные ранее уровни ВНК часто не подтверждаются бурением новых скважин, другой новой геолого-промысловой информацией [2], из-за чего для анализа строения залежи требуется построение поверхности ВНК на основе загруженных в проект результатов интерпретации геофизических исследований скважин (таблицы РИГИС).

Ранее нами был разработан алгоритм автоматизированного определения положения отметок ВНК в скважинах на основе РИГИС [4]. В результате его выполнения для скважин в чистонефтяной зоне положение ВНК устанавливается на подошве нижнего пропластка, если оно ниже принятого уровня ВНК на участке моделирования (ВНК $_{cp}$ ), в ином случае ВНК определяется на отметке ВНК $_{cp}$ .

Для скважин в водонефтяной зоне, если  $BHK_{cp}$  попадает в интервал между подошвой нижнего нефтенасыщенного и кровлей верхнего водонасыщенного коллектора, контакт устанавливается на отметке  $BHK_{cp}$ . Отметка устанавливается на кровле верхнего водонасыщенного пропластка, если она выше  $BHK_{cp}$ . Отметка BHK устанавливается на подошве нижнего нефтенасыщенного пропластка, если она ниже  $BHK_{cp}$ .

Поверхность, построенная по отметкам ВНК, которые определены на основе РИГИС скважин, часто характеризуется большими углами наклона. Это связано с погрешностями, ошибками при измерении инклинометрии скважин, влиянием разработки соседних скважин на характер насыщения коллекторов в районе бурения новых скважин и прочее.

Места больших углов наклона поверхности ВНК подвергаются анализу для принятия решения о внесении поправок в инклинометрию скважин, изменении характера насыщения пропластков с целью выравнивания ВНК либо исключении скважины из расчета.

Для сокращения временных затрат нами был разработан алгоритм, позволяющий автоматизировать процесс выявления скважин, из-за которых возникают большие углы наклона ВНК, с целью последующего их анализа.

Разработана программа реализации этого алгоритма. Программа составлена на языке программирования Delphi [3].

Для работы программы необходима карта углов наклона поверхности ВНК в формате Roxar text (выгружается из программы для трехмерного геологического моделирования месторождений нефти и газа, например RMS компании ROXAR) и таблица скважин с координатами и абсолютными отметками их пересечения с поверхностью ВНК. Кроме этого задается допустимый угол наклона поверхности ВНК.

Алгоритм определения скважин для возможного изменения абсолютных отметок водонефтяного контакта представлен на рис. 1.

Пояснения по пунктам алгоритма:

Пункт 3. Осуществляется поиск пяти скважин, расположенных ближе всего к месту карты углов наклона ВНК с максимальным значением.

Пункт 4. Производится расчет среднего значения ( $BHK_{cp1}$ ) абсолютных отметок BHK по скважинам ( $BHK_1$ ,  $BHK_2$ , ...,  $BHK_5$ ), выбранным в пункте 3 алгоритма.

Пункт 5. Обеспечивается выбор двух скважин из перечня, определенного в п. 3 алгоритма, находящихся ближе всего к месту максимального угла наклона ВНК. Область поиска расширяется последовательно на 50 метров (добавление по одному узлу на карте со всех сторон), пока скважины не будут найдены. Далее осуществляется выбор скважины, имеющей максимальное отклонение абсолютной отметки ВНК от  $BHK_{cp1}$ , рассчитанного в пункте 4 алгоритма.



Рис 1. Алгоритм определения скважин для возможного изменения абсолютных отметок водонефтяного контакта

Пункт 6. Выполняется расчет среднего значения ( $BHK_{cp2}$ ) абсолютных отметок BHK по скважинам, найденным в пункте 3 алгоритма без учета скважины с максимальным отклонением (пункт 5 алгоритма).

Пункт 7. Рассчитывается величина рекомендуемого изменения абсолютной отметки ВНК для скважины с максимальным отклонением.

Пункт 8. Производится занесение в отчетный файл скважины с максимальным отклонением, величины рекомендуемого изменения абсолютной отметки ВНК и других скважин, определенных в пункте 5 алгоритма.

Результатом работы программы является текстовый файл, содержащий скважины с рекомендуемыми изменениями абсолютных отметок ВНК путем введения поправок в инклинометрию либо изменения характера насыщения коллекторов. Также приводятся скважины, находящиеся в непосредственной близости к зонам с максимальными углами наклона ВНК.

Введение поправок в инклинометрию и изменение характера насыщения требуют детального анализа на предмет отхода скважины от вертикали (чем больше отход, тем более вероятны погрешности в замерах инклинометрии), возможных неточностей интерпретации, принятых ранее уровней ВНК в моделируемых залежах. В то же время использование предложенных таблиц позволяет сконцентрировать внимание на областях, в которых наиболее вероятны ошибки и тем самым сократить время на корректировку отметок в скважинах и построение поверхности ВНК.

Если после анализа и внесения предложенных изменений в отметки ВНК в скважинах на карте остаются области с большими углами наклона ВНК, работу программы можно повторить, загрузив новую карту углов наклона ВНК с соответствующей ей таблицей абсолютных отметок ВНК в скважинах.

Построенная на основе полученных отметок поверхность не является окончательной и может служить основой для оценки положения ВНК в залежах, дальнейшего анализа структуры пласта, корректировки отметок ВНК в скважинах, определения необходимости внесения поправок в инклинометрию скважин и т.д.

Разработанная программа была апробирована на модели трех пластов с фондом скважин более 1000. Автоматизация анализа областей с большими углами наклона поверхности водонефтяного контакта залежей позволит снизить трудоемкость построения модели насыщения в трехмерных геологических моделях с большим фондом скважин и сократить время на построение геологической модели.

#### Список литературы

- 1. Закревский К.Е. Геологическое 3D моделирование. М.: ООО "ИПЦ "Маска", 2009. 376с.
- 2. *Грачев С.И.*, *Стрекалов А.В.* Опыт в решении задач моделирования и оптимизации разработки месторождений нефти и газа // Вестник ЦКР Роснедра. 2012. №2. 56-62 с.
- 3. *Культин Н.Б.* Delphi в задачах и примерах. 3-е изд., перераб. и доп. СПб: BHV, 2012. 288 с.
- 4. *Лавров Г.И., Лавров И.Г.* Автоматизация определения уровня технологических параметров в скважине для трехмерных цифровых геологических моделей // Научно-технический вестник Поволжья. 2014. №1. 104-108.

05.13.18

#### Т.Ф. Мамедова, Е.А. Черноиванова

Мордовский государственный университет им. Н.П.Огарева, факультет математики и информационных технологий, кафедра прикладной математики, дифференциальных уравнений и теоретической механики, Capaнск, mamedovatf@yandex.ru Саранский кооперативный институт (филиал), кафедра информационных технологий и математики, Capaнск, elen.chernoivanova@yandex.ru

#### АСИМПТОТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ

В статье рассматриваются электрические цепи, для которых создаются математические модели. Эти модели решаются методом сравнения Е.В.Воскресенского с использованием уравнений сравнения - обыкновенных дифференциальных уравнений.

Ключевые слова: асимптотическая эквивалентность, дифференциальные уравнения, математические модели, электрические цепи.

Рассмотрим математические модели электрических цепей, содержащих выпрямители. Не теряя общности, рассмотрим цепь вида

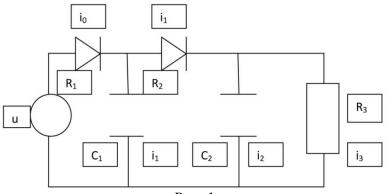


Рис. 1

где  $R_i$  (i = 1,2,3) - сопротивление элементов цепи,

 $C_i$  (i = 1,2) - конденсаторы постоянной емкости,

 $i_i(j=0,4)$  – величины токов на соответствующих участках цепи,

 $V_{j}$  (j = 1,2) – величина напряжения на соответствующем диоде,

u(t) – электродвижущая сила источника.

В этом случае имеет место следующий нелинейный вариант закона Ома

$$i_j = egin{cases} rac{V_j}{R_+}, \text{если } V_j \geq 0 \ rac{V_j}{R_-}, \text{если } V_j \leq 0 \end{cases}$$

где  $R_+$  и  $R_-$  различные положительные постоянные, соответствующие электрическому сопротивлению диода при протекании через него переменного тока в прямом и обратном направлении соответственно.

Запишем дифференциальные уравнения для электрической цепи, содержащей два диода и два конденсатора [1]

$$\frac{di_{0}(t)}{dt} = \frac{1}{R_{1}} \left( u^{\dagger}(t) - \frac{1}{C_{2}} i_{1}(t) \right),$$

$$\frac{di_{1}(t)}{dt} = \frac{1}{R_{1}} \left( u^{\dagger}(t) - \frac{1}{C_{1}} i_{1}(t) \right) - \frac{1}{R_{2}} \left( \frac{1}{C_{1}} i_{1}(t) - \frac{1}{C_{2}} i_{2}(t) \right),$$

$$\frac{di_{2}(t)}{dt} = \frac{1}{R_{2}} \left( \frac{1}{c_{1}} i_{2}(t) - \frac{1}{c_{2}} i_{2}(t) \right) - \frac{1}{R_{3}} C_{2} i_{2}(t),$$

$$\frac{di_{3}(t)}{dt} = \frac{1}{R_{2} C_{2}} i_{2}(t),$$

$$\frac{di_{4}(t)}{dt} = \frac{1}{R_{2}} \left( \frac{1}{C_{1}} i_{1}(t) - \frac{1}{C_{2}} i_{2}(t) \right)$$
(2)

$$\frac{dy}{dT} = f(t, \mathcal{Y}, u^{\dagger}),\tag{3}$$

$$\frac{dt}{dt} = \frac{1}{R_2} \left( \frac{1}{C_1} i_1(t) - \frac{1}{C_2} i_2(t) \right)$$
 или в векторной форме 
$$\frac{dy}{dT} = f(t, \mathcal{Y}, u^{\parallel}),$$
 (3) где  $\mathbf{\mathcal{Y}} = \operatorname{colon}(i_0, i_1, i_2, i_3, i_4),$  
$$0 - \frac{1}{R_1 C_1} \quad 0 \quad 0 \quad 0 \\ 0 - \frac{R_1 + R_2}{C_1 R_1 R_2} \quad \frac{1}{C_2 R_2} \quad 0 \quad 0 \\ 0 \quad \frac{1}{R_2 C_1} \quad - \frac{R_2 + R_3}{C_2 R_2 R_3} \quad 0 \quad 0 \\ 0 \quad \frac{1}{R_3 C_2} \quad 0 \quad 0 \quad 0 \\ 0 \quad \frac{1}{R_2 C_1} \quad - \frac{1}{R_2 C_2} \quad 0 \quad 0 \\ 0 \quad \frac{1}{R_2 C_1} \quad - \frac{1}{R_2 C_2} \quad 0 \quad 0 \\ 0 \quad \frac{1}{R_2 C_1} \quad - \frac{1}{R_2 C_2} \quad 0 \quad 0 \\ 0 \quad \frac{1}{R_2 C_1} \quad - \frac{1}{R_2 C_2} \quad 0 \quad 0 \\ 0 \quad \frac{1}{R_2 C_1} \quad - \frac{1}{R_2 C_2} \quad 0 \quad 0 \\ 0 \quad \frac{1}{R_2 C_1} \quad - \frac{1}{R_2 C_2} \quad 0 \quad 0 \\ 0 \quad \frac{1}{R_2 C_1} \quad - \frac{1}{R_2 C_2} \quad 0 \quad 0 \\ 0 \quad \frac{1}{R_2 C_1} \quad - \frac{1}{R_2 C_2} \quad 0 \quad 0 \\ 0 \quad \frac{1}{R_2 C_1} \quad - \frac{1}{R_2 C_2} \quad 0 \quad 0 \\ 0 \quad \frac{1}{R_2 C_1} \quad - \frac{1}{R_2 C_2} \quad 0 \quad 0 \\ 0 \quad \frac{1}{R_2 C_1} \quad - \frac{1}{R_2 C_2} \quad 0 \quad 0 \\ 0 \quad \frac{1}{R_2 C_1} \quad - \frac{1}{R_2 C_2} \quad 0 \quad 0 \\ 0 \quad \frac{1}{R_2 C_1} \quad - \frac{1}{R_2 C_2} \quad 0 \quad 0 \\ 0 \quad \frac{1}{R_2 C_1} \quad - \frac{1}{R_2 C_2} \quad 0 \quad 0 \\ 0 \quad \frac{1}{R_2 C_1} \quad - \frac{1}{R_2 C_2} \quad 0 \quad 0 \\ 0 \quad \frac{1}{R_2 C_1} \quad - \frac{1}{R_2 C_2} \quad 0 \quad 0 \\ 0 \quad \frac{1}{R_2 C_1} \quad - \frac{1}{R_2 C_2} \quad 0 \quad 0 \\ 0 \quad \frac{1}{R_2 C_1} \quad - \frac{1}{R_2 C_2} \quad 0 \quad 0 \\ 0 \quad \frac{1}{R_2 C_1} \quad - \frac{1}{R_2 C_2} \quad 0 \quad 0 \\ 0 \quad \frac{1}{R_2 C_1} \quad - \frac{1}{R_2 C_2} \quad 0 \quad 0 \\ 0 \quad \frac{1}{R_2 C_1} \quad - \frac{1}{R_2 C_2} \quad 0 \quad 0 \\ 0 \quad \frac{1}{R_2 C_1} \quad - \frac{1}{R_2 C_2} \quad 0 \quad 0 \\ 0 \quad \frac{1}{R_2 C_1} \quad - \frac{1}{R_2 C_2} \quad 0 \quad 0 \\ 0 \quad \frac{1}{R_2 C_1} \quad - \frac{1}{R_2 C_2} \quad 0 \quad 0 \\ 0 \quad \frac{1}{R_2 C_1} \quad - \frac{1}{R_2 C_2} \quad 0 \quad 0 \\ 0 \quad \frac{1}{R_2 C_1} \quad - \frac{1}{R_2 C_2} \quad 0 \quad 0 \\ 0 \quad \frac{1}{R_2 C_1} \quad - \frac{1}{R_2 C_2} \quad 0 \quad 0 \\ 0 \quad \frac{1}{R_2 C_1} \quad - \frac{1}{R_2 C_2} \quad 0 \quad 0 \\ 0 \quad \frac{1}{R_2 C_1} \quad - \frac{1}{R_2 C_2} \quad 0 \quad 0 \\ 0 \quad \frac{1}{R_2 C_1} \quad - \frac{1}{R_2 C_2} \quad 0 \quad 0 \\ 0 \quad \frac{1}{R_2 C_1} \quad - \frac{1}{R_2 C_2} \quad 0 \quad 0 \\ 0 \quad \frac{1}{R_2 C_1} \quad - \frac{1}{R_2 C_2} \quad 0 \quad 0 \\ 0 \quad \frac{1}{R_2 C_1} \quad - \frac{1}{R_2 C_2} \quad 0 \quad 0 \\ 0 \quad \frac{1}{R_2 C_1} \quad - \frac{1}{R_2 C_2} \quad 0 \quad 0 \\ 0 \quad \frac{1}{R_2 C_1} \quad - \frac{1}{R_2 C_2} \quad 0 \quad 0 \\ 0 \quad \frac{1}{R_2 C_1} \quad - \frac{1}{R_2 C_2} \quad 0 \quad 0 \\ 0 \quad \frac{1}{R_2 C_1} \quad - \frac{1}$$

$$\begin{aligned} \frac{di_0}{dt} &= -\frac{\alpha_1}{C_1} i_1, \\ \frac{di_1}{dt} &= -\frac{\alpha_1 + \alpha_2}{C_1} i_1 + \frac{\alpha_2}{C_2} i_2, \\ \frac{di_2}{dt} &= \frac{\alpha_2}{C_1} i_1 - \frac{\alpha_2 + \alpha_3}{C_2} i_2, \\ \frac{di_3}{dt} &= \frac{\alpha_3}{C_2} i_2, \\ \frac{di_4}{dt} &= \frac{\alpha_2}{C_1} i_1 - \frac{\alpha_2}{C_2} i_2. \\ &= 3$$
апишем (4) в векторной форме

$$\frac{dy}{dt} = AY \tag{5}$$

где А – матрица вида

$$A = \begin{pmatrix} 0 & -\frac{\alpha_1}{c_1} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{\alpha_1 + \alpha_2}{c_1} & \frac{\alpha_2}{c_2} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{\alpha_2}{c_2} & -\frac{\alpha_2 + \alpha_3}{c_2} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{\alpha_3}{c_2} & 0 & 0 & 0 \\ \frac{\alpha_2}{c_1} & -\frac{\alpha_2}{c_2} & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}.$$

Тогда уравнение (3) можно переписать в следующей форме

$$\frac{d\mathcal{Y}}{dt} = A\mathcal{Y} - A\mathcal{Y} + f(t, \mathcal{Y}, u^{\dagger}). \tag{6}$$

Оценим норму вектор-функции

 $-A\mathcal{Y}+f(t,\mathcal{Y},u^{|})$ , предположив, что выполняются условия

$$\alpha_1 > \beta_2 \ge \alpha_2 > \beta_2 \ge \dots \ge \alpha_n > \beta_k, \ \alpha_{k+1} = \beta_{k+1} = \frac{1}{R_{k+1}}$$

Нетрудно заметить, что

$$||-Ay + f(t, y, u|)|| \le \max_{j} \frac{\alpha_{i} - \beta_{j} + \alpha_{j+1} - \beta_{j+1}}{C_{j}} ||y|| + \alpha_{i} |u||,$$

считая, что  $||\mathcal{Y}|| = \max_i |i_i|$ .

Будем исследовать поведение решений дифференциального уравнения (3) при  $t \to +\infty$ . Предварительно покажем, что уравнения (5) и (6) покомпонентно асимптотически эквивалентны по Брауеру относительно функции  $M_p$ ,  $p \in M_0$  [2].

В нашем случае множества N и M0 имеют вид: 
$$\dot{N}=\{0,1,2,3,4\}$$
,  $M_0=\{1,2\}$ , так как  $\left\|-A\mathcal{Y}+f\left(t,\mathcal{Y},u^{\dagger}\right)\right\|\leq \frac{\alpha_1+\alpha_2-\beta_1-\beta_2}{c_1}\left\|\mathcal{Y}\right\|+\alpha_1\left|u^{\dagger}\right|$ , (7)

где  $|u^{|}(t,i_1,i_2)| \le |u^{|}(t,|i_1|,|i_2|)|$ 

$$\lambda_0 (t, |i_1|, |i_2|) = \frac{\alpha_1 - \beta_1}{c_1} |i_1| + \alpha_1 |u|,$$

$$\lambda_{1}(\mathbf{t},|i_{1}|,|i_{2}|) = \frac{\alpha_{1} + \alpha_{2} - \beta_{1} - \beta_{2}}{c_{1}}|i_{1}| + \frac{\alpha_{2} - \beta_{2}}{c_{2}}|i_{2}| + \alpha_{1}|u||,$$

$$\lambda_2(t,|i_1|,|i_2|) = \frac{\alpha_3 - \beta_2}{c_1}|i_1| + \frac{\alpha_2 - \beta_2}{c_2}|i_2|, \tag{8}$$

$$\lambda_3(t,|i_1|,|i_2|) = \frac{\alpha_3 - \beta_3}{c_2} |i_2|,$$

$$\lambda_4(t,|i_1|,|i_2|) = \frac{\alpha_2 - \beta_2}{C_1} |i_1| + \frac{\alpha_2 - \beta_2}{C_2} |i_2|.$$

Оценим компоненты вектор-функции  $-A\mathcal{Y} + f(t,\mathcal{Y},u^{\dagger})$ .

Пусть функция и зависит не только от t, но и от  $i_1$ ,  $i_2$ .

Тогда множество  $M_0 = \{1,2\}, \overline{M_0} = \mathbb{N}.$ 

В качестве функций сравнения выберем

$$M_1(t) = e^{(r_1 + r_2)t}, \ M_2(t) = \frac{c_2}{a_2} (|r_2| + \frac{\alpha_1 + \alpha_2}{c_1}) e^{(r_1 + r_2)t},$$
 (9)

тогда
$$m_p(t) \ge \max_{j \in N} |i_{pj}|, M_p(t) = \begin{cases} e^{(r_1 + r_2)t}, p = 1, \\ \frac{c_2}{\alpha_2} \left(|r_2| + \frac{\alpha_1 + \alpha_2}{c_1}\right) e^{(r_1 + r_2)t}, p = 2. \end{cases}$$
(10)

Теорема 1. Если функции  $u^{\dagger}(t,i_1,i_2)$  удовлетворяют условию: Интеграл  $\int_{r}^{+\infty}e^{-r_{1}S}\;u^{|}ig(s,arphi_{1}(s),arphi_{2}(s)ig)ds$  существует при всех  $k_{1},k_{2}\geq0$ ,

где 
$$|\varphi_1(s)| \le k_1 e^{(r_1+r_2)s}$$
,  $|\varphi_2(s)| \le \frac{k_2 e^{(r_1+r_2)s} C_2}{\alpha_2} \Big( |r_2| + \frac{\alpha_1+\alpha_2}{C_1} \Big)$ ,

а все решения уравнения  $\frac{dz}{dt} = e^{(2r_1+r_2)t} \quad B_1 + e^{(2r_2+r_1)t} \quad B_2) \ z + \alpha_1 |u^|(t,\varphi_1(t),\varphi_2(t))| \quad (e^{r_1\,t} + e^{r_2\,t}) \quad \text{ограничены},$ уравнения (5) и (6) покомпонентно асимптотически эквивалентны по Брауеру относительно функций  $M_1$ ,  $M_2$  (9) при  $t \rightarrow +\infty$ .

Исследуем поведение токов электрической цепи при возникновении возмущений на отдельных участках [1, 3, 4].

Предположим, что сначала возмущения возникают на всех участках цепи, а величина возмущений ограничена некоторой константой  $\vartheta > 0$ , то есть  $\lambda_i(t, |i_1|, |i_2|) \le \vartheta, j \in N$ . В этом случае  $M_0 = 0$ .

Для всех  $i_k j$ ,  $k \in N$  справедливы соотношения  $\left|i_{ik}(t)i^{jk}(s)\right| \leq ke^{r_1\,(t-s)}$ , где  $r_1$  – корень характеристического уравнения,  $r_1 < 0$ , k = const,  $t \ge s$ .

Все элементы фундаментальной матрицы решений системы (5) ограничены, то есть  $|i_{ij}(t)| \le k_0$ ,  $\forall i, j \in N, t \in [t_0, +\infty]$ . Таким образом, условия (3)-(5) для уравнений (5), (6) выполнены.

Следствие 1. Пусть выполняется условие: интеграл

 $\int_t^{+\infty} e^{-r_1 S} u^{\dagger}(s, \varphi_1(s), \varphi_2(s)) ds$  существует при всех  $k_1, k_2 \ge 0$ ,

тогда тривиальное решение уравнения (6) устойчиво при постоянно действующих возмущениях.

Известно, что система (5) устойчива по части переменных, например, по компонентам  $i_1$ ,  $i_2$ . Рассмотрим множество  $\overline{M_0}$ ={1,2}. Относительно  $\overline{M_0}$  выполнены все условия (3)-(5), так как  $\overline{M_0}$  — подмножество множества N.

Теорема 2. Так как система (5) устойчива по части переменных  $i_p$ ,  $p \in \overline{M_0}$ , то тривиальное решение системы уравнений (6) устойчиво по переменным  $i_p$ ,  $p \in \overline{M_0}$  при постоянно действующих возмущениях.

Теорема 3. Тривиальное решение уравнения (6) устойчиво по переменным  $i_3$  при постоянно действующих возмущениях в уравнениях с номерами из множества  $N \setminus M_0$ .

При доказательстве теоремы 2 и теоремы 3 предполагалось, что уравнения (5) и (6) являются асимптотически эквивалентными по Брауеру относительно функций  $\mu_i(t)$ ,  $i \in N$ .

Таким образом, можно сделать вывод о том, что если в некоторый момент  $t_0$  возникают возмущения на участках цепи, соответствующих токам  $i_0$ ,  $i_1$ ,  $i_2$ ,  $i_3$ ,  $i_4$ , то ток значительно не изменится, если напряжение источника  $u(t,i_1,i_2)$  будет подобрано так, что уравнение (5) и (6) будут асимптотически эквивалентными.

Все это позволяет осуществлять регулирование токов в электрической цепи при действии внешних возмущений на отдельных участках цепи.

#### Список литературы

- 1. *Зевеке Г.В.* Основы теории цепей. М.: Энергоиздат, 1989. 528 с.
- 2. *Воскресенский Е.В.* Асимптотические методы: Теория и приложения. Саранск: Средневолжское математическое общество, 2001. 300 с.
- 3. Ляпина А.А, Мамедова Т.Ф. Алгоритм исследования моделей нелинейной динамики // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Физико математические науки. Пенза. 2013. № 3 (27). С. 48 -57.
- 4. *Черноиванова Е.А.* Асимптотическая эквивалентность дифференциальных и дифференциально-функциональных уравнений//Журнал Средневолжского математического общества. -2014. T. 16, № 1. C. 156-159.

05.13.18

#### О.А. Перегудова, Е.А. Кудашова

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

#### МЕТОД ВЕКТОРНЫХ ФУНКЦИЙ ЛЯПУНОВА В ЗАДАЧЕ ОБ АСИМПТОТИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ РАЗНОСТНЫХ СИСТЕМ

В работе получена теорема о локализации положительного предельного множества ограниченного решения неавтономной системы разностных уравнений. Дано решение задачи об асимптотической устойчивости невозмущенной системы разностных уравнений на основе построения вектор-функций Ляпунова и применения предельных уравнений.

Ключевые слова: разностное уравнение, нелинейная вариация параметров, асимптотическая устойчивость, метод предельных уравнений, система сравнения.

Дискретные системы являются эффективным инструментом для математического моделирования многих процессов и явлений в теории управления, механике, биологии, экономике, медицине и т.д. Так, например, механические системы с импульсными возмущениями, а также с цифровыми системами управления описываются различными типами разностных уравнений. При этом важным аспектом изучения динамики таких уравнений является проблема устойчивости их решений [1]. Для нелинейных нестационарных разностных систем одним из основных качественных методов изучения устойчивости является прямой метод Ляпунова и его развитие на основе принципа сравнения [2].

К настоящему времени получен ряд теорем о стабилизации и синтезе управления на конечном интервале времени движением неавтономных дискретных систем при помощи скалярных функций Ляпунова со знакопостоянной производной [3,4]. Исследованы задачи об асимптотической устойчивости периодических и почти периодических разностных систем [5], а также вопросы об устойчивости крупно-масштабных разностных систем с применением матрично-значных функций Ляпунова [6].

Целью работы является развитие метода сравнения с вектор-функцией Ляпунова в задаче устойчивости решений неавтономных асимптотической дискретных систем использованием принципа квазиинвариантности положительного предельного множества ограниченного решения таких систем. Известно, что основное условие в классической теореме сравнения ДЛЯ асимптотической устойчивости состоит требовании асимптотической устойчивости нулевого решения системы сравнения. В настоящей работе это условие ослаблено до требования устойчивости нулевого решения системы сравнения. Рассмотрен пример применения полученной теоремы в задаче о робастной устойчивости разностной системы второго порядка.

### 1. Локализация положительного предельного множества решения неавтономной разностной системы. Рассмотрим нелинейное разностное уравнение вида

$$y_{n+1} = f(n, y_n) + R(n, y_n)$$
(1.1)

Предположим, что  $f,R:N_{n_0}^+\times R^m\to R^m$  и f имеет частные производные по второму аргументу на множестве  $N_{n_0}^+\times R^m$ . Обозначим через  $x(n)=x(n,n_0,x_0)$  решение уравнения  $x_{n+1}=f(n,x_n),\quad n=n_0,n_0+1,\dots$  Введем в рассмотрение следующую матрицу  $\Phi(n,n_0,x_0)=\partial x(n,n_0,x_0)/\partial x_0$ . Будем предполагать, что f(n,x) удовлетворяет условиям предкомпактности [7].

Пусть для системы (1.1) существует непрерывная по переменной x при каждом фиксированном  $n \in Z^+$  функция V, удовлетворяющая условиям предкомпактности и соотношению

$$V(n+1, x(n+1)) = U(n, V(n, x(n))) + W(n, x(n), V(n, x(n))),$$
  

$$U(n, 0) \equiv 0, \quad W(n, 0, V(n, 0)) \equiv 0,$$
(1.3)

где функция U=U(n,u) является квазимонотонной и непрерывно дифференцируемой по  $u\in R^k$ ,  $\partial U/\partial u^j$   $(j=1,2,\ldots,k)$ , и функция W=W(n,x,u) удовлетворяют условиям предкомпактности и имеет место неравенство W(n,x,u),, 0 для любых  $(n,x,u)\in N_{n_0}^{-+}\times S_{\nu}\times R^k$ .

Из представления (1.3) следует, что функция V(n,x) является вектор-функцией сравнения, а система сравнения есть

$$u(n+1) = U(n, u(n))$$
 (1.4)

Система (1.4) предкомпактна и для неё можно определить семейство предельных систем сравнения

$$u(n+1) = U^*(n, u(n)), \qquad U^* \in F_U.$$
 (1.5)

Будем предполагать, что для любого компакта  $K \subset R^k$  существуют числа M(K) и  $\alpha(K) > 0$ , такие, что матрица  $\Phi(n, n_0, u_0)$  для любых точек  $(n, n_0, u_0) \in N^+ \times N^+ \times K$  удовлетворяет условиям

$$P\Phi(n, n_0, u_0)P, M(K), \det \Phi(n, n_0, u_0) ... \alpha(K).$$
 (1.6)

Имеет место следующая теорема о локализации положительного предельного множества.

**Теорема 1.1.** Пусть существует вектор-функция Ляпунова V = V(n, x), удовлетворяющая условиям предкомпактности и равенству (1.3), такая, что:

- 1) для системы сравнения (1.4) выполнены условия (1.6);
- 2) решение  $x(n, n_0, x_0)$  системы (1.1) ограничено некоторым компактом  $K \subset S_v$  для всех  $n \ge n_0$ ;
- 3) решение  $u(n) = u(n, n_0, V_0)$  системы сравнения (1.4), где  $V_0 = V(n_0, x_0)$ , ограничено при всех  $n \ge n_0$ .

Тогда для любой предельной точки  $p \in \omega^+(n_0, x_0)$  найдётся набор предельных функций  $(f^*, V^*, U^*, W^*)$ , такой, что решение  $x = x^*(n, p)$  системы (1.2) с начальным условием  $x^*(0, p) = p$  удовлетворяет соотношениям  $x^*(n, p) \in \omega^+(n_0, x_0)$ ,  $x^*(n, p) \in \{V^*(n, x) = u^*(n)\} \bigcap \{W^*(n, x, u^*(n)) = 0\}$  для всех  $n \in \mathbb{N}$ , где  $u^*(n)$  есть решение предельной системы сравнения (1.5) с начальным условием  $u^*(0) = V^*(0, p)$ .

**2.** Задача об асимптотической устойчивости. Для вектор-функции V = V(n,x) определим скалярную функцию  $\overline{V} = \overline{V}(n,x)$  согласно следующему соотношению

$$\overline{V}(n,x) = \sum_{i=1}^{k} V^{i}(n,x)$$
 или  $\overline{V}(n,x) = \max_{i=1,2,...,k} V^{i}(n,x)$ .

Имеет место следующая теорема об асимптотической устойчивости.

**Теорема 2.1.** Предположим, что существует вектор-функция Ляпунова V = V(n, x), удовлетворяющая условиям предкомпактности, такая, что:

- 1) функция  $\overline{V}$  является определённо-положительной;
- справедливо равенство (1.3);
- 3) нулевое решение u = 0 системы сравнения (1.4) устойчиво (равномерно устойчиво);
- 4) на каждом ограниченном решении системы сравнения (1.4) выполнено условие (1.6);
- 5) для любой предельной совокупности  $(f^*, V^*, U^*, W^*)$  и каждого ограниченного решения  $u = u^*(n) \neq 0$  предельной системы сравнения (1.5) множество  $\{V^*(n,x) = u^*(n)\} \bigcap \{W^*(n,x,u^*(n)) = 0\}$  не содержит решений предельной системы (1.2).

Тогда нулевое решение x = 0 системы (1.1) эквиасимптотически устойчиво (равномерно асимптотически устойчиво).

**Пример 2.1.** Рассмотрим задачу об устойчивости нулевого состояния покоя разностной системы с неопределенными параметрами

$$\Delta^2 y(k) + \alpha(k)\Delta y(k) + \beta(k)y(k) = 0, \tag{2.1}$$

где 
$$k \in N$$
,  $0 < \alpha_0 \le \alpha(k) \le \alpha_1$ ,  $0 < \beta_0 \le \beta(k) \le \beta_1$ ,  $\Delta y(k) = \frac{y(k+1) - y(k)}{h}$ ,  $h = \text{const} > 0$ .

Поставим задачу получить робастные условия асимптотической устойчивости нулевого решения уравнения (2.1), которые будут справедливыми для всех фунций  $\alpha(k)$ ,  $\beta(k)$ , удовлетворяющих заданным ограничениям. Сделаем в уравнении (2.1) замену переменных  $\Delta y(k) = ay(k) + bx(k)$ , где a,b — некоторые постоянные. После преобразований получим систему разностных уравнений

$$\begin{cases} y(k+1) = (ah+1)y(k) + bhx(k), \\ x(k+1) = (-h(a+\alpha(k)) + 1)x(k) - \frac{h}{b}(\alpha(k) + \beta(k) + a^2)y(k), \end{cases}$$
(2.2)

Выберем для системы (2.2) функцию Ляпунова вида  $V = \max\{|y(k)|, |x(k)|\}$ . Применяя теорему 2.1, получим следующее условие асимптотической устойчивости

$$\max\{|ah+1|+|bh|, |1-h(a+\alpha(k))| + \frac{h}{b}|a\alpha(k)+\beta(k)+a^2|\} \le 1.$$
 (2.3)

Положим a = -|b| и пусть  $a \ge -\frac{1}{h}$ . Тогда из неравенства (2.3) получим следующие условия асимптотической устойчивости нулевого состояния покоя y = 0 уравнения (2.1)

$$\beta_1 \le \frac{\alpha_0^2}{2}, \qquad \alpha_1 \le \frac{1}{h} + \frac{\alpha_0}{2}.$$
 (2.4)

Условия (2.4) имеют робастный характер, так как справедливы для целого класса систем, описываемых уравнениями (2.1) с параметрами, удовлетворяющими заданным ограничениям.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (12-01-33082) и Минобрнауки РФ в рамках базовой части (код проекта 2097).

#### Список литературы:

- 1. Lakshmikantham V. Theory of Difference Equations: Numerical Methods and Applications / V. Lakshmikantham, D. Trigiante. Academic Press, INC.
- 2. Лакшмикантам В. Устойчивость движения: метод сравнения / В. Лакшмикантам, С. Лила, А.А. Мартынюк. Киев: Наукова думка, 1991. 248 с.
- 3. *Андреев А.С.* К задаче синтеза оптимального управления разностными системами / А.С. Андреев, П.А. Иванников, С.В. Черников // Ученые записки УлГУ. Сер. Математика и информационные технологии. Ульяновск: УлГУ. 2007. Вып. 1. С. 84—90.
- 4. Андреев А.С. Метод знакопостоянных функций Ляпунова в задачах о стабилизации и синтезе управления для дискретной управляемой системы / А.С. Андреев, П.А. Иванников // Ученые записки УлГУ. Сер. Математика и информационные технологии. Ульяновск: УлГУ. -2009.-Вып. 1(2).-С. 111-115.
- 5. *Ignatyev A.O.* On the stability in periodic and almost periodic difference systems / A.O. Ignatyev, O.A. Ignatyev // Journal of Mathematical Analisys and Applications. 2006. Vol. 313. P. 678—688.
- 6. *Martynyuk A.A.* Stability Results for Large-Scale Difference Systems via Matrix-Valued Liapunov Functions / A.A. Martynyuk, V.I. Sly'nko // Nonlinear Dynamics and Systems Theory. 2007. Vol. 7(2). P. 217—224.
- 7. Андреев А.С. К методу сравнения в задачах об асимптотической устойчивости / А.С. Андреев, О.А. Перегудова // ПММ. -2006. T. 70. B. 6. C. 965-976.

05.09.01

#### А.В. Петров, А.П. Котельников, И.В. Плохов д.т.н.

ФГБОУ ВПО «Псковский государственный университет», кафедра электропривода и систем автоматизации, г. Псков, alexpetrov1291@gmail.com, orgtehservice53@mail.ru, igor\_plohov@list.ru

### ДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ АСИНХРОННОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ МАШИНЫ С УЧЕТОМ КОНСТРУКЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ

В работе представлены результаты разработки и реализации в среде программирования МАТLAВ динамической имитационной модели асинхронной машины. В модели учтены конструкционные параметры обмоток статора и ротора, а также геометрические размеры машины. Приведены результаты вычислительного эксперимента.

Ключевые слова: математическая модель; динамическое моделирование; асинхронная машина; переходные процессы; конструкционные параметры.

Асинхронные машины сегодня составляют большую часть электрических машин, и нашли широкое применение в различных отраслях промышленности и сельского хозяйства.

При выборе существующих типовых и проектировании модифицированных асинхронных электродвигателей, а также проектировании новых серий асинхронных машин возникает необходимость в получении и оценке динамических характеристик, а также в оптимизации их параметров по избранным критериям.

На сегодняшний день существует несколько программных пакетов, способных рассчитывать статические характеристики асинхронных машин, а также проводить оптимизацию статических параметров. Однако такие программные пакеты не дают возможности:

- 1) расчета динамических характеристик асинхронной машины с учетом ее основных конструкционных параметров;
- 2) проведения автоматизированной оптимизации параметров машины, а также оптимизации по критериям наилучшей динамики и качества переходных процессов.

Ввиду все более нарастающих темпов производства асинхронных машин, а также увеличивающейся потребности в асинхронных машинах специальных исполнений, учет влияния конструкционных параметров машин на их динамические характеристики с возможностью оптимизации этих параметров повысит эффективность их проектирования и изготовления. Поэтому, разработка математической модели (с возможностью создания на ее основе программы инженерного расчета и проектирования асинхронной электрической машины) является актуальной [1, 2].

Общие задачи исследования:

- 1) имитационное моделирование работы асинхронной машины с учетом большинства ее основных параметров;
- 2) верификация модели путем расчета статических и динамических характеристик машины, и сравнения их с паспортными характеристиками;
- 3) получение кривых переходных процессов всех электромагнитных и механических величин;
- 4) формирование подходов к разработке критериев оптимизации асинхронной электрической машины.
- В данной статье представлен этап исследования, связанный с созданием и апробацией математической модели асинхронной электрической машины, учитывающей влияние основных параметров машины (как электрических, так и конструктивных) на ее статические и динамические характеристики.

#### Математическая модель

На первом этапе выбрана известная математическая модель асинхронного двигателя с роторной обмоткой, приведенной к статорной обмотке. Кроме того, рабочий режим двигателя приведен к режиму работы с заторможенным ротором.

Электрическая схема замещения такого двигателя представлена на рис. 1.

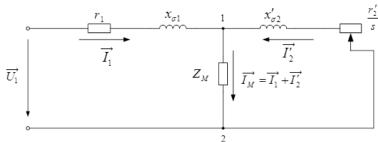


Рис. 1 – Электрическая схема замещения асинхронной машины

На данной схеме:  $\overrightarrow{U_1}$  – фазное напряжение обмотки статора;  $\overrightarrow{I_1}$ ,  $\overrightarrow{I'_2}$  – ток фазы обмотки статора и приведенный ток фазы обмотки ротора соответственно;  $\overrightarrow{I_M}$  – намагничивающий ток;  $r_1, r'_2$  – активное сопротивление фазы обмотки статора и приведенное активное сопротивление фазы обмотки ротора;  $x_{\sigma 1}$ ,  $x'_{\sigma 2}$  – индуктивное сопротивление рассеяния фазы обмотки статора и приведенное индуктивное сопротивление рассеяния фазы обмотки ротора;  $Z_{\scriptscriptstyle \mathrm{M}}$  — сопротивление намагничивающей цепи; s — величина скольжения асинхронной

Допущения, принятые в модели:

1) потери в сердечниках статора и ротора отсутствуют:

$$\Delta P_{\rm CT1} = 0; \ \Delta P_{\rm CT2} = 0;$$

 $ΔP_{\text{ст1}} = 0; ΔP_{\text{ст2}} = 0;$  2) механические и добавочные потери в машине отсутствуют:

$$\Delta P_{\text{Mex}} = 0$$
;  $\Delta P_{\text{доб}} = 0$ .

Расчет электрической цепи машины

Уравнения баланса напряжений для такого двигателя:

$$\begin{aligned} \overrightarrow{U_1} &= r_1 \overrightarrow{I_1} + j x_{\sigma 1} \overrightarrow{I_1} + Z_M \left( \overrightarrow{I_1} + \overrightarrow{I'_2} \right); \\ 0 &= \frac{r'_2}{s} \overrightarrow{I'_2} + j x'_{\sigma 2} \overrightarrow{I'_2} + Z_M \left( \overrightarrow{I_1} + \overrightarrow{I'_2} \right). \end{aligned}$$

Величина  $Z_M\left(\overrightarrow{I_1}+\overrightarrow{I'_2}\right)$  представляет собой ЭДС индукции, создаваемые основной гармоникой магнитного потока в обмотках статора и приведенной обмотке ротора:

$$\overrightarrow{E_1} = -\overrightarrow{E'_2} = Z_M \left( \overrightarrow{I_1} + \overrightarrow{I'_2} \right).$$

Величина этих ЭДС может быть определена через результирующий вектор магнитного потока машины:

$$\overrightarrow{E_1} = -\overrightarrow{E'_2} = j\pi\sqrt{2}f_1w_1k_{\text{of}1}\overrightarrow{\Phi},$$

 $\overrightarrow{E_1} = -\overrightarrow{E'_2} = j\pi\sqrt{2}f_1w_1k_{061}\overrightarrow{\Phi}$ , где:  $f_1$  — частота питающей сети;  $w_1$  — число витков в фазе обмотки статора;  $k_{061}$  обмоточный коэффициенты для статора;  $\overrightarrow{\Phi}$  – результирующий вектор магнитного потока машины.

Осуществим учет параметров, отражающих конструктивные особенности отдельных элементов машины, таких, например, как обмотки, полюса, пазы и т.д.

Индуктивные сопротивления рассеяния статорной и приведенной роторной обмоток зависят от частоты питающей сети в соответствие со следующими соотношениями:

$$\begin{split} x_{\sigma 1} &= 4\pi \mu_0 f_1 \frac{{w_1}^2}{pq_1} l'_{\delta 1} \big( \lambda_{c1} + \lambda_{\mu 1} + \lambda_{\pi 1} + \lambda_{\kappa 1} + \lambda_{\pi 1} \big); \\ x_{\sigma 2} &= 4\pi \mu_0 f_1 \frac{{w_2}^2}{pq_2} l'_{\delta 2} \big( \lambda_{c2} + \lambda_{\mu 2} + \lambda_{\pi 2} + \lambda_{\kappa 2} + \lambda_{\pi 2} \big), \end{split}$$

где:  $\mu_0$  – магнитная постоянная; p – число пар полюсов машины;  $q_1, q_2$  – число пазов статора и ротора на полюс и фазу;  $w_2$  – число витков в фазе обмотки ротора;  $l'_{\delta 1}, l'_{\delta 2}$  – расчётные длины полей рассеяния статора и ротора;  $\lambda_{c1}$ ,  $\lambda_{c2}$  — коэффициенты магнитной проводимости рассеяния скоса статора и ротора;  $\lambda_{\rm д1}$ ,  $\lambda_{\rm д2}$  — коэффициенты дифференциальной магнитной проводимости рассеяния;  $\lambda_{\rm n1}$ ,  $\lambda_{\rm n2}$  — коэффициенты магнитной проводимости рассеяния лобовых частей обмоток;  $\lambda_{\kappa 1}$ ,  $\lambda_{\kappa 2}$  — коэффициенты магнитной проводимости рассеяния по коронкам зубцов;  $\lambda_{\text{п1}}$ ,  $\lambda_{\text{п2}}$  – коэффициенты магнитной проводимости пазового рассеяния; все коэффициенты магнитной проводимости рассчитываются по формулам, приведенным в [3] (стр. 463–493).

Коэффициент приведения сопротивлений:

$$k_r = \frac{m_1 w_1^2 k_{061}^2}{m_2 w_2^2 k_{062}^2} \frac{k_{c1}^2}{k_{c2}^2},$$

где:  $m_1, m_2$  — число фаз обмоток статора и ротора;  $k_{\rm o62}$  — обмоточный коэффициенты для ротора;  $k_{c1}$ ,  $k_{c2}$  – коэффициенты скоса пазов для статора и ротора.

Приведенные сопротивления роторной обмотки:

$$r'_{2} = k_{r}r_{2};$$
  
$$x'_{\sigma 2} = k_{r}x_{\sigma 2}.$$

 $x'_{\sigma 2} = k_r x_{\sigma 2}.$  Развиваемый электромагнитный момент [3]:

$$M_{\rm \tiny 9M} = \frac{p m_1}{w_1} I'_2^2 \frac{r'_2}{s},$$

где:  $I'_2$  – амплитудное значение приведенного тока фазы обмотки ротора.

Расчет механической цепи машины

Основное уравнение движения электропривода:

$$M_{\text{\tiny 3M}} - M_{\text{\tiny Harp}} = J \frac{d\Omega}{dt}$$

где:  $M_{\rm нагр}$  – момент нагрузки на валу электрической машины;  $M_{\rm эм}$  – развиваемый машиной электромагнитный момент; J – момент инерции вала;  $\Omega$  – угловая скорость вращения вала.

Величина скольжения асинхронной машины [4]:

$$s = 1 - \frac{\Omega p}{2\pi f_1}.$$

Расчет магнитной цепи машины

Величина результирующей МДС, создаваемой обмотками машины:

$$\overrightarrow{F_{\text{II}}} = \frac{0.9m_1w_1k_{061}}{p}\overrightarrow{I_M}.$$

Составляющая суммарной МДС машины, приходящаяся на воздушный зазор:

$$\overrightarrow{F_{\delta}} = \overrightarrow{F_{II}} - \overrightarrow{F_{a}} - \overrightarrow{F_{I}} - \overrightarrow{F_{z1}} - \overrightarrow{F_{z2}}$$

где:  $\overrightarrow{F_a}$ ,  $\overrightarrow{F_J}$  — доли МДС, приходящиеся на ярма статора и ротора соответственно;  $\overrightarrow{F_{z1}}$ ,  $\overrightarrow{F_{z2}}$  — МДС зубцовых зон статора и ротора; МДС ярм и зубцовых зон статора и ротора рассчитываются по формулам, приведенным в [5] (стр. 191-195).

Индукция в воздушном зазоре:

$$\overrightarrow{B_{\delta}} = \frac{\mu_0}{2k_{\delta}\delta}\overrightarrow{F_{\delta}},$$

где:  $k_{\delta}$  – коэффициент воздушного зазора машины;  $\delta$  – величина воздушного зазора машины.

Результирующий вектор магнитного потока машины [5]:

$$\overrightarrow{\Phi} = \frac{Dl_{\delta}}{p} \overrightarrow{B_{\delta}},$$

где: D – внутренний диаметр статора;  $l_{\delta}$  – длина воздушного зазора.

#### Реализация в среде имитационного моделирования

Математическая модель асинхронной электрической машины реализована в среде имитационного моделирования MATLAB Simulink. Исходными данными к моделированию являются конструкционные и обмоточные данные выбранного асинхронного электродвигателя 4AK160S4У3, например: число пар полюсов p; внешний и внутренний диаметры статора  $D_{a1}$  и  $D_{i1}$ ; длины сердечников статора и ротора  $l_1$  и  $l_2$ ; величина одностороннего воздушного зазора  $\delta$ ; числа пазов статора и ротора  $l_1$  и  $l_2$ ; шаги обмоток статора и ротора  $l_2$  и  $l_2$ ; средние длины витка обмоток статора и ротора  $l_2$  и  $l_2$ . Всего для моделирования использовано 43 параметра, приведенных в [6].

После построения имитационной модели в пакете MATLAB Simulink было произведено моделирование пуска асинхронного электродвигателя при всех номинальных параметрах.

Параметры расчетного эксперимента:

 $U_1 = 220 \text{ B}$  – номинальное фазное напряжение обмотки статора;

 $f_1 = 50 \; \Gamma$ ц – номинальная частота напряжения питающей сети;

 $M_{\rm harp} = 73.251 \ {
m H} \cdot {
m M} - {
m Homuhaльhый}$  статический момент нагрузки.

Временные зависимости, полученные в ходе проведения эксперимента, представлены на рис 3 (величины на рисунке приведены в относительных единицах — в отношении к номинальным паспортным данным).

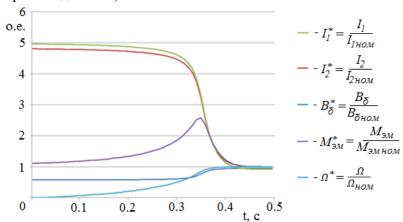


Рис. 2 – Временные пусковые диаграммы

На данном рисунке:  $I_1^*$  — относительная величина тока фазы обмотки статора;  $I_2^*$  — относительная величина тока фазы обмотки ротора;  $B_\delta^*$  — относительная величина индукции в воздушном зазоре;  $M_{\text{эм}}^*$  — относительное значение развиваемого электромагнитного момента;  $\Omega^*$  — относительное значение угловой скорости вращения вала.

Установившиеся значения динамических характеристик, полученные в результате имитационного моделирования, совпадают с паспортными с достаточной точностью (см. табл. 1).

Таблица 1 – Относительные погрешности для некоторых установившихся величин переходных процессов

Параметр	Данные	Паспортное	Относительная
Параметр	эксперимента	значение	погрешность
Величина фазного тока статора $I_1$ , А	22.4	22.4	0%
Величина фазного тока ротора $I_2$ , А	20.15	22	8.4%
Коэффициент мощности	0.812	0.860	5.6%
cosф			
Величина индукции в зазоре $B_{\delta}$ , Тл	0.68	0.72	5.14%
Угловая скорость вала	151.16	151.08	0.04%
Ω, рад/с			

Наибольшее расхождение, полученное для фазного тока ротора, может быть объяснено неучетом потерь в машине.

Для иллюстрации возможностей имитационной модели исследуем, например, влияние геометрических размеров паза статора на изменение тока фазы обмотки статора при пуске.

Паз статора исследуемого электродвигателя показан на рис. За. Его геометрические размеры: b1 = 7.3 мм; b2 = 9.9 мм; h = 20.5 мм; e = 1 мм; m = 3.7 мм.

В качестве варьируемой величины выбираем размер b2.

Результаты проведения вычислительного эксперимента представлены на рис. 3б.

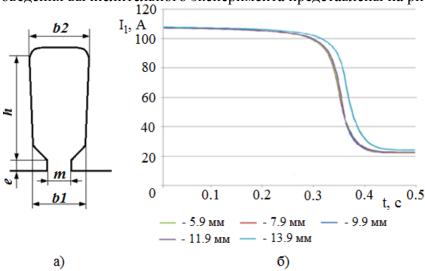


Рис. 3 — Паз статора исследуемого двигателя. Временные диаграммы изменения фазного тока статора при пуске при различных значениях размера паза b2

Полученные диаграммы свидетельствуют о том, что с увеличением ширины паза увеличивается и значение тока, протекающего в фазе статорной обмотки. Такая картина объясняется тем, что при увеличении геометрических размеров паза уменьшается величина магнитной проводимости пазового рассеяния (величина  $\lambda_{\rm n1}$ , входящая в выражение для индуктивного сопротивления рассеяния обмотки статора). В результате уменьшается величина индуктивного сопротивления рассеяния статорной обмотки  $x_{\sigma 1}$ , что приводит к росту амплитуды тока.

Аналогичные временные диаграммы могут быть получены при варьировании значительного количества конструкционных параметров электрической машины. Диаграмма зависимостей установившегося значения фазного тока статора от каждого из геометрических размеров паза статора представлены на рис. 4.

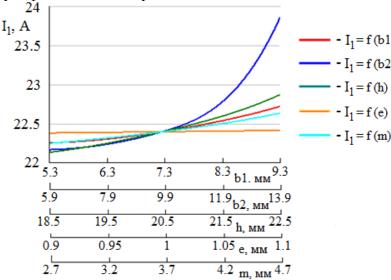


Рис. 4 — Диаграмма зависимостей амплитуды фазного тока статора от геометрических размеров паза статора

#### Выводы

Построенная имитационная модель с достаточной точностью описывает поведение асинхронной электрической машины в процессе ее работы. Вид полученных характеристик совпадает с теоретическими. Имеющиеся расхождения между экспериментальными и паспортными данными могут быть объяснены наличием допущений в математической модели. Модель позволяет получать динамические характеристики асинхронной машины, а также исследовать влияние большинства конструкционных параметров асинхронной электрической машины на качество переходных процессов, что дает возможность проводить в дальнейшем процедуры оптимизации динамических свойств асинхронной электрической машины. То есть, осуществлять рациональный подбор конструкционных параметров машины по критериям, учитывающим достижение заданного качества переходных процессов, массогабаритных показателей, К.П.Д. и др. с учетом характеристик присоединённых рабочих механизмов.

Практическая ценность модели заключается в увеличении качества проектирования асинхронных электрических машин, уменьшении затрачиваемого времени при проектировании, а также в достижении возможностей: экономии материалов при изготовлении; улучшения энергетических показателей; повышения надежности.

Следующим этапом работы станет усовершенствование полученной модели путем учета магнитных, механических и добавочных потерь, а также экспериментальная верификация модели с использованием разработанного испытательного стенда.

#### Список литературы

- 1. *Копылов И.П.* Электрические машины: Учеб. для вузов/И.П. Копылов. 3-е изд., испр. М.: Высш. шк., 2002-607 с.
- 2. Моделирование и прогнозирование в системном проектировании: Учебное пособие / А.Л. Куранов, С.Н. Обрядин, И.В. Плохов, А.А. Салангин. Псков: Издательство ПсковГУ, 2012.-292 с.
- 3. *Вольдек А.И.* Электрические машины: Учебник для студентов высших технических учебных заведений / А.И. Вольдек 3-е изд., перераб. Л.: Энергия, 1978 832 с.
- 4. *Вешеневский С.Н.* Характеристики двигателей в электроприводе / С.Н. Вешеневский. 6-е изд., испр. М.: Энергия, 1977 432 с.
- 5. Проектирование электрических машин: Учебное пособие для вузов/ под ред. И.П. Копылова. М.: Энергия, 1980 496 с.
- 6. Асинхронные двигатели серии 4A: Справочник / А.Э. Кравчик, М.М. Шлаф, В.И. Афонин, Е.А. Соболенская. М.: Энергоиздат, 1982 504 с.

05.02.08

#### М.В. Пономарёв

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, институт промышленных технологий машиностроения, кафедра технологии и оборудования машиностроения, Нижний Новгород, maxx.ponomarev@mail.ru

#### ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ФАЙЛОВ ФОРМАТА STEP В ПРОЦЕССЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ. ОСОБЕННОСТИ, ПРОБЛЕМЫ, РЕАЛИЗАЦИЯ

В работе представлены результаты изучения возможности и разработанные механизмы использования файлов формата STEP в части получения исходных данных для процесса автоматизированного проектирования технологических процессов механообработки. Описано разработанное приложения «STEPex v.1.0» и алгоритм «STEP Extractor».

Ключевые слова: *STEP файл, автоматизированное технологическое проектирование, извлечение исходных данных, алгоритм «STEP Extractor»*.

#### 1. Введение

В настоящий момент перед машиностроительными предприятиями, попавшими в условия жёсткой конкурентной борьбы и нестабильной мировой экономической обстановки, остро обозначилась задача повышения эффективности технологической подготовки своих производств, разработки технологической документации на изделия, с целью снижения себестоимости, повышения доступности и конкурентоспособности своей продукции.

Перспективным методом повышения эффективности технологического проектирования видится так называемый метод синтеза. Он заключается в алгоритмическом формировании техпроцесса на основе геометрического и технологического описания детали. Необходимые данные для описания предполагается брать в автоматическом режиме с трёхмерной модели детали, а точнее из файла формата STEP.

#### 2. Преимущества STEP\Express-технологий

Согласно работе [1], где авторы сравнивали достоинства и недостатки различных технологий обмена данными между приложениями (ActiveX, OLE for Design and Modelling и EXPRESS/STEP технологии), STEP-технологии имеют наибольшие перспективы и потенциал развития для намеченной цели автоматизации технологического проектирования.

STEP обеспечивает представление информации о продукте наряду с механизмами и определениями, необходимыми для обмена этими данными. Полученные данные связаны с полным жизненным циклом изделия и могут быть распространены и использованы разными компьютерными системами и применены на разных этапах производства, таких как проектирование, производство, эксплуатация, техническое обслуживание и утилизация.

STEP использует формальный язык информационных моделей EXPRESS для представления информации об изделии. Этим достигается точное и логически строгое представление данных и простота при реализации. Прикладные протоколы (AP – Application Protocols) полезны для описания специфических особенностей представления информации об изделии для той или иной области применения. На сегодняшний день наиболее широко используемый прикладной протокол – это AP 203, служащий для представления информации о проектах с управляемой конфигурацией.

Грамматика языка EXPRESS/STEP основана на так называемой синтаксической нотации Вирта. Информация передаётся в текстовый файл свободного формата и не подвергается форматированию строк.

Для решения задачи автоматизированного технологического проектирования в качестве исходных требуются данные о геометрии и топологии детали, а также технологическая информация о допусках размеров и формы.

3. Извлечение данных из файла STEP для системы автоматизированного технологического проектирования

Для задачи автоматизированного технологического проектирования в работе [1] был определён набор исходных данных. Эти данные содержат информацию о геометрии и топологии поверхности тела, а также ряд технологических требований:

- вид поверхности;
- начальная точка поверхности;
- радиус в начальной точке;
- половина угла конуса;
- компоненты вектора нормали;
- компоненты вектора плоскости;
- компоненты оси;
- координаты вершин рёбер;
- протяжённость поверхности;
- смежность поверхностей;
- размерные допуски и допуски формы;
- шероховатость поверхности.

В результате проведённых исследований, описанных в работе [2], выяснилось, что файлы формата STEP, получаемые силами разных трансляторов, имеют некоторые отличия, затрудняющие идентификацию объектов файла, и в целом усложняющие задачу извлечения необходимых данных для системы автоматического технологического проектирования. Однако, эту проблему удалось решить, и теперь предлагается алгоритм и его реализация в виде Windows-приложения, позволяющего извлекать набор данных, сохранять его в виде базы данных поверхностей и выводить на экран.

В результате проведённой работы был разработан алгоритм извлечения данных, которому было присвоено название «STEP Extractor». Он основан на принципах организации обменного файла STEP. Зная законы организации и структуру обменного файла, удалось реализовать механизм пошагового поиска объектов, содержащихся в файле STEP, и извлечение из них атрибутов и свойств соответствующих элементов граничной модели изделия.

Программная часть в виде стандартного исполняемого Windows-приложения «STEPex.exe» реализована на языке программирования Python. К достоинствам Python относится то, что его интерпретатор реализован практически на всех платформах и операционных системах, что позволяет выполнять программу, независимо от программной среды пользователя. Также язык обладает гибкостью и большой библиотекой подключаемых модулей, позволяющих реализовывать задачи широкой области применения. Также немаловажным фактором при выборе языка программирования сыграла относительная простота для освоения.

STEP-файл – это текстовый файл, содержащий определённый набор данных об изделии. Состав этого набора определяется тем или иным прикладным протоколом (AP 203, AP214 и т.п.), который выбирается пользователем при транслировании модели из CAD-системы в формат STEP.

Тело файла состоит из двух секций: заголовочной, содержащей служебную информацию о самом файле, такую как имя файла, автора, дату создания, прикладной протокол и т.д., и основной части – секции данных, начинающейся со служебного слова «DATA». Внутри этой секции данные имеют особый порядок организации. Информация здесь разделена на строки. Каждая строка начинается со служебного символа-указателя «#» и отделяется от другой строки точкой с запятой. Строка описывает тот или иной объект данных STEP, который представляет какой-либо конкретный элемент граничной модели, например строка: «#2 = ORIENTED\_EDGE ( 'NONE', \*, \*, #229, .T. ) ;» содержит объект «ориентированное ребро» и далее, в скобках, определённый набор характеристик и ссылку на следующий ниже в иерархии элемент описания. Указатель «#229» ведёт к строке «#229 = EDGE\_CURVE ( 'NONE', #42, #174, #258, .T. ) ;», включающей объект «кривая ребра», который описывает

геометрию лежащей в основе этого ориентированного ребра линии. Таким способом кодируются все элементы структуры, пример которой показан на рис. 2.

Учитывая эту систему организации, в основу разработанного алгоритма извлечения данных «STEP Extractor» положен метод поиска по регулярным выражениям.

Суть его в том, что по некоторому шаблону, заданному в теле программы осуществляется автоматический поиск в тексте файла STEP совпадений с этим шаблоном и извлекается указанная в шаблоне область данных в базу данных поверхностей.

Разработанный алгоритм состоит из набора шаблонов и последовательности команд для чтения файла формата STEP из внешнего файла, обработки содержимого файла и подготовки его для процедуры поиска, механизма поиска данных по шаблонам и механизма извлечения данных в базу поверхностей.

Шаблоны для поиска данных имеют следующий вид:

- а) "MANIFOLD\_SOLID\_BREP.\*#([0-9]+)" шаблон для обработки данных в строке с объектом «Manifold Solid Brep»;
- б) "[(,"]+#([0-9]+)" шаблон для нахождения идентификаторов поверхностей в параметрах объекта «Closed Shell»;
- в) " $(?<=\setminus(\#)([0-9]+)[\setminus D]*([0-9]*)[\setminus)]?$ ,#([0-9]+)" шаблон для обработки строк, содержащих объекты «Advanced Face» и извлечения их параметров;
- г) "(?P<type>[a-zA-Z\_]+)[\( "NONE,]+#(?P<id>[0-9]+),?(?P<rad>[0-9.]\*),?(?P<halfa>[0-9.]\*)" шаблон для обработки строк с описанием типа поверхности и её свойств;
- д) "(? <= [, |] #)([0-9]+)[, |] #([0-9]+)[, |] #([0-9]+)" шаблон для извлечения идентификаторов координаты начальной точки, векторов нормали и плоскости;
- e) "(? $\leq$ \()([0-9.E-]+),([0-9.E-]+)" шаблон для извлечения координаты начальной точки, компоненты вектора нормали, или оси поверхности вращения, компоненты вектора плоскости.

Для пояснения работы разработанного алгоритма рассмотрим работу двух шаблонов.

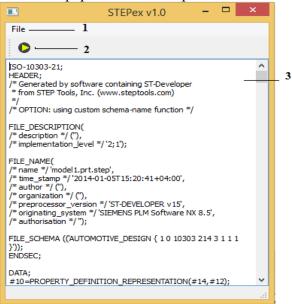
Для начала в программе устанавливается стартовый объект поиска и соответствующий ему шаблон. В качестве корня поиска принят объект «MANIFOLD\_SOLID\_BREP», который в параметрах в скобках содержит ссылку на строку со списком всех замкнутых оболочек (Closed shell), содержащихся в модели. Для поиска этого первого объекта используется разработанный шаблон «MANIFOLD\_SOLID\_BREP.\*#([0-9]+)». Эта запись, как уже было сказано выше, написана с применением специального синтаксиса шаблонов, понятного для программного интерпретатора. Она означает, что алгоритму нужно пошагово проверить каждую строку файла, и найти ту, в которой будет содержаться последовательность символов «MANIFOLD SOLID BREP», за которой через любое количество любых символов должно стоять сочетание символа «#» и одно или нескольких цифр. Если именно такое сочетание будет найдено, то из этой строки в память программы будет сохранена та самая последовательность цифр, которая и является номер строки с объектом «Closed shell», следующим ниже по иерархии в структуре файла. Для примера рассмотрим строку из реального файла STEP: «#27 = MANIFOLD SOLID BREP ( 'Бобышка-Вытянуть1', #107 ) ;». Дойдя до неё, механизм поиска начнёт считывать символы по порядку слева направо, сверяя их с заданным шаблоном. Найдя первое совпадение - букву «М», он начнёт фиксировать совпадающий участок строки. Так, символ за символом у него выстроиться сочетание «MANIFOLD\_SOLID\_BREP». Далее по шаблону ему задано, что совпадением будет считаться любое количество символов любое количество раз, пока не будет найден символ «#». Поэтому он, дойдя до скобки не сбросит поиск, а продолжит фиксацию совпадений. Подобная неопределённость при задании шаблонов часто позволяет нивелировать все различия в синтаксисе файлов STEP от разных CAD-систем, по тем или иным причинам присутствующие в них. Далее, достигнув символа «#», поисковик ожидает, в соответствии с шаблоном» сочетание одной или нескольких цифр от 0 до 9 в любой последовательности. Обнаружив это сочетание, он сохранит его в качестве переменной в память и завершит поиск по этому шаблону. Таким образом будет найден номер строки для поиска следующего по структуре объекта.

Далее происходит переход по идентификатору к строке, содержащей объект «CLOSED\_SHELL» и начинается поиск по шаблону «[(,"]+#([0-9]+)». Эта запись означает, что в текущей строке будут найдены все совпадения с шаблоном, а сочетание цифр от 0 до 9 в любом количестве в любой последовательности будут сохранены в память, при условии, что они идут после символа «#», перед которым должна стоять либо скобка, либо запятая, либо кавычки в любых сочетаниях в любых количествах. Так, например, в строке «#107 = CLOSED\_SHELL ( 'NONE', ( #208, #236, #264, #91, #116, #295 ) ) ;» совпадениями будут считаться сочетания «208», «236», «264», «91», «116» и «295». Однако, «107» поисковик справедливо проигнорирует, не обнаружив перед «#» скобку, запятую или кавычки. Таким образом мы получим список всех параметров-указателей объекта CLOSED\_SHELL, которые ссылаются на объекты типа ADVANCED\_FACE (расширенная грань).

Дальнейший поиск происходит после перехода по одному из указателей к объекту ADVANCED\_FACE. Этот объект в качестве параметров содержит указатели для определение границ грани и указатель для определения геометрии лежащей в основе грани поверхности. Поиск идёт по шаблону  $(?<=|(\#)([0-9]+)[\D]*([0-9]*)[\]?,\#([0-9]+)»$ .

Последующее извлечение данных происходит аналогичным образом, пошагово обходя все объекты структуры, показанной на рисунке 2. Получившаяся в результате база данных поверхностей с их характеристиками в последствии может быть выведена на экран или в файл.

На рисунке 1 показано стартовое окно приложения «STEPex.exe», реализующего алгоритм «STEP\_Extractor» и выводящее информацию о поверхностях на монитор пользователя.



1 – Панель команд; 2 – Панель действий с кнопкой «Извлечь данные»; 3 – Текстовое поле Рис. 1 – Вид главного окна приложения STEPex v1.0

В панели команд 1, после выбора команды «File» — «Ореп» открывается файл формата STEP. Его содержимое отображается в текстовом поле 3. Для начала процесса извлечения данных нужно нажать кнопку 2 «Extract start data» («Извлечь исходные данные»). После этого начнёт работу алгоритм «STEP Extractor». Результатом этого станет база данных поверхностей, которая частично отобразится в новом окне «Start data» («Исходные данные»), появляющееся автоматически, если в процессе работы программы не произошло никаких ошибок.

Примерный вид окна «Start data» приведён на рисунке 2.



1 – Текстовое поле с таблицей исходных данных;

2 – Кнопка «Create basic process» («Создать базовый техпроцесс»)

Рис. 2 – Вид окна «Start data» с примерным набором исходных данных

На нынешнем этапе окно «Start data» выводит в текстовом поле 1 список поверхностей, с указанием для каждой из них идентификатора, типа поверхности, начальной точки, радиуса в начальной точке (для цилиндрических и конических поверхностей), половину угла конуса в радианах (для конической поверхности), компоненту вектора нормали и компоненту вектора плоскости, а также компоненту оси (для поверхностей вращения). Кнопка 2 «Create basic process» («Создать базовый процесс») запускает в работу разрабатываемый в данный момент алгоритм «ТР Creator», отвечающий за автоматизированное создание структуры технологического процесса. В настоящее время этот алгоритм находится в стадии разработки и тестирования, и он не подключён к программе.

Список исходных данных извлекаемых алгоритмом «STEP Extractor» на настоящий момент:

- вид поверхности;
- начальная точка поверхности;
- радиус в начальной точке;
- половина угла конуса;
- компоненты вектора нормали;
- компоненты вектора плоскости;
- компоненты оси;
- координаты вершин рёбер.
- 4. Направление работы и ожидаемые результаты

В настоящее время ведётся работа, связанная с углублением и уточнением имеющейся, и поиском недостающей информации об особенностях структуры файла формата STEP, в частности, имеется нерешённая задача полного и топологически верного распознавания границ поверхностей, определение смежности поверхностей. Также одним из основных направлений является работа с технологическими данными, заданными в системах трёхмерного моделирования. В рамках работы над алгоритмом создания базовых структур технологических процессов «ТР Creator», на основании имеющихся данных и дополняя их, проводится работа по алгоритмизации и формализации действий технолога и предпринимается попытка программной реализации алгоритмов и принципов, изложенных в работе [1].

#### 5. Заключение

Выполненный анализ и проведённая работа позволяют сделать вывод о том, что формат STEP предоставляет возможность для преобразования геометрических, топологических и технологических данных, хранящихся в нём, в данные, пригодные для технологического проектирования с минимизированным участием человека.

#### Список литературы

- 1. Автоматизированное создание структуры технологического процесса: монография / И.Н. Фролова [и др.]; НГТУ. Н. Новгород, 2011. 183 с.
- 2. *Крайнов*, *В.В.* Анализ формата передачи данных STEP / В.В. Крайнов, М.В. Пономарёв, И.Н. Фролова // Труды Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексеева / НГТУ им. Р.Е. Алексеева. Нижний Новгород, 2013. № 5 (102). 377 с.

05.23.11

#### С.П. Санников к.техн.н., А.А. Жигайлов, В.С. Андреев

Тюменский государственный архитектурно-строительный университет, кафедра автомобильных дорог и аэродромов, кафедра строительных конструкций, Tюмень, ssp2004@mail.ru, zhigailov@list.ru

### ВЛИЯНИЕ МАТЕРИАЛОВ СЕРИИ «ТИПРОМ» И «ПЕНЕТРОН» НА СВОЙСТВА ЦЕМЕНТОГРУНТА, ПРИМЕНЯЕМОГО В ДОРОЖНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

В работе представлены результаты влияния материалов серии «Типром» и «Пенетрон» на свойства цементогрунта.

Ключевые слова: цементогрунт, дорожная одежда, гидрофобизатор, прочность, водопоглощение.

Одним из основных элементов дорожной одежды автомобильных дорог является основание, которое воспринимает нагрузку от подвижного состава, перераспределяет и уменьшает давление на нижележащие слои, а также передает усилия на грунт земляного полотна. От прочности и устойчивости основания в значительной мере зависят качество дорожной одежды, ровность и долговечность покрытия. Для устройства нижних слоев основания может использоваться местный грунт, укрепленный минеральным вяжущим (цементогрунт). Применение цементогрунта в качестве материала для основания связано в первую очередь с отсутствием каменных материалов в районах проектирования и строительства (особенно это ощутимо на территории Западной Сибири). Цементогрунт – композиционный материал, представляющий собой смесь грунта, цемента и воды. Существенным его недостатком в конструкции является низкая водо- и морозостойкость [1].

Для улучшения физико-механических свойств цементогрунта используют различные добавки (ренолит, латекс с лигносульфонатами, смолы, битумы, эмульсии т.п.) [2].

Благодаря достижениям тонкого органического синтеза, созданы материалы, надежно, эффективно и незатратно устраняющие недостатки цементогрунтов. К ним относят гидрофобизаторы, в том числе на основе кремнийорганических соединений. При нанесении кремнийорганического гидрофобизатора на поверхность цементогрунта происходит втягивание раствора в капилляры на глубину до 15–20 мм. После испарения растворителя кремнийорганика остается на поверхности капилляра, образуя там тончайшую водоотталкивающую пленку.

Материалы, которые представляют собой растворы кремнийорганики в воде или органических растворителях, выпускаются ООО «ПО «САЗИ» (г. Москва) под серией «Типром».

Материалы проникающей капиллярной гидроизоляционной системы выпускаются ЗАО ГК «Пенетрон-Россия» (г. Екатеринбург) под серией «Пенетрон». Данная серия широко применялась на таких стратегических объектах: Саяно-Шушенская ГЭС, Челябинская ТЭЦ-3, Московский метрополитен и на объектах сочинской олимпиады [3].

Для оценки влияния добавок серий «Типром» и «Пенетрон» на физико-механические свойства цементогрунта в лаборатории кафедры автомобильных дорог и аэродромов ФГБОУ ВПО «ТюмГАСУ» были изготовлены четыре серии образцов [4]:

- 1 серия контрольные образцы без обработки гидрофобизаторами;
- 2 серия образцы после набора начальной прочности были обработаны раствором «Типром К» в соотношении 1:3 (одна часть воды и 3 части «Типром К»);
- 3 серия образцы после набора начальной прочности были обработаны готовым раствором «Типром У»;

4 серия — образцы после набора начальной прочности были обработаны раствором «Пенетрон» в соотношении 5:2 (5 частей «Пенетрона» и 2 части воды).

Для исследования был взят песок мелкий однородный [5] со следующими характеристиками: максимальная плотность  $-1730 \text{ кг/м}^3$ , оптимальная влажность -12,2% [6].

Изготовление образцов производилось на малом приборе стандартного уплотнения СоюзДОРНИИ [7]. Все образцы были взвешены, промаркированы и помещены в камеру хранения с гидравлическим затвором для набора прочности в воздушно-влажной среде (рис 1).



Рис. 1. Образцы в камере набора прочности

Обработка гидрофобизаторами производилась после достижения 3-суточного возраста путем погружения в подготовленный раствор материала на 2-3 секунды (рис. 2).



Рис. 2. Обработка образцов гидрофобизирующим составом

Испытания каждой серии образцов проводились в возрасте 7, 14 и 28 суток с определением таких показателей, как водопоглащение и прочность на сжатие. Результаты испытаний представлены на рисунках 3, 4.

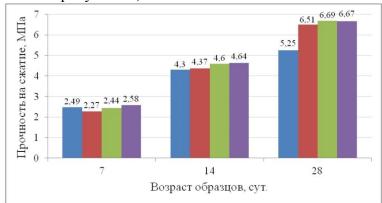


Рис. 3. Результаты испытания на прочность при сжатии

- необработанные образцы
- обработанные «Типромом К»
- обработанные «Типромом У»
- обработанные «Пенетроном»

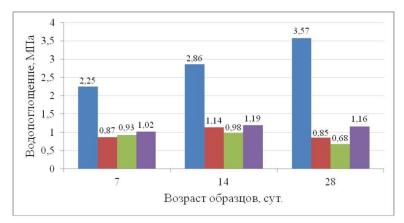


Рис. 4. Результаты испытания на водопоглощение

- необработанные образцы
- обработанные «Типромом К»
- обработанные «Типромом У»
- обработанные «Пенетроном»

Анализ результатов испытаний доказывает эффективность применения материалов серий «Типром» и «Пенетрон». По сравнению с контрольными (необработанными) образцами, прочность образцов, обработанных гидрофобизирующими материалами возросла, а водопоглощение снизилось (табл.).

Таблица – Относительная эффективность применения гидрофобизирующих материалов

Материалы,	Изменение г	оказателей по сравнени	ию с контрольн	ыми образцами
применяемые	Водо	поглощение	Прочнос	ть на сжатие
для обработки образцов	в процентах	количество раз	в процентах	количество раз
«Типром К»	- 76	4,2	+24	1,24
«Типром У»	- 81	5,25	+28	1,28
«Пенетрон»	- 68	3,10	+27	1,27

В среднем водопоглощение снизилось на 68-81 %, а прочность на сжатие увеличилось на 24-28 %.

Можно сделать вывод о том, что применение материалов серии «Типром» и «Пенетрон», позволит увеличить срок службы автомобильных дорог, а также даст возможность более широко использовать местные грунты для устройства дорожных одежд.

#### Список литературы

- 1. *Безрук В.М.* Укрепление грунтов / М.: Транспорт, 1965. 340 с.
- 2. *Шуваев А.Н.* Влияние степени уплотнения на основные характеристики цементогрунта с полимерной добавкой / А.Н. Шуваев, С.А. Куюков., А.А. Жигайлов // Научно-технический вестник Поволжья. -2011. -№ 5. -С. 131–134.
- 3. ТУ 5745-001-77921756-2006. Смеси сухие гидроизоляционные дисперсные системы «Пенетрон». Технические условия.
- 4. *Налимов В.В.* Статистические методы планирования экстремальных экспериментов / В.В. Налимов, Н.А. Чернова. М.: Наука, 1965. 341 с.
- 5. ГОСТ 25100-2011. Грунты. Классификация.
- 6. ГОСТ 22733-2002. Грунты. Метод лабораторного определения максимальной плотности / Госстрой РФ; ФГУП «СоюздорНИИ», 2002. 12 с.
- 7. ГОСТ 23558-94. Смеси щебеночно-гравийно-песчаные и грунты, обработанные неорганическими вяжущими материалами, для дорожного и аэродромного строительства. Технические условия / Госстрой РФ.  $10~\rm c$ .

05.23.11

#### А.А. Тестешев к.техн.н., Е.Н. Легостаева

Тюменский государственный архитектурно-строительный университет, кафедра автомобильных дорог и аэродромов, Тюмень, AlexMT2010@yandex.ru, legostaeva.jul@yandex.ru

#### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИНТЕНСИВНОСТИ ДВИЖЕНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ НА ВНЕШНИХ ВХОДНЫХ ДОРОГАХ Г. ТЮМЕНИ ЭКСПРЕСС-МЕТОДОМ

В статье представлена региональная экспресс-методика определения интенсивности движения на внешних входных дорогах крупного города.

Ключевые слова: среднегодовая суточная интенсивность движения, экспресс-метод определения интенсивности движения, коэффициент перевода часовой интенсивности.

Планирование совершенствования дорожной сети автомобильных дорог и обосновании объемов инвестиций в ее развитие невозможно без наличия надежных и объективных данных об интенсивности движения транспортного потока и его составе.

Наибольшее распространение в практике исследования движения получили натурные методы, использующие сплошной, ручной или автоматический режим контроля интенсивности и состава движения со стационарных или передвижных учетных пунктов наблюдения.

Проведение натурных исследований характеристик движения в реальных дорожных условиях связано со значительными трудностями: большими затратами труда, времени, средств и сложностью их организации [1].

Для решения специальных задач на сетевых транспортных объектах городского типа целесообразно учитывать взаимосвязь условий движения как на отдельных дорогах и улицах, так и улично-дорожной сети (УДС) в целом. На практике это условие реализуется необходимостью проведения единовременного (синхронного) учета интенсивности движения на всей УДС города и внешних входных дорогах в него.

Множественность внешних входных дорог и их рассредоточение в пределах городской черты делают малоэффективным использование ранее указанных методов исследования движения. В этих условиях, представляется целесообразным определять интенсивность и состав движения проведением кратковременного визуального учета (экспресс-метод) в соответствии с действующими нормативно-техническими документами [2].

Исследованиями методов определения интенсивности движения краткосрочными наблюдениями в различных регионах Российской Федерации, ближнего и дальнего зарубежья занимались В.В. Сильянов, М.С. Рутенбург, А.К. Павлов, М.Б. Романов, А.В. Малышев, М.В. Гречнева, Н.П. Толстиков, В.Б. Ивасик, Ю.М.Ситников, Е.А. Рейцен, Т.А. Шилакадзе, А.В. Пузиков и другие ученые [3]. Методические разработки, нашедшие применение в нормативно-технической литературе представлены в ОДН 218.1.052 [4], ВСН 6-90, ВСН 42-87 и ряде других региональных документов.

Анализ существующих экспресс-методов позволил выявить следующие характерные особенности:

- региональный мультифакторный характер изменение интенсивности движения;
- неравномерная динамика изменения интенсивности движения в течение часа, дней недели и сезонов года;
- солидный возраст методик, разработанных под транспортные условия прошлых лет и не учитывающих современные закономерности изменения движения, может привести к ошибке в расчетах.

Оценка точности определения среднегодовой суточной интенсивности движения существующими экспресс-методами проведена на основе банка данных круглосуточного учета интенсивности движения за 2005 - 2014 годы на учетных пунктах внешних входных дорог г.Тюмени.

Количество дней наблюдения в году для определения среднего значения среднегодовой суточной интенсивности движения:

$$n = \frac{t_{\alpha}^2 \cdot \vec{\nu}}{A},\tag{1}$$

где  $t_{\alpha}$  — функция доверительной вероятности, при доверительной вероятности  $\alpha$ =0,9;

 $\Delta$  — относительная точность учета;

*v* – коэффициент вариации

В ходе расчетов, объем выборки для различных внешних входных дорог составил от 24 до 36 дней.

Результаты учета среднегодовой суточной интенсивности движения на внешних входных дорогах федерального значения г. Тюмени представлены на рисунке 1.

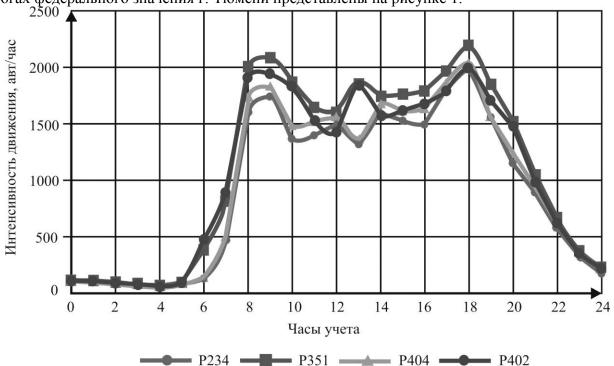


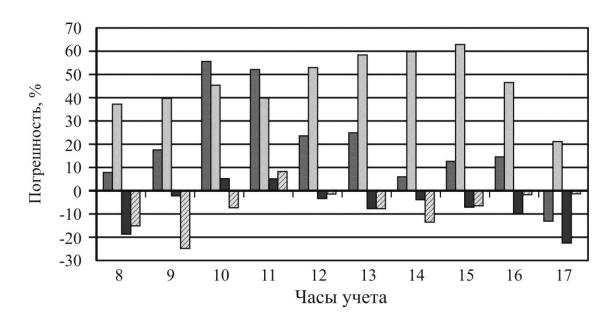
Рисунок 1 — График изменения средней суточной интенсивности движения на внешних входных дорогах федерального значения

Погрешность оцениваемых экспресс-методов определялась по формуле:

$$\Pi_i = \left(1 - \frac{K_i - \Delta_j^i}{K_i}\right) \cdot 100,$$
(2)

где  $K_i-$  фактический коэффициент перевода замеров;  $\Delta^i_j-$  фактическое отклонение j-го метода для i-го часа

Отклонения каждого из оцениваемых методов по часам учета представлены на рисунке 2. Анализ существующих методов определения интенсивности дорожного движения по результатам краткосрочных наблюдений на внешних входных дорогах показал, что ошибка в определении количества транспортных средств, прошедших через сечение дороги, достигает 63,4 %.



■ ВСН 42-87 ■ ВСН 52-89 ■ ВСН 6-90 Ж МР Тюмень Рисунок 2 — Погрешность существующих экспресс-методов определения интенсивности дорожного движения

Полученные результаты оценки говорят о невозможности получения репрезентативной информации об объемах движения рассмотренными выше методами, что требует необходимости разработки коэффициентов перевода краткосрочных замеров, адаптированных под транспортные условия г. Тюмени.

В общем виде коэффициент перевода часовой интенсивности в среднесуточную в зависимости от времени проведения наблюдений определялся по формуле:

$$K_{jnpus}^{i} = \frac{N_{j}^{i}}{N_{cym}} \cdot 100, \qquad (3)$$

где  $N_j^t$  — интенсивность движения j-го часа i-ой дороги;  $N_{cvm}$  — суточная интенсивность движения i-ой дороги.

Результаты определения средневзвешенных коэффициентов перевода представлены в таблице 1

Таблица 1 – Средневзвешенные коэффициенты перевода краткосрочных замеров в среднесуточную интенсивность движения

	ccy10	іную иг	ПСПСИВ	пость д									
Час					Д	лителы	ность за	мера, ч					
начала замера	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
7	7,52	15,32	21,97	27,89	33,74	40,29	46,62	52,94	59,39	66,5	74,71	81,63	87
8	7,80	14,45	20,37	26,22	32,77	39,1	45,42	51,87	58,98	67,19	74,11	79,74	-
9	6,65	12,57	18,42	24,97	31,3	37,62	44,07	51,18	59,39	66,31	71,94	-	-
10	5,92	11,77	18,32	24,65	30,97	37,42	44,53	52,74	59,66	65,29	-	-	-
11	5,85	12,4	18,73	25,05	31,5	38,61	46,82	53,74	59,37	-	-	-	-
12	6,55	12,88	19,2	25,65	32,76	40,97	47,89	53,52	-	-	-	-	-
13	6,33	12,65	19,1	26,21	34,42	41,34	46,97	-	-	-	-	-	-
14	6,32	12,77	19,88	28,09	35,01	40,64	-	-	-	-	-	-	-
15	6,45	13,56	22,43	28,69	34,32	-	-	-	-	-	-	-	-
16	7,11	15,32	22,24	27,87	-	-	-	-	-	-	-	-	-
17	8,21	15,13	20,76	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18	6,92	12,55	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
19	5,63	-	-	-	-	-	-	-	-	i	-	-	-

Для оценки достоверности определения интенсивности движения экспресс-методом был выполнен статистический анализ точности полученных коэффициентов перевода. Границы допустимых отклонений находились по формуле:

$$a_1(a_2, a_3) = K^i_{ji\partial \hat{e}\hat{a}} \cdot 0.05(0.10; 0.15),$$
 (4)

где  $a_1$ ,  $a_2$ ,  $a_3$  — границы допустимых отклонений при обеспеченности 95%, 90% и 85% соответственно.

Достоверность полученных результатов определялась по формулам:

а) при условии, что 
$$\frac{K_j^i}{K_{j\bar{n}\bar{o}}^i} \ge 1 \Longrightarrow d_j^i = \left(2 - \frac{K_j^i}{K_{j\bar{n}\bar{o}}^i}\right) \cdot 100$$
, (5)

б) при условии, что 
$$\frac{K_j^i}{K_{i\bar{n}\bar{o}}^i} < 1 \Rightarrow d_j^i = \left(1 - \frac{K_j^i}{K_{i\bar{n}\bar{o}}^i}\right) \cdot 100,$$
 (6)

Результаты статистических расчетов достоверности коэффициентов перевода краткосрочных замеров по часам проведения наблюдений, представлены в таблице 2.

Анализ полученных результатов позволил определить часовой интервал выборочного учета интенсивности, в котором средневзвешенные коэффициенты перевода краткосрочных замеров не превышают допустимые отклонения в 10 %.

Этому условию отвечает период проведения наблюдений с  $8^{\underline{00}}$  до  $18^{\underline{00}}$  ч, так как в указанном интервале времени интенсивность движения в наименьшей степени подвержена флуктуациям из-за часовых колебаний и неравномерности движения.

В целом можно отметить, что применение предлагаемой методики в деятельности региональных дорожных служб позволит придать регулярный характер учету движения и повысить достоверность получаемой информации о транспортном потоке.

#### Список литературы

- 1. Шуваев, А.Н. Инновационные технологии управления содержанием дорог и их метеорологическое обеспечение / А.Н. Шуваев [и др.] // Актуальные вопросы проектирования автомобильных дорог. Сборник научных трудов ОАО ГИПРОДОРНИИ 2013. №4(63). C. 198-206.
- 2. *Андронов, Р.В.* Расчет экономических потерь пользователей улично-дорожной сети на регулируемых пересечениях для обоснования мероприятий по реконструкции и улучшению организации движения / Р.В. Андронов // Научно-технический вестник Поволжья. − 2014. − №4. − С. 38-40.
- 3. *Пузиков*, *А.В.* Методика определения интенсивности движения по результатам краткосрочных наблюдений : дис. ... канд. тех. наук: 05.23.11 / Пузиков Артем Владимирович; Волгоград. арх.- строит. гос. ун-т. –Волгоград, 2006. 141 с.
- 4. ОДМ 218.2.032-2013. Методические рекомендации по учету движения транспортных средств на автомобильных дорогах. М.: Росавтодор, 2013. 34 с.

Таблица 2 – Коэффициенты перевода и оценка их достоверности

	Кірив	6:00	7:00	8.00	0.00	10:00	11.00	13.00	12.00		115.00	1 / 00	1	10.00	10.00	20.00	31.00	22.00
	-			0.00	7.00	10.00	11.00	12.00	10.00	14.00	DO:CI	16:00	00:7.1	00:81	00:61	20.00	71.00	20.44
	Кірив	0,78	1,73	4,32	4,45	3,62	3,11	3,03	3,42	3,12	3,12	3,03	3,44	3,37	2,96	2,34	1,66	1,12
Р 351 Екатеринбург-Тюмень	$K_{o6}^{l}$	0,58	1,15	2,84	2,98	3,06	2,77	2,67	3,20	3,12	3,14	3,37	3,56	4,45	3,64	3,08	2,06	1,27
;	Кобш	1,36	2,89	7,16	7,43	6,68	5,88	5,70	6,62	6,23	6,26	6,39	7,00	7,82	6,60	5,42	3,73	2,39
В 224 Изет по	$K_{прив}^2$	0,26	1,12	3,85	4,06	2,90	4,87	2,78	2,59	3,20	3,10	2,88	3,26	3,22	2,33	1,82	1,47	1,02
г 254 иртыш. подъезд к	$K_{o6}^2$	0,30	0,84	3,12	3,57	3,19	3,18	3,59	3,32	3,58	3,45	3,58	4,22	5,13	4,58	3,31	2,25	1,43
I. IIOMEHB	$K_{\rm o 6m}^2$	$0,\!56$	1,96	6,96	7,63	6,09	6,05	6,37	5,91	6,78	6,55	6,46	7,49	8,35	6,91	5,13	3,72	2,45
B 101 T	$K_{прив}^3$	0,50	1,14	3,09	3,25	3,02	2,79	2,70	3,05	3,14	3,13	3,24	3,49	4,15	3,31	2,77	1,21	1,92
r 404 Homenb-Xahrbi-	$K_{06}^3$	0,66	1,51	4,02	4,23	3,51	3,13	3,17	3,39	3,23	3,21	3,17	3,64	3,81	3,37	2,58	1,81	1,20
MAHCANCK	$K_{ m o 6m}^3$	1,16	2,66	7,11	7,48	6,53	5,93	5,87	6,44	6,37	6,34	6,41	7,12	7,96	6,68	5,35	3,73	2,40
	Клрив	1,01	2,18	4,92	4,89	3,83	3,08	2,75	3,47	2,88	2,96	2,75	3,05	2,49	2,16	1,86	1,37	0,96
Р 351 Тюмень-Ишим-Омск	$K_{06}^{4}$	0,75	1,17	2,34	2,44	3,13	2,72	2,61	3,50	3,07	3,16	3,61	3,71	5,07	4,30	3,72	2,36	1,40
	Кобш	1,76	3,35	7,27	7,33	6,97	5,08	5,37	6,97	5,96	6,12	6,36	6,67	7,56	6,45	5,57	3,73	2,36
Средневзвешенный	$K_{np}^{cp}$	0,74	1,59	3,92	4,00	3,28	2,89	2,73	3,14	3,08	3,08	3,07	3,34	3,72	2,98	2,50	1,65	1,31
коэффициент перевода	$K_{oo}^{cp}$	0,69	1,40	3,60	3,80	3,37	3,03	3,12	3,41	3,25	3,24	3,38	3,77	4,52	3,94	3,13	2,08	1,30
замеров	$K_{ m o ar o u}^{ m cp}$	1,43	2,99	7,52	7,80	6,65	5,92	5,85	6,55	6,33	6,32	6,45	7,11	8,21	6,92	5,63	3,73	2,61
Оценка достоверности Кірив	$d_{\rm прив}^{\rm i}$								Дo	Достоверн	=							
	$d_{\text{прив}}^1$	78,5	72,5	72,5	74,5	93,2	95,8	97,9	98,0	98,8	98,0	90,4	93,4	80,2	78,0	76,8	74,9	97,2
Р 351 Екатеринбург-Тюмень	$d_{o6}^1$	87,3	76,5	79,8	82,9	92,5	97,3	97,2	99,8	95,8	96,5	89,7	91,3	74,6	75,2	74,9	80,8	85,9
	$d_{\text{общ}}^1$	98,5	99,4	99,6	99,5	98,8	99,6	98,1	98,7	98,5	99,2	99,9	98,9	98,6	99,1	98,9	96,3	89,3
Р 234 Иртыш Полъезл к	$d_{\text{прив}}^2$	34,8	70,4	98,0	98,5	88,4	99,1	98,0	82,7	96,0	99,3	93,7	97,7	86,7	78,1	72,6	89,1	77,9
г Тюмень	$d_{oo}^2$	43,7	60,0	86,7	94,0	94,8	95,1	84,8	97,1	89,9	93,3	94,0	88,0	86,4	83,8	94,2	91,8	90,4
** ************************************	d <sub>общ</sub>	70,4	87,6	97,7	97,4	91,4	97,6	91,6	90,1	92,8	96,2	99,3	94,9	93,4	95,3	92,9	96,6	93,5
P 404 Toment-Yauth-	dлрив	67,3	71,7	78,8	81,2	92,1	96,5	99,0	97,3	98,1	98,3	94,4	95,5	88,3	89,0	89,2	73,3	53,1
Мансийск	$d_{06}^{3}$	95,8	92,5	88,2	88,7	95,8	96,8	98,3	99,3	99,3	99,2	93,9	96,6	84,3	85,5	82,5	87,0	92,0
	$d_{06m}^3$	91,5	97,3	99,7	99,7	95,7	99,8	99,3	98,5	99,4	99,6	99,9	99,4	99,3	99,5	99,0	75,8	57,9
	$d_{\text{прив}}^3$	63,4	63,0	74,5	77,8	83,1	93,5	99,1	89,2	93,6	96,1	89,8	91,3	67,1	72,3	74,3	83,0	73,8
Р 351 Тюмень-Ишим-Омск	$d_{00}^3$	91,8	83,3	65,2	64,2	93,0	89,7	83,9	97,5	94,5	97,6	93,1	98,4	87,8	91,0	81,2	86,5	92,9
	dобщ	87,4	92,9	98,3	98,0	93,9	98,1	92,9	93,1	94,1	97,0	99,4	95,9	94,7	96,2	94,8	96,2	87,2

95% обеспеченность

90% обеспеченность

85% обеспеченность

05.13.01

#### А.Ю. Тужилкин

Муромский институт (филиал) Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых, кафедра САПР, г. Муром, ay-tuzhilkin@ya.ru

#### СЕГМЕНТАЦИЯ СПУТНИКОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ МЕСТНОСТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СПЕКТРАЛЬНОЙ ТЕОРИИ ГРАФОВ

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 15-07-01612-A, задания на выполнение государственных работ в сфере научной деятельности в рамках базовой части государственного задания Минобрнауки России (проект № 2918)

В статье рассматривается задача сегментации изображений. Для сегментации используется спектральная теория графов. Изображение представлено в виде взвешенного графа. Узлами графа являются пиксели, ребра представляют связи между пикселями. Разрезы графа применяются для отнесения пикселей к некоторой области изображения. Представлены результаты работы алгоритма при обработке спутниковых изображений местности.

Ключевые слова: сегментация изображений, спектральная теория графов, разрезы на графах.

#### Введение

Сегментация изображений является одной из основных проблем в компьютерном зрении. Задача сегментации состоит в разделении изображения на непересекающиеся подмножества таким образом, что каждое подмножество соответствует некоторой части изображения. Обычно сегментация является предварительным этапом в задачах распознавания изображений. Поэтому от качества сегментации изображений в значительной степени зависит эффективность системы компьютерного зрения. Многие из методов сегментации используются в системах трехмерной реконструкции изображений [1,2], слежения за объектами [3], распознавания объектов и т. д.

Сегментация на основе теории графов предоставляет широкие возможности для решения практических задач. Подходы на основе графов представляют элементы изображений в виде структур и позволяют более гибко осуществлять вычисления. Подобные методы сегментации изображений основаны на разбиении графа на подграфы, которые представляют собой некоторый объект на изображении.

Целью работы является разработка алгоритма сегментации спутниковых изображений местности для задач трехмерной реконструкции местности с использованием спектральной теории графов.

#### Обзор методов сегментации на основе графов

Среди методов сегментации на основе графов выделяют следующие:

- методы на основе минимального покрывающего дерева [4]. Соединение вершин графа выполняется при условии минимальной суммы весов ребер. Разбиение графа достигается удалением ребер с образованием подграфов;
- методы, использующие разрезы графов с функциями стоимости [5, 6]. Преимуществом методов разрезов на графах состоит в том, что для разных приложений могут быть использованы различные функции стоимости. Это позволяет задавать условия для выделения на изображениях объектов определенного типа.

- методы, использующие разрезы графов с использованием случайных полей Маркова (MRF Markov Random Field) [7]. Н основе MRF-оптимизации разработаны алгоритмы минимального разреза и максимального потока на графах;
- методы, основанные на поиске кратчайшего пути [8]. Граница объекта определяется поиском кратчайшего пути на множестве вершин графа;
  - методы случайного поиска [9];

Сегментация на основе спектральной теории графов. В обработке изображений при использовании графов могут быть извлечены различные особенности. К таким особенностям относится спектральное представление графа, основанное на разложение матриц в спектр. Спектр графа представляет собой упорядоченный по возрастанию или убыванию вектор собственных чисел матрицы смежности графа. Графы можно представить с помощью матрицы смежности, степенной матрицы и матрицы Лапласа. Матрица смежности взвешенного графа — это квадратная матрица A, в которой каждый элемент равен весу ребра, соединяющей ее вершины. Также для задания графа используется матрица Лапласа, которая определяется следующим образом. Вначале строится степенная матрица D, диагональные элементы которой равны степеням вершин. Степень вершины  $d_v$  равна сумме весов ребер w(u,v), инцидентных этой вершине. Ненормализованная матрица Лапласа L вычисляется по формуле: L = D - A.

Изображение представим в виде взвешенного графа, в котором вершинами будут являться пиксели, ребрами — связи между соседними пикселями, а весами ребер — различия свойств (интенсивность, цвет) между соседними вершинами. Для сегментации изображений предлагается использовать разрезы на графах.

Если множество вершин V неориентированного графа G разбито на два непересекающихся множества  $V_1$  и  $V_2$  ( $V_1 \subset V$ ,  $V_2$  является дополнением  $V_1$  относительно V), то множество ребер графа G, одни концевые вершины которых лежат в  $V_1$ , а другие в  $V_2$ , называется разрезом графа.

Широко используются методы нормированных разрезов графов. Величина нормированного разреза в этом случае определяется следующим образом [6]:

$$Ncut(A, B) = \frac{cut(A, B)}{vol(A)} + \frac{cut(A, B)}{vol(B)},$$

где  $\operatorname{vol}(A) = \sum_{v_i = A, v_j = V} w(v_i, v_j)$  — общий вес ребер между вершинами подграфа A и графа V ;

 $w(v_i, v_i)$  – вес ребра.

Нахождение минимума Ncut(A, B) может быть рассмотрено с использованием собственных значений на основе спектральной теории графов:

 $\min \text{Ncut}(A,B) = \min_{y} \frac{y^T (D-W)y}{y^T D y}$ , где D – степенная матрица; A – матрица смежности

графа;  $y \in \{1,-b\}, 0 < b \le 1, y^T D 1 = 0.$ 

Однако, данная задача является NP-сложной. Поэтому для упрощения задачу сводят к нахождению собственных значений на основе выражения (D-W) $y = \lambda Dy$  [6].

Алгоритм сегментации на основе спектрального разбиения имеет вид:

Шаг 1. Строится взвешенный граф на основе исходного изображения. Рассчитываются матрицы W и D.

Шаг 2. Из выражения  $(D-W)y = \lambda Dy$  находятся собственные векторы с наименьшими собственными значениями.

Шаг 3. На основе вектора со вторым наименьшим собственным значением вычисляется разрез графа.

Шаг 4. При необходимости выполняется рекурсивное разбиение сегментированных областей.

**Результаты экспериментов.** Для проведения экспериментов были взяты спутниковые изображения высокого разрешения. Одно из изображений приведено на рисунке 1, а. Результаты сегментации показаны на рисунке 1, б. Время работы программы в среде МАТLAB на компьютере с процессором і5 и оперативной памятью 4 Gb составило в первом случае 42 с, а во втором – 98 с.

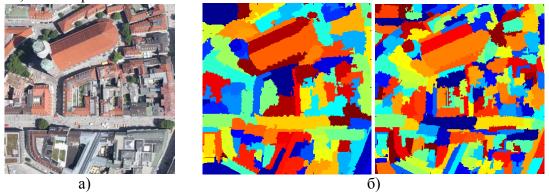


Рис.1 – Результаты алгоритма: а) исходное изображение, б) сегментированные изображения с различной степенью разбиения

Заключение. В работе был применен подход к сегментации спутниковых изображений на основе спектральной теории графов. Данный подход позволяет задавать степень сегментации. Недостатком подхода является его высокая вычислительная сложность. В дальнейшем при использовании алгоритма планируется использовать методы сокращения размерности данных.

#### Список литературы

- 1. Захаров А.А., Тужилкин А.Ю. Синтез трехмерных сцен по видеоизображениям с использованием априорной информации// Научно-технический вестник Поволжья, 2013. N 5. С. 163-165.
- 2. Захаров А.А. Автоматический синтез протяженных трехмерных сцен с использованием системы компьютерного зрения// Известия ВУЗОВ. Приборостроение, 2012. Т.55, № 2. С. 24-27.
- 3. *Barinov A.E*, *Zakharov A.A*. Graph matching algorithm in position and orientation estimation tasks// Crimean Conference "Microwave & Telecommunication Technology", 2014. IEEE Catalog Number: CFP14788. pp. 411-412.
- 4. *Felzenszwalb P.F.*, *Huttenlocher D.P*. Efficient graph based image segmentation// International Journal of Computer Vision, 2004. № 59(2). –pp. 167-181.
- 5. Wu Z., Leahy R. Tissue classification in MR images using hierarchical segmentation// In Proc. IEEE Int. Conf: Medical Imaging, 1990. N 12(1). pp. 81-85.
- 6. Shi J., Malik J. Normalized Cuts and Image Segmentation// IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2000. N 22(8). pp. 888-905.
- 7. Boykov Y., Funka-Lea G. Graph Cuts and Efficient N-D Image Segmentation// International Journal of Computer Vision, 2006. № 70(2). –pp. 109-131.
- 8. Falcao A.X., Udupa J.K., Samarasekara S., Sharma S. User-steered image segmentation paradigms: Live wire and live lane// Graphical Models and Image Processing, 1998. № 60. pp. 233-260.
- 9. *Grady L.* Multilabel random walker segmentation using prior models// IEEE Conference of Computer Vision and Pattern Recognition, 2005. vol. 1. pp. 763-770.

#### АННОТАЦИИ ABSTRACTS

#### А.Р. Абдуллаев, К.А. Житникова ДВУХТОЧЕЧНАЯ ЗАДАЧА ДЛЯ УРАВНЕНИЯ ВТОРОГО ПОРЯДКА В КРИТИЧЕСКОМ СЛУЧАЕ

Ключевые слова: двухточечная задача, резонанс, уравнение Матье, уравнение Хилла.

Рассматривается задача  $u''(t)+(\lambda_n-a(t))u(t)=f(t,u,u')+g(t)$ ,  $u(0)=u(\pi)=0$  для значений  $\lambda_n = n^2$ , n - целое u  $n \neq 0$ , являющихся критическими. Для ограниченной функции  $f(\cdot)$ доказана существования решения. теорема Доказательство основано на применении теоремы о разрешимости квазилинейного операторного уравнения с необратимой линейной частью.

### В.В. Дружинин, А.А. Лазарев ТЕОРИЯ ПАР-ШЕСТЕРОК ПРОСТЫХ ЧИСЕЛ

Ключевые слова: решето Эратосфена, функция Эйлера, вероятность.

Построено решето типа Эратосфена для генерации пар простых чисел с расстоянием между ними в шесть единиц. Выявлены буферные зоны и показано, что таких пар на числовой оси бесконечное количество.

#### В.А. Евдокимова, С.В. Ланкин ОСОБЕННОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПРИРОДНЫХ ЦЕОЛИТОВ ОБОГАЩЕННЫХ НИТРАТОМ ВИСМУТА

Ключевые слова: цеолиты, соль висмута, сопротивление, тангенс потерь.

В работе представлены результаты исследований электрических и диэлектрических свойств цеолитов Амурской области обогащенных нитратом висмута в интервале температур 20-300 °С. Построены графики температурных зависимостей сопротивления и тангенса потерь. Фазовый переход не обнаружен.

#### И.А. Пушкарёв, В.А. Бызов ДУГИ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ДОНАХЬЮ И ТРЕУГОЛЬНИК КАТАЛАНА

Ключевые слова: преобразование Донахью, плоское кубическое дерево, числа Каталана, баллотировочные числа.

В работе рассмотрены специфические фрагменты преобразования орбит Донахью и отмечены количественные свойства фрагментов. Кроме того, приведены эмпирические данные, полученные прямолинейным компьютерным моделированием. Эти данные позволили сформулировать ряд гипотез, некоторые из которых удалось доказать.

Н.Я. Есина, М.Н. Курасова, М.В. Тачаев, У.М. Малага РАЗНОЛИГАНДНЫЕ КОМПЛЕКСНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ РОДИЯ (III) С ПИРИМИДИНОВЫМИ, ПУРИНОВЫМИ ОСНОВАНИЯМИ И АСПАРАГИНОВОЙ КИСЛОТОЙ

#### A.R. Abdullaev, K.A. Zhitnikova TWO-POINT PROBLEM FOR THE SECOND-ORDER EQUATION IN THE CRITICAL CASE

Keywords: two-point problem, resonance, Mathieu equation, Hill equation

We consider the problem  $u''(t)+(\lambda_n-a(t))u(t)=f(t,u,u')+g(t)$ ,  $u(0)=u(\pi)=0$ , for the critical values, where  $\lambda_n=n^2$ , n are integer and  $n\neq 0$ , is critical. When  $f(\cdot)$  is a bounded function, we prove the existence of solutions. The proof is based on using the theorem on the solvability of the quasilinear operator equation with an noninvertible linear part.

#### V.V. Druzhinin, A.A. Lazarev THE THEORY OF PAIRS OF SIXES PRIMES

Keywords: sieve of Eratosthenes, the Euler function, the probability.

Built sieve type of Eratosthenes to generate pairs of primes with the distance between them in six units. The identified buffer zone, and it is shown that such pairs on the real axis of an infinite number.

#### V.A. Evdokimova, S.V. Lankin FEATURES OF ELECTRIC PROPERTIES OF THE NATURAL ZEOLITES ENRICHED WITH BISMUTH NITRATE

Keywords: zeolites, bismuth salt, resistance, tangent of losses.

In work results of researches of electric and dielectric properties of the zeolites of the Amur region enriched with bismuth nitrate in the range of temperatures of 20-300 °C are presented. Schedules of temperature dependences of resistance and a tangent of losses are constructed. Phase transition isn't found.

#### I.A. Pushkarev, V.A. Byzov ARCS OF DONAGHEY'S TRANSFORMATION AND CATALAN'S TRIANGLE

Keywords: Donaghey's transformation, plane trivalent tree, Catalan numbers, ballot numbers.

This paper presents the specific segments of Donaghey's transformation orbits and certain quantitative properties of these segments. Besides, there is empirical evidence obtained by means of rectilinear computer generated simulation. This data affords to formulate a range of conjectures, some of which have been successfully proved.

N.Y. Esina, M.N. Kurasova, M.V. Tachaev,
U.M. Malaga
MIXED-LIGAND COMPLEX COMPOUNDS OF
RHODIUM (III) WITH PYRIMIDINE, PURINE
BASES AND ASPARTIC ACID

Взаимодействием водных растворов синтезированы координационные соединения:  $[Rh(Cyt)(Asp^{2-})Cl] \cdot H_2O$ ,  $[Rh(Ura)(Asp^2)Cl] \cdot H_2O$ ,  $[Rh(Ade)(Asp^{2-})Cl] \cdot H_2O$ ,  $[Rh(Hyp)(Asp^{2-})Cl] \cdot H_2O.$ Выделенные соединения охарактеризованы методами ИК ЯМРспектроскопии. Показано, что металла координирует аминокислоту через а-NH<sub>2</sub>- и две СОО группы. Пиримидиновые основания координируются ионом родия (III) через N3 (N1) гетероцикла, пуриновые – N3 (N7) и амино- или карбонильную группы.

## А.А. Аваков, А.С. Чепурненко, С.Б. Языев НАПРЯЖЕННО–ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ АРКИ С УЧЕТОМ НЕЛИНЕЙНОЙ ПОЛЗУЧЕСТИ БЕТОНА

Ключевые слова: железобетонная арка, нелинейная ползучесть, метод конечных элементов.

В работе получены разрешающие уравнения метода конечных элементов для расчета с учетом нелинейной ползучести железобетонных арок. При расчете используется вязкоупругопластическая модель наследственного старения. Показано, что вследствие ползучести бетона происходит существенное перераспределение напряжений между бетоном и арматурой.

# И.А. Акимов, А.И. Акимов, Е.О. Каракулина ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ НА ВТОРОМ ЭТАПЕ ПРОИЗВОДСТВА КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ МЕТОДОМ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ В УСТАНОВКАХ АВТОМАТИЧЕСКОГО ВЕДЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА (АВТП)

Ключевые слова: полимеризация, фазовый переход, установки АВТП, многослойные композиционные материалы, метод изотермических поверхностей.

В данной работе рассматриваются результаты изучения теплопередачи в многослойных изделиях на втором этапе производства композиционных материалов. Многослойные композииионные материалы изготавливаются в установках АВТП методом полимеризации. При полимеризации выделяется тепло фазового перехода. Поэтому при разработке системы управления производством композиционных материалов приходится учитывать эти факторы.

## Р.В. Андронов, Б.П. Елькин, Д.А. Гензе ПОНЯТИЕ ЗАТОРА И ФОРМИРОВАНИЕ ОЧЕРЕДЕЙ НА РЕГУЛИРУЕМОМ ПЕРЕСЕЧЕНИИ В УСЛОВИЯХ ПЛОТНОГО ТРАНСПОРТНОГО ПОТОКА

Ключевые слова: Регулируемые пересечения, очереди, транспортные заторы, задержки транспортных средств, плотный транспортный поток.

В статье рассматривается понятие затора на регулируемом пересечении. Несмотря на выход в последние годы значительного количества нормативной документации по организации дорожного движения, пока отсутствует четко определенное понятие затора транспортного потока на регулируемом пересечении. В статье на основе анализа формирования очереди перед регулируемым

Complexes of  $[Rh(Cyt)(Asp^2-)Cl] \cdot H_2O$ ,  $[Rh(Ura)(Asp^2-)Cl] \cdot H_2O$ ,  $[Rh(Hyp)(Asp^2-)Cl] \cdot H_2O$ ,  $[Rh(Hyp)(Asp^2-)Cl] \cdot H_2O$ ,  $[Rh(Hyp)(Asp^2-)Cl] \cdot H_2O$  are synthesized by aquous solutions interaction and characterized by means of IR- and NMR-spectroscopy. It was determined that metal-ion coordinates aminoacid via  $\alpha$ -NH<sub>2</sub>- and two COO groups. Pyrimidine bases are coordinated by Rh(III) ion via N3 (N1) of heterocycle, purine bases – via N3 (N7) of heterocycle and amino- or carbonile groups.

#### A.A. Avakov, A.S. Chepurnenko, S.B. Yaziev STRESS-STRAIN STATE OF REINFORCED CONCRETE ARCH CONSIDERING NONLINEAR CREEP OF CONCRETE

Keywords: reinforced concrete arch, nonlinear creep, finite element method.

We obtain resolving equations of finite element method to calculate reinforced concrete arches considering nonlinear creep of concrete. The viscoelastoplastic model of hereditary aging is used for calculation. It is shown that due to the creep of concrete there is a significant redistribution of stresses between the concrete and reinforcement.

#### I.A. Akimov, A.I. Akimov, E.O. Karakulina INVESTIGATION OF HEAT TRANSFER OF THE SECOND PHASE OF PRODUCTION OF COMPOSITE MATERIALS POLYMERIZATION METHODS IN THE INSTALLER AUTOMATICALLY BUSINESS PROCESS (AVTP)

Keywords: polymerization, phase transition, installation AVTP, multilayered composite materials, the method of isothermal surfaces.

This paper discusses the results of a study of heat transfer in multilayer products on the second stage of the production of composite materials. Multilayer composite materials are manufactured in plants AVTP polymerization method. In the polymerization heat is a phase transition. Therefore, the development of production management system of composite materials must take into account these factors.

#### R.V. Andronov, B.P. Elkin, D.A. Genze THE CONCEPT OF CONGESTION AND VEHICULAR QUEUING ON A CONTROLLED INTERSECTION IN HEAVY TRAFFIC

Keywords: controlled intersection, traffic congestion, transport delays, heavy traffic.

The article discusses the concept of traffic congestion on a controlled intersection. Despite the output in recent years, a significant number of normative documents on the organization of traffic, yet there is no clear definition of congestion of traffic flow on a controlled intersection. On the basis of the analysis of vehicular queuing in front of a controlled intersection proposed to formulate the definition of congestion on a controlled intersection. The results are useful for the publication methods for determining transport delays at intersections and

пересечением предлагается сформулированное определение транспортного затора на регулируемом пересечении. Результаты публикации полезны для методик определения задержек транспорта на определения пересечениях и целесообразности мероприятий по улучшению организации дорожного движения.

determine the feasibility of measures to improve traffic management.

#### С.М. Аульченко, Е.И. Васильева, В.О. Каледин ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧИ ОБТЕКАНИЯ ПРОФИЛЯ КРЫЛА ЛАМИНАРНЫМ ПОТОКОМ ВЯЗКОЙ НЕСЖИМАЕМОЙ ЖИДКОСТИ

Ключевые слова: вязкая сжимаемая жидкость, коэффициент подъёмной силы, коэффициент лобового сопротивления, угол атаки, поляра.

Предложено решение задачи об обтекании крыла ламинарным потоком. При численном моделировании использована модель вязкой сжимаемой жидкости. Отличительная особенность её состоит в том, что предельный переход от рассматриваемой модельной среды к среде с бесконечно большой объёмной вязкостью даёт несжимаемую жидкость. Рассчитанное влияние угла атаки аэродинамические характеристики сопоставляется с данными эксперимента.

#### А.П. Буйносов, Д.С. Денисов СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ИЗНОСА БАНДАЖЕЙ КОЛЕСНЫХ ПАР ЭЛЕКТРОВОЗОВ 2ЭС10 И ВЛ11

Ключевые слова: электровоз, колесная пара, бандаж, износ, сравнение, анализ.

В статье приведены результаты сравнительного анализа износа бандажей колесных пар электровозов 2ЭС6 и ВЛ11 с различными профилями при эксплуатации на полигоне Свердловской и Западно-Сибирской железных дорогах.

#### А.П. Буйносов, А.М. Кислицын ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ КОЛЕСНОЙ ПАРЫ ПРИ ДВИЖЕНИИ ЭЛЕКТРОВОЗА С ПОМОЩЬЮ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ АСОК-Л

Ключевые слова: электровоз, движение, колесная пара, параметр, определение, система, канал, измерение.

В статье рассмотрены один из способов определения параметров колесной пары используя ультразвуковые измерительные каналы системы АСОК-Л движении электровоза на основе использования бесконтактных методов измерения.

#### А.П. Буйносов, Н.Г. Фетисова ВОССТАНОВЛЕНИЕ РАБОТОСПОСОБНОСТИ БАНДАЖЕЙ КОЛЕСНЫХ ПАР ПРОМЫШЛЕННЫХ ЭЛЕКТРОВОЗОВ С ПОМОЩЬЮ НАПЛАВКИ

Ключевые слова: электровоз, колесная пара, бандаж, работоспособность, восстановление, наплавка. статье приведены разработанная установка и результаты выполненных исследований по выбору работоспособности технологии восстановления бандажей промышленных электровозов с помощью

наплавки без выкатки колесных пар.

S.M. Aulchenko, E.I. Vasilieva, V.O. Kaledin

#### APPLICATION OF FINITE ELEMENT METHOD TO SOLVING PROBLEMS FLOW AIRFOIL LAMINAR VISCOUS INCOMPRESSIBLE FLUID FLOW

Proposed solution to the problem of flow around a wing laminar flow. The calculations are performed for twodimensional problem. In the numerical simulations we used the model of a viscous compressible fluid. A distinctive feature of it is that the limit on the particular model medium to a medium with an infinitely large bulk viscosity gives an incompressible fluid. As a method for solving the selected finite element method. The calculated influence of the angle of attack on the aerodynamic characteristics compared with the experimental data.

#### A.P. Buinosov, D.S. Denisov COMPARATIVE ANALYSIS OF WEAR BANDAGES WHEELSETS 2ES10 ELECTRIC LOCOMOTIVES AND VL11

Key words: electric locomotive wheelset, bandage, wear, comparison, analysis.

The article presents the results of a comparative analysis of the wear of the tires wheelset locomotives 2ES6 and VL11 with different profiles when operating on the ground Sverdlovsk and West-Siberian Railways.

#### A.P. Buinosov, A.M. Kislitsyn DETERMINATION OF PARAMETERS OF WHEELPAIR AT MOTION OF ELECTRIC LOCOMOTIVE BY MEANS OF MEASURING SYSTEM ASOK-L

Key words: electric locomotive, motion, wheelpair, parameter, determination, system, channel, measuring. In the article considered using one of methods of determination of parameters of wheelpair ultrasonic measuring channels of the system ASOK-L at motion of electric locomotive on the basis of the use of noncontact methods of measuring.

#### A.P. Buinosov, N.G. Fetisova RESTORATION OF RIMS WHEEL INDUSTRIAL ELECTRIC LOCOMOTIVES WITH SURFACING

Key words: electric locomotive, complete wheel set, bandage, performance, repair, welding.

This article discusses the installation and the results of research on disaster recovery technology wire rod Mills industrial electric locomotives by surfacing without rolling wheelset.

# А.М. Васильев, В.К. Гарипов, В.В. Слепцов ВОПРОСЫ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ В ИНФОРМАЦИОННО - ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ И УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМАХ ГИБКИХ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ПРОИЗВОДСТВ

Ключевые слова: обработка данных, информационноизмерительные и управляющие системы, информационно-вычислительные процессы, гибкие автоматизированные производства.

В статье рассмотрены вопросы обработки данных в информационно-измерительных и управляющих системах гибкого автоматизированного производства. Показано, что основным направлением для повышения эффективности функционирования требуется оптимизировать информационно вычислительные процессы в таких системах.

Предложен формализованный комплекс математических моделей оптимального распределения задач по элементам систем.

### В.В. Воронцов, А.В. Набоков, В.П. Овчинников, С.А. Твердохлеб

#### РЕЗУЛЬТАТЫ КОМПРЕССИОННОГО СЖАТИЯ СЛАБЫХ ВОДОНАСЫЩЕННЫХ ГЛИНИСТЫХ МАКРООБРАЗЦОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ «ГРУНТОВОГО ЗАМКА»

Ключевые слова: макрообразец из слабого водонасыщенного глинистого грунта, «грунтовый замок», поровое давление.

В работе дается описание методики проведения эксперимента по исследованию консолидации слабого водонасыщенного глинистого грунта нарушенной структуры с применением «грунтового замка» в условиях компрессионного сжатия. Приводятся его результаты и выводы для планирования дальнейших экспериментов.

## В.А. Глушков, Н.А. Бухтоярова, В.В. Бухтояров ГЕТЕРОГЕННЫЕ КОЛЛЕКТИВЫ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ЗАДАЧ МОДЕЛИРОВАНИЯ

Ключевые слова: моделирование, эволюционные алгоритмы, генетическое программирование, коллективные интеллектуальные методы, нейронные сети.

В статье представлены результаты разработки и исследования подхода к решению задач моделирования, в основе которого лежит использование гетерогенных (неоднородных по составу) коллективов моделей. Каждая из моделей реализуется на основе отдельного типа интеллектуальных технологий анализа данных искусственных нейронных сетей, генетического программирования, машин опорных векторов. Приведены результаты численных исследований эффективности предлагаемого подхода на наборе тестовых задач.

## И.В. Гуляев, А.В. Волков, А.А. Попов, Е.Н. Белкина ЭЛЕКТРОПРИВОД НА БАЗЕ АСИНХРОНИЗИРОВАННОГО ВЕНТИЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ

Ключевые слова: асинхронизированный вентильный двигатель, электропривод, преобразователь частоты, система управления.

#### A.M. Vasilyev, V.K. Garipov, V.V. Slepsov ISSUES OF DATA PROCESSING IN INFORMATION - MEASURING AND CONTROL SYSTEMS FLEXIBLE AUTOMATED MANUFACTURING

Keywords: data processing, information-measuring and control systems, information technology processes, flexible automated production.

In the article the questions of data processing in information-measuring and control systems for the flexible automated manufacturing. It is shown that the main direction for increasing the efficiency of the operation you want to optimize computing processes in such systems. Proposed formal mathematical models of optimal allocation of tasks to system elements.

### V.V. Voroncov, A.V. Nabokov, V.P. Ovchinnikov, S.A. Tverdokhleb

### RESULTS OF COMPRESSION PRESSURE WEAK WATER-SATURATED CLAY MACRO SAMPLE USING THE "GROUND LOCK"

Keywords: macro sample of weak water-saturated clay soil, "ground lock", the pore pressure.

This paper presents methodology for conducting an experiment to study the consolidation of weak water-saturated clay soil disturbed structure using "ground lock" in condition of compression pressure. We presented findings and conclusions for planning further experiments.

#### V.A. Glushkov, N.A. Bukhtoyarova, V.V. Bukhtoyarov HETEROGENIOUS ENSEMBLES OF INTELLIGENT INFORMATION TECHNOLOGIES FOR SIMULATION PROBLEMS

Keywords: simulation, evolutionary algorithms, genetic programming, neural networks, intelligent ensemble techniques.

The results of research and development approach to address the problems of modeling, which is based on the use of heterogeneous (inhomogeneous composition) groups of models, are presented in the paper. Each model is implemented on the basis of a single type of intelligent data analysis techniques - artificial neural networks, genetic programming or support vector machines. The results of numerical studies of the effectiveness of the proposed approach on a set of test problems are listed.

#### I.V. Gulyaev, V.A. Volkov, A.A. Popov, E.N. Belkina BASED ELECTRIC ASYNCHRONOUS BRUSHLESS MOTOR

Keywords: asynchronized valve motor, electric drive, frequency converter, control system.

The paper considers current issues of energy efficiency

В работе рассматриваются актуальные вопросы энергоэффективности регулируемых повышения электроприводов. Одним из вариантов подобных электропривод базе систем является на асинхронизированного вентильного двигателя. Для электромеханического преобразования анализа традиционным является применение энергии различных систем моделирования, к которым можно отнести и PSIM. Представленные результаты моделирования говорят об адекватности модели и соответствии ее теоретическим положениям.

#### М.Л. Долженкова, Д.А. Страбыкин ЗАДАЧА АБДУКТИВНОГО ВЫВОДА СЛЕДСТВИЙ

Ключевые слова: абдуктивный логический вывод, множество следствий, факт, дополнительный факт, исчисление высказываний.

В работе даётся содержательная и формальная постановки задачи абдуктивного вывода логических следствий. Приведены примеры с использованием исчисления высказываний иллюстрирующие формальную постановку задачи. Определены наиболее характерные для использования абдуктивного вывода следствий области применения.

## А.И. Еникеев, Махфуд Билал Ахмед Мохаммед МОДЕЛИ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ПРОГРАММНЫХ ПРИЛОЖЕНИЙ НА ПРИМЕРЕ МЕНЮ-ДИАЛОГОВОЙ СИСТЕМЫ

Ключевые слова: модель, программные спецификации, взаимодействующие процессы, формализованные средства, диалоговые системы, технология программирования

В статье предлагается вариант описания модели меню - диалоговой системы на основе теории взаимодействующих процессов CSP. С помощью средств этой теории строятся спецификации функций управления меню — диалогом. Рассматриваются функции для завершения меню — диалога на любом шаге выполнения, функции, позволяющие вернуться к любому из предыдущих шагов меню — диалога, а также функции — переключатели.

# А.А. Жирнов РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО АЛГОРИТМА ОБРАБОТКИ ФАЙЛОВ ЭКСПЕРИМЕНТА И ЕГО ПРИМЕНЕНИЕ В МОДИФИЦИРОВАННОМ МЕТОДЕ МАЛОУГЛОВОГО РАССЕЯНИЯ

Ключевые слова: алгоритм, индикатриса рассеяния, модулированный сигнал.

В работе представлены алгоритм и результаты автоматизированной обработки файла эксперимента в модифицированном методе малоуглового рассеяния для определения дисперсных характеристик аэрозоля.

#### Н.С. Захаров, В.А. Ракитин ВЛИЯНИЕ ТИПА ТОПЛИВНОЙ АППАРАТУРЫ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АВТОМОБИЛЕЙ В НЕФТЕГАЗОДОБЫВАЮЩЕМ РЕГИОНЕ

Ключевые слова: методика оценки эффективности

adjustable electric drives. One of the variants of such systems is the electric drive based on the valve asynchronized motor. For the analysis of electromechanical energy conversion is the traditional use of various simulation systems, which can be attributed PSIM. The presented simulation results say about the adequacy of the model, and according to its theoretical positions.

#### M.L. Dolzenkova, D.A. Strabykin THE PROBLEM ABDUCTIVE INFERENCE CONSEQUENCES

Keywords: abductive inference, set of consequences, the fact, additional fact, propositional calculus.

In the article the substantive and formal statement of the problem abductive logical inference consequences. Examples are given to illustrate the use of the propositional calculus formal statement of the problem. The most typical for abductive conclusion consequences application.

#### A.I. Enikeev, Mahfoodh Bilal Ahmed Mohammed THE MODELS FOR SOFTWARE APPLICATION DEVELOPMENT ON THE EXAMLPE OF A MENU – SELECT INTERACTION SYSTEM

Keywords: model, program specification, communicating processes, formal tools, interactive system, programming technique.

This paper presents a model of a menu-select interaction system based on) theory of Communicating Sequential Processes (CSP). Based on this theory we create specifications of functions controlling menu — select interaction. We consider the functions for terminating or quitting a process, functions allowing the return to any of the previous steps, and switch-functions.

## A.A. Zhirnov DESIGNING COMPUTER-AIDED PROCESSING ALGORITHM FOR EXPERIMENT FILES AND ITS APPLICATION IN MODIFIED SMALL-ANGLE SCATTERING METHOD

Keywords: algorithm, scattering indicatrix, modulated signal.

The paper reports an algorithm and results for the computer-aided processing of the experiment file in the modified small-angle scattering method to measure disperse characteristics of an aerosol.

#### N.S. Zakharov, V.A. Rakitin INFLUENCE OF THE TYPE OF FUEL EQUIPMENT ON THE EFFICIENCY OF THE USE OF CARS IN THE OIL AND GAS REGION

Keywords: method of evaluating the effectiveness of the use of cars, gas equipment, alternative fuel, the cost of

использования автомобилей, газобаллонное оборудование, альтернативное топливо, себестоимость автомобильных перевозок, изменение трудоемкости текущего ремонта, изменение производительности автомобилей.

В статье изложена методика оценки эффективности использования автомобилей с двигателями, работающих по газодизельному циклу. Предложены корректирующие коэффициенты, учитывающие влияние газобаллонного оборудования на техникоэксплуатационные и экономические показатели автомобиля.

## А.В. Иващенко, И.А. Сюсин ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА РИТМИЧНОГО НАЗНАЧЕНИЯ РЕСУРСОВ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОГО ПРОЦЕССА РАЗРАБОТКИ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

Ключевые слова: разработка программного обеспечения, интегрированная информационная среда, ритмичное назначение, релиз.

решение R предлагается статье проблемы согласования потоков заявок на разработку версий программного обеспечения, а также проблемы адаптации к изменяющимся внешним условиям при построении процесса разработки программного обеспечения основе применения на ритмичного назначения ресурсов в интегрированной информационной среде.

# С.С. Капитонов, Н.Н. Беспалов, А.В. Капитонова, А.А. Ашрятов, Денис.Р. Кильмямятов, Диас.Р. Кильмямятов РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ СВЕТОДИОДА В СРЕДЕ MULTISIM

Ключевые слова: светодиод, модель, вольт-амперная характеристика, полупроводниковая структура, температура.

В статье рассмотрена разработанная в среде Multisim электрическая модель светодиода. Представлены результаты моделирования вольтамперной характеристики мощного светодиода при различных значениях температуры его полупроводниковой структуры. Сделаны выводы о возможности использования данной модели для исследования процессов, протекающих в реальных светодиодных лампах и светильниках.

# Р.Н. Каратаев, А.И. Сойко, А.И. Хрунина МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ РЕАЛИЗАЦИИ КОМПЛЕКТНОГО ПОДХОДА ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ПОВЕРКИ НЕИНВАЗИВНЫХ СФИГМОМАНОМЕТРОВ

Ключевые слова: неинвазивные сфигмоманометры, комплектная поверка, поэлементная поверка, погрешность поверки, достоверность.

В работе представлено математическое обоснование реализации комплектного подхода к проектированию поверочных установок неинвазивных сфигмоманометров. Проведен анализ и выявлен ряд достоинств комплектного перед поэлементным подходом при проведении поверки неинвазивных сфигмоманометров.

transportation, changing the laboriousness of maintenance, change of performance cars.

In article sets out the methodology of evaluation of effective exploitation of vehicles with engines running on methane-diesel cycle. Proposed correction factors

effective exploitation of vehicles with engines running on methane-diesel cycle. Proposed correction factors considering the effect of gas equipment on a technical and operational and economic performance of the trucks.

#### A.V. Ivaschenko, I.A. Syusin ASSIGNMENT BALANCING TECHNOLOGY FOR EFFECTIVE MANAGEMENT IN SOFTWARE DEVELOPMENT

Keywords: software development, integrated information space, assignment balancing, release.

It is proposed to solve the problem of order flows coordination in the process of development of new versions of software and adaptation to the changes of external conditions specific for a software development process. The solution is based on a new technology of assignment balancing of resources in integrated information space.

S.S. Kapitonov, N.N. Bespalov, A.V. Kapitonova, A.A. Ashryatov, Denis.R. Kilmyamyatov, Dias.R. Kilmyamyatov EVELOPMENT OF ELECTRIC MODEL OF LED II

### DEVELOPMENT OF ELECTRIC MODEL OF LED IN MULTISIM

Keywords: LED, model, current-voltage characteristic, semiconductor structure, temperature.

The article deals with developed environment Multisim electrical model of the LED. The simulation results of the current-voltage characteristics of LED with different values of temperature of its semiconductor structure. Conclusions about the possibility of using this model for investigation the processes, occurring in real LED lamps and lighting fixtures.

#### R.N. Karataev, A.I. Soyko, A.I. Hrunina MATHEMATICAL JUSTIFICATION OF THE IMPLEMENTATION OF A COMPLETE APPROACH TO VERIFICATION OF NON-INVASIVE SPHYGMOMANOMETERS

Keywords: non-invasive sphygmomanometers, complete verification, item calibration, accuracy of calibration, the validity of calibration.

The paper presents a mathematical justification of the implementation of a complete approach to the design verification installations non-invasive sphygmomanometers. The analysis identified a number of advantages complete before the element-by-element approach to verification of non-invasive sphygmomanometers.

# В.Н. Копчиков, А.В. Фоминых ВЛИЯНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТАНОЛА И МЕТИЛОВОГО ЭФИРА РАПСОВОГО МАСЛА НА СОДЕРЖАНИЕ ОКСИДОВ АЗОТА В ОТРАБОТАВШИХ ГАЗАХ ДИЗЕЛЯ 2Ч 10,5/12,0 В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ИЗМЕНЕНИЯ УСТАНОВОЧНЫХ УГЛОВ

Ключевые слова: дизель, альтернативное топливо, метиловый эфир рапсового масла, метанол, двойная система топливоподачи, оксиды азота.

В работе представлены результаты изучения влияния установочных углов опережения впрыска топлива на содержание оксидов азота в отработавших газах дизеля. В качестве объекта исследования был выбран дизельный двигатель 2Ч 10.5/12.0 работающий на метаноле и метиловом эфире рапсового масла с использованием двойной системы топливоподачи.

#### Г.И. Лавров, И.Г. Лавров АВТОМАТИЗАЦИЯ ПОСТРОЕНИЯ ПОВЕРХНОСТИ ВОДО-НЕФТЯНОГО КОНТАКТА ЗАЛЕЖЕЙ ДЛЯ ТРЕХМЕРНЫХ ЦИФРОВЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ

Ключевые слова: трехмерное моделирование, водонефтяной контакт, алгоритм.

Разработаны алгоритмы, позволяющие автоматизировать выравнивание поверхности водонефтяного контакта для цифровых трехмерных геологических моделей. Составлена программа для определения возможных сдвижек отметок ВНК в скважинах (введением поправок в инклинометрию либо изменением характера насыщения коллекторов). Программа апробирована при построении геологической модели трех пластов с фондом скважин более 1000.

#### Т.Ф. Мамедова, Е.А. Черноиванова АСИМПТОТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ

Ключевые слова: асимптотическая эквивалентность, дифференциальные уравнения, математические модели, электрические цепи.

В статье рассматриваются электрические цепи, для которых создаются математические модели. Эти модели решаются методом сравнения Е.В.Воскресенского с использованием уравнений сравнения - обыкновенных дифференциальных уравнений.

## О.А. Перегудова, Е.А. Кудашова МЕТОД ВЕКТОРНЫХ ФУНКЦИЙ ЛЯПУНОВА В ЗАДАЧЕ ОБ АСИМПТОТИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ РАЗНОСТНЫХ СИСТЕМ

Ключевые слова: разностное уравнение, нелинейная вариация параметров, асимптотическая устойчивость, метод предельных уравнений, система сравнения.

В работе получена теорема о локализации положительного предельного множества ограниченного решения неавтономной системы разностных уравнений. Дано решение задачи об асимптотической устойчивости невозмущенной

# V.N. Kopchikov, A.V. Fominih THE EFFECT OF APPLYING METHANOL AND RAPESEED METHYL ESTER ON NITROGEN OXIDES IN THE EXHAUST GASES OF ENGINE 2CH 10.5 / 12.0 DEPENDING ON CHANGES IN THE SET ANGLES TIMING OF INJECTION

Key words: Diesel, alternative fuels, rapeseed methyl ester, methanol, dual fuel supply system, nitrogen oxides. The article presents the results of studying the influence of the setting angles timing of injection on the content of nitrogen oxides in the exhaust gas of a diesel engine. The object of investigation was chosen diesel engine 2ch 10.5 / 12.0 running on methanol and rapeseed methyl ester using dual fuel system.

#### G.I. Lavrov, I.G. Lavrov AUTOMATION OF THE SURFACE BUILDING OF THE OIL-WATER CONTACT DEPOSITS FOR 3D DIGITAL GEOLOGICAL MODELS

Keywords: 3D modeling, oil-water contact, the algorithm.

Algorithms enabling to automate the smoothing of the surface of the oil-water contact (OWC) for digital 3D geological models have been developed. A program for identifying of the probable motions of the marks of the OWC in the wells (by application of correction in the deviation survey either by changing the nature of the reservoir saturation) is made. The program has been tested for the construction of geological model of the three zones with the Fund wells more than 1000.

#### T.F. Mamedova, E.A. Chernoivanova ASYMPTOTIC PROPERTIES OF MATHEMATICAL MODELS OF ELECTRICAL CIRCUITS

Key words: asymptotic equivalence, differential equations, mathematical models, electrical circuits. The article discusses the electrical circuit, to create a mathematical model. These models are solved by the method of comparison of the E.V. Voskresensky of the resurrection using the equations comparison of ordinary differential equations.

#### O.A. Peregudova, E.A. Kudashova METHOD OF LYAPUNOV VECTOR FUNCTIONS IN THE PROBLEM ON ASYMPTOTIC STABILITY OF DIFFERENCE SYSTEMS

Keywords: difference equation, nonlinear variation of parametres, asymptotic stability, method of limiting equations, comparison system.

In this paper we propose the theorem on localization of the positive limit sets of bounded solutions of a nonautonomous system of difference equations. The solution of the problem of asymptotic stability of the unperturbed system of difference equations is obtained on the base of construction of the vector Lyapunov системы разностных уравнений на основе построения вектор-функций Ляпунова и применения предельных уравнений.

## А.В. Петров, А.П. Котельников, И.В. Плохов ДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ АСИНХРОННОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ МАШИНЫ С УЧЕТОМ КОНСТРУКЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ

Ключевые слова: математическая модель; динамическое моделирование; асинхронная машина; переходные процессы; конструкционные параметры. В работе представлены результаты разработки и реализации в среде программирования МАТLAВ динамической имитационной модели асинхронной машины. В модели учтены конструкционные параметры обмоток статора и ротора, а также геометрические размеры машины. Приведены результаты вычислительного эксперимента.

#### М.В. Пономарёв

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ФАЙЛОВ ФОРМАТА STEP В ПРОЦЕССЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ. ОСОБЕННОСТИ, ПРОБЛЕМЫ, РЕАЛИЗАЦИЯ

Ключевые слова: STEP файл, автоматизированное технологическое проектирование, извлечение исходных данных, алгоритм «STEP Extractor».

работе представлены результаты изучения разработанные возможности механизмы использования файлов формата STEPв части получения исходных данных для процесса автоматизированного проектирования механообработки. технологических процессов Описано разработанное приложения «STEPex v.1.0» и алгоритм «STEP Extractor».

## С.П. Санников, А.А. Жигайлов, В.С. Андреев ВЛИЯНИЕ МАТЕРИАЛОВ СЕРИИ «ТИПРОМ» И «ПЕНЕТРОН» НА СВОЙСТВА ЦЕМЕНТОГРУНТА, ПРИМЕНЯЕМОГО В ДОРОЖНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Ключевые слова: цементогрунт, дорожная одежда, гидрофобизатор, прочность, водопоглощение. В работе представлены результаты влияния материалов серии «Типром» и «Пенетрон» на свойства цементогрунта.

#### А.А. Тестешев, Е.Н. Легостаева ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИНТЕНСИВНОСТИ ДВИЖЕНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ НА ВНЕШНИХ ВХОДНЫХ ДОРОГАХ Г. ТЮМЕНИ ЭКСПРЕСС-МЕТОДОМ

Ключевые слова: среднегодовая суточная интенсивность движения, экспресс-метод определения интенсивности движения, коэффициент перевода часовой интенсивности.

В статье представлена региональная экспрессметодика определения интенсивности движения на внешних входных дорогах крупного города.

functions and application of the limit equations.

#### A.V. Petrov, A.P. Kotelnikov, I.V. Plohov DYNAMIC MODELLING OF AN INDUCTION MACHINE WITH CONSIDERING THE CONSTRUCTION PARAMETERS

Keywords: mathematical model, dynamic modelling, induction machine, transient processes, construction parameters.

This paper gives the results of development and implementation of dynamic simulation model of induction machine in the programming environment MATLAB. Considered are construction parameters of stator and rotor windings, as well as geometric dimensions of the machine. The results of the computing modelling are given.

# M.V. Ponomarev THE USE OF STEP FILES IN THE PROCESS OF AUTOMATED TECHNOLOGICAL DESIGN. PECULIARITY, DIFFICULTIES, IMPLEMENTATION

Keywords: STEP file, automated process design, extraction of the initial data, «STEP Extractor» algorithm

This paper presents the feasibility study and developed mechanisms of using STEP files for the receipt of the initial data for the automated design process of technological processes of machining. It was described the «STEPex v.1.0» application and «STEP Extractor» algorithm.

#### S.P. Sannikov, A.A. Zhigailov, V.S. Andreev EFFECT OF MATERIAL SERIES "TIPROM" AND "PENETRON" ON THE PROPERTIES OF GROUND STRENGTHENED BY CEMENT IN ROAD CONSTRUCTION

Keywords: ground strengthened by cement, pavement, water repellent, strength, water absorption.

In work results of studying the effect of a series of materials "Tiprom" and "Penetron" on properties of ground strengthened by cement are presented.

#### A.A. Testeshev, E.N. Legostaeva DETERMINING THE INTENSITY OF TRAFFIC AT THE EXTERNAL ENTRANCE ROAD TYUMEN EXPRESS METHODS

Keywords: annual average daily traffic volumea rapid method of determining the traffic intensity, the intensity ratio of the clock.

The article provides a regional rapid method of determining the intensity of traffic at the external input of a large city roads.

#### А.Ю. Тужилкин СЕГМЕНТАЦИЯ СПУТНИКОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ МЕСТНОСТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СПЕКТРАЛЬНОЙ ТЕОРИИ ГРАФОВ

Ключевые слова: сегментация изображений, спектральная теория графов, разрезы на графах. В статье рассматривается задача сегментации изображений. Для сегментации используется спектральная теория графов. Изображение представлено в виде взвешенного графа. Узлами графа являются пиксели, ребра представляют связи между Разрезы применяются пикселями. графа пикселей некоторой отнесения к области изображения. Представлены результаты работы алгоритма при обработке спутниковых изображений местности.

#### A.Y. Tuzchilkin SEGMENTATION OF SATELLITE IMAGERY AREAS WITH THE USE OF SPECTRAL GRAPH THEORY

Keywords: image segmentation, spectral graph theory, graph cuts.

The problem of image segmentation is considered in the article. Spectral graph theory is used for segmentation. The image is represented as a weighted graph. Pixels are the nodes of the graph, edges represent connection between pixels. Graph cuts used to assign pixels to some area of the image. The results of the algorithm are presented in the processing of satellite imagery areas.

#### Публичный лицензионный договор-оферта о правах на статью

Редакция журнала «Научно-технический вестник Поволжья» предлагает Вам присылать свои статьи для публикации на страницах журнала, а также на сайте Научной электронной библиотеки (НЭБ). Предоставление Автором своего произведения является полным и безоговорочным акцептом, т.е. данный договор считается заключенным с соблюдением письменной формы. Присылая для публикации произведение, Автор также предоставляет Редакции журнала права на использование произведения и гарантирует, что он обладает достаточным объемом прав на передаваемое произведение. Также Автор предоставляет редакции журнала право переуступить на договорных условиях частично или полностью полученные по настоящему Договору права третьим лицам без выплаты Автору вознаграждения. Все авторские права регулируются в соответствии с действующим законодательством России.

#### Договор публичной оферты по обработке персональных данных

В процессе осуществления выпуска журнала "Научно-технический вестник Поволжья" ООО "Научно-технический вестник Поволжья" осуществляется обработка персональных данных, предоставленных авторами статей в рамках сообщения своих регистрационных данных для осуществления публикации в журнале (имя, фамилия, отчество, адрес автора, контактный телефон и е-mail приводятся в регистрационной форме, заполняемой авторами при отправке статьи в журнал). Обработка осуществляется редакцией журнала для целей надлежащей отправки журнала автору и возможности связи с автором лиц, заинтересованных в результатах труда автора статьи. Под обработкой персональных данных в контексте настоящего согласия понимаются действия редакции по сбору, систематизации, накоплению, хранению, использованию, распространению, уничтожению персональных данных, а также действия по их дальнейшей обработке с помощью автоматизированных систем управления базами данных, и иных программных средств, используемых редакцией журнала. Настоящее согласие автора на обработку персональных данных является бессрочным и может быть отозвано в любой момент путем отказа автора от получения журнала и дальнейшей обработки его персональных данных.

#### НАУЧНОЕ ИЗДАНИЕ

### НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ВЕСТНИК ПОВОЛЖЬЯ

#### **№**1 2015

#### Направления:

#### ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

#### www.ntvp.ru

Свидетельство № ПИ № ФС77-41672 от 13 августа 2010г.

Подписано в печать 20.02.2015 Формат 60 х 84 1/8. Печать цифровая.

7,9 усл.печ.л. 9,2 уч.изд.л. Тираж 900 экз. Заказ 1698.

Учредитель: ООО "Научно-технический вестник Поволжья" 420111, Республика Татарстан, Казань, ул. Университетская, д.22, оф. 310 Адрес редакции, издателя и типографии совпадают с адресом учредителя Цена свободная.

© Научно-технический вестник Поволжья

тел.(843) 216-30-35

факс:(843) 238-32-08

Отпечатано с готового оригинал-макета

ООО «Научно-технический вестник Поволжья»