

**НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ  
ВЕСТНИК  
ПОВОЛЖЬЯ**

**№2 2017**

**Направления:**

**01.01.00 — ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ — МАТЕМАТИКА**

**02.00.00 — ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ**

**05.02.00 — ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — МАШИНОСТРОЕНИЕ И  
МАШИНОВЕДЕНИЕ**

**05.11.00 — ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — ПРИБОРОСТРОЕНИЕ,  
МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ  
ПРИБОРЫ**

**05.13.00 — ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — ИНФОРМАТИКА,  
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ**

**Казань**

**2017**

**УДК 60**

**ББК 30-1**

**Н-66**

**Н-66** Научно-технический вестник Поволжья. №2 2017г. – Казань:  
Научно-технический вестник Поволжья, 2017. – 146 с.

**ISSN 2079-5920**

**DOI: 10.24153/2079-5920-2017-7-2**

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.ntvr.ru](http://www.ntvr.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

*С.В. Анаников – д.т.н., проф.; Т.Р. Дебердеев – д.т.н., проф.; Б.Н. Иванов – д.т.н., проф.;*

*В.С. Минкин – д.х.н., проф.; А.Н. Николаев – д.т.н., проф.; В.К. Половняк – д.х.н., проф.;*

*П.П. Суханов – д.х.н., проф.; В.Ф. Тарасов – д.ф.-м.н., проф.; Х.Э. Харлампиди – д.х.н., проф.*

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

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

**УДК 60**

**ББК 30-1**

**ISSN 2079-5920**

**© Научно-технический вестник Поволжья, 2017 г.**

## СОДЕРЖАНИЕ

**01.01.00 — ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ — МАТЕМАТИКА**

- А.Г. Мясников* О КОМПОНЕНТАХ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ АМЕНАБЕЛЬНОСТИ В  $L^1(G)$ -МОДУЛЯХ 8

**05.02.00 — ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ**

- А.Ю. Барыкин, Р.Р. Басыров, М.М. Мухаметдинов* ОСНОВНЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ ТРЕБОВАНИЙ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ 13
- А.П. Буйносков* БЕСКОНТАКТНОЕ ИЗМЕРЕНИЕ БАНДАЖЕЙ КОЛЕСНЫХ ПАР ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА 16
- Н.С. Галимов, Р.Т. Насибуллин, Л.Р. Саримов, А.Н. Сущикова* ВОЗМОЖНОСТИ МОДУЛЬНОЙ КОНСТРУКЦИИ АЭРОЭЛЕКТРОГЕНЕРАТОРНЫХ УСТАНОВОК ДЛЯ АВТОРЕФРИЖЕРАТОРОВ 19
- А.О. Карелин, Э.А. Петровский, В.Б. Ясинский* ОЦЕНКА ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ КОНСТРУКЦИИ ФИЛЬТРОЭЛЕМЕНТА СКВАЖЕННЫХ ФИЛЬТРОВ ДЛЯ НЕФТЕДОБЫЧИ 22
- И.И. Некрасов, А.П. Карамышев, А.А. Федулов, В.С. Паршин, А.И. Дронов, В.А. Хорев* ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСИЛИЯ ОБРАТНОГО ХОДА ПУАНСОНА ПРИ НАРУЖНОЙ ВЫСАДКЕ КОНЦОВ НАСОСНО-КОМПРЕССОРНЫХ ТРУБ 25
- И.Н. Сидоров, А.В. Горелов, Д.А. Булашов* ВЫЧИСЛЕНИЕ И СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ КОЭФФИЦИЕНТОВ ЖЕСТКОСТИ ПЛАСТИНЧАТЫХ И МЕМБРАННЫХ СОЕДИНЕНИЙ МУФТ ГАЗОПЕРЕКАЧИВАЮЩИХ АГРЕГАТОВ 28
- А.Р. Фардеев, А.А. Фардеев, А.М. Абдуллина* АНАЛИЗ СОВМЕСТНОЙ РАБОТЫ НАСОСА МАНИПУЛЯТОРА И ТРУБОПРОВОДА 36

**05.11.00 — ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ**

- Н.Н. Беспалов, Ю.В. Горячкин, Д.В. Тундыков* УСТРОЙСТВО ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВОЛЬТ-АМПЕРНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ СИЛОВЫХ ДИОДОВ В СОСТОЯНИИ ВЫСОКОЙ ПРОВОДИМОСТИ 39
- Н.Н. Беспалов, С.С. Капитонов, М.В. Ильин, А.В. Евишев, А.В. Зорькин* ВЫЯВЛЕНИЕ ИНФОРМАТИВНОГО ПАРАМЕТРА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОТЕНЦИАЛЬНО НЕНАДЕЖНОГО ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО ПРИБОРА В ГРУППОВОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЙ ЦЕПИ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ 43
- Х.М. Гукетлов, М.И. Бжахов, Т.З. Карданов, А.Н. Шогенов* К РАСЧЕТУ ОТРАЖЕННОГО СВЕТА ОТ ФАСАДОВ ПРОТИВОСТОЯЩИХ ЗДАНИЙ 47
- Г.М. Мучкаева, М.Б. Нахаев, Д.В. Федельский, Н.М. Кикеев* СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ ПРИ НАЛИЧИИ СЛУЧАЙНЫХ ПОГРЕШНОСТЕЙ 50
- Т.Р. Сахбиев, О.Г. Морозов, И.И. Нуреев, А.Ж. Сахабутдинов, Д.И. Касимова* ПОЛИГАРМОНИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ТОЛЩИНЫ ТОНКИХ ПЛЕНОК 53
- Ю.И. Шакиров, Л.Н. Кашафутдинова, Р.И. Валиев* РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА АВТОМАТИЧЕСКОЙ КОМПЕНСАЦИИ ПОГРЕШНОСТЕЙ ТРАНСФОРМАТОРОВ НАПРЯЖЕНИЯ 56

**05.13.00 — ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ  
ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ**

<i>А.И. Акимов</i> ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕРМОНАПРЯЖЕНИЙ И ДЕФОРМАЦИЙ ПРИ ФРОНТАЛЬНОМ ОТВРЕЖДЕНИИ ОСЕСИММЕТРИЧНЫХ ПОЛЫХ ИЗДЕЛИЙ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ФОРМЫ	59
<i>И.А. Акимов, Б.К. Жумашева</i> ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ТРЕТЬЕГО ЭТАПА ПРОИЗВОДСТВА КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ В УСТАНОВКАХ ШОЛЬЦА	63
<i>А.И. Акимов, В.Н. Козлов</i> МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕРМОНАПРЯЖЕНИЙ ПРИ ФРОНТАЛЬНОМ ОТВЕРЖДЕНИИ ПОЛЫХ ОСЕСИММЕТРИЧНЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ	68
<i>С.Б. Андреев, В.В. Шведенко</i> МОДЕЛИРОВАНИЕ ИНТЕГРАЛЬНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ОБЪЕКТНО-ПРОЦЕССНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЕМ	71
<i>С.С. Буденков</i> СЕМАНТИЧЕСКИЕ ВЕКТОРНЫЕ МОДЕЛИ ТЕКСТОВ ДЛЯ АНАЛИЗА ТОНАЛЬНОСТИ	75
<i>Е.И. Васильева, В.О. Каледин, Е.В. Равковская</i> ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ДЛЯ РАСЧЁТА ДВИЖЕНИЯ ВОЗДУХА В ГИБКИХ ВОЗДУХОПРОВОДАХ ШАХТНОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ	79
<i>Е.И. Васильева, Е.В. Равковская</i> ТЕПЛОВОЙ ЭФФЕКТ ОБРАТИМОЙ И НЕОБРАТИМОЙ ДЕФОРМАЦИИ ПРИ КВАЗИСТАТИЧЕСКОМ НАГРУЖЕНИИ ОДНОНАПРАВЛЕННО АРМИРОВАННОГО КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА	84
<i>А.С. Викторов</i> ХРАНИЛИЩЕ ГЕОПРОСТРАНСТВЕННЫХ ДАННЫХ ТРИАНГУЛЯЦИОННОЙ НЕРЕГУЛЯРНОЙ СЕТКИ	87
<i>П.А. Воронцов, А.С. Смолярчук</i> АНАЛИЗ ВЗАИМОЗАВИСИМОСТИ СИСТЕМЫ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ И СИСТЕМЫ МЕНЕДЖМЕНТА ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ИХ РЕАЛИЗАЦИИ В КРЕДИТНО-ФИНАНСОВОМ УЧРЕЖДЕНИИ	90
<i>Е.С. Вячкин, С.М. Аульченко, В.О. Каледин, Е.А. Вячкина</i> МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕЧЕНИЯ ВЯЗКОЙ СЛОИСТОЙ СРЕДЫ ПРИ ПУЛТРУЗИОННОМ ФОРМОВАНИИ КОМПОЗИТНЫХ ТРУБ	93
<i>Л.А. Галиуллин</i> МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЖИМОВ ДИАГНОСТИКИ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ НА БАЗЕ НЕЙРОННОЙ СЕТИ	96
<i>В.И. Зеленская, Е.А. Солдатова</i> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ PASSWORD-МЕНЕДЖЕРОВ В КОРПОРАТИВНЫХ СЕТЯХ	99
<i>А.С. Исаев, Д.И. Муллагалиев, С.С. Павлов</i> ГРАНИЦЫ ПРИМЕНИМОСТИ ТЕОРИИ НЕЧЕТКИХ МНОЖЕСТВ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ АУДИТА ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ	102
<i>А.С. Исаев, С.А. Носков, Е.А. Хлюпина</i> ПРИНЯТИЕ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ВОЗНИКНОВЕНИЯ УГРОЗ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ НА ОСНОВЕ ТЕОРИИ НЕЧЕТКИХ МНОЖЕСТВ	105
<i>А.А. Козлов, И.Н. Боровик, Е.А. Строкач</i> ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА В КАМЕРЕ СГОРАНИЯ РАКЕТНОГО ДВИГАТЕЛЯ МАЛОЙ ТЯГИ	109
<i>А.В. Куралесов, С.С. Павлов, Е.А. Хлюпина</i> ОСОБЕННОСТИ ПРАКТИЧЕСКОГО ПРИМЕНЕНИЯ ТЕОРИИ НЕЧЕТКИХ МНОЖЕСТВ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ АУДИТА ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В ТИПОВОЙ ОРГАНИЗАЦИИ	113
<i>А.О. Махорин, А.М. Станкевич</i> МОДЕЛЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РЕСУРСОВ ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧ АГРЕГИРОВАННОГО ПЛАНИРОВАНИЯ	116

<i>А.О. Махорин, А.М. Станкевич</i> ФОРМИРОВАНИЕ БАЗОВОЙ МОДЕЛИ ДАННЫХ ДЛЯ АГРЕГИРОВАННОГО ПЛАНИРОВАНИЯ	121
<i>Я.И. Фальконе, Г.П. Жигулин</i> АНАЛИЗ МЕТОДОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ УГРОЗ В СОЦИАЛЬНЫХ СЕТЯХ	125
<i>М.Б. Шевырев, Е.Г. Шевырева</i> ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ УГРОЗ БЕЗОПАСНОСТИ ПЕРСОНАЛЬНЫХ ДАННЫХ МЕТОДОМ ВВЕДЕНИЯ ВЕСОВЫХ КОЭФФИЦИЕНТОВ	128
<i>О.В. Щекочихин, В.В. Шведенко, Д.Н. Тимофеев</i> СНИЖЕНИЕ СЛОЖНОСТИ ЭКСПЕРТНОЙ ОЦЕНКИ АЛЬТЕРНАТИВ В МЕТОДЕ АНАЛИЗА ИЕРАРХИЙ	132
<b>АННОТАЦИИ</b>	135

**THE RELEASE MAINTENANCE****01.01.00 — PHYSICAL AND MATHEMATICAL SCIENCES — MATHEMATICS**

*A.G. Myasnikov* ON RELATIVE AMENABILITY COMPONENTS IN  $L^1(G)$ -MODULES 8

**05.02.00 — TECHNICAL SCIENCES — MECHANICAL ENGINEERING AND ENGINEERING SCIENCE**

*A.Yu. Barykin, R.R. Basyrov, M.M. Mukhametdinov* KEY EVENTS FOR THE REQUIREMENTS OF ENVIRONMENTAL PERFORMANCE VEHICLES 13

*A.P. Buinosov* CONTACTLESS MEASUREMENT OF BANDAGES OF WHEELPAIRS OF THE ROLLING STOCK 16

*N.S. Galimov, R.T. Nasibullin, L.R. Sarimov, A.N. Sushchikova* THE POSSIBILITY OF MODULAR CONSTRUCTION OF AERO-ELECTRIC GENERATOR FOR REFRIGERATOR TRUCK 19

*A.O. Karelin, E.A. Petrovskiy, V.B. Yasinskiy* ASSESSMENT OF TECHNOLOGICAL EFFECTIVENESS OF THE DESIGN OF THE FILTER ELEMENT OF BOREHOLE FILTERS FOR OIL PRODUCTION 22

*I.I. Nekrasov, A.P. Karamyshev, A.A. Fedulov, V.S. Parshin, A.I. Dronov, V.A. Khorev* THE DEFINITION OF THE PLUNGER BACKSTROKE FORCE DURING THE OUTER UPSET PROCESS OF TUBING PIPES ENDS 25

*I.N. Sidorov, A.V. Gorelov, D.A. Bulashov* THE CALCULATION AND COMPARATIVE ANALYSIS COEFFICIENTS OF STIFFNESSES OF PLATE AND MEMBRANE CONNECTIONS OF COUPLINGS OF GAS-PUMPING UNITS 28

*A.R. Fardeyev, A.A. Fardeyev, A.M. Abdullina* THE ANALYSIS OF THE COOPERATION OF PUMP MANIPULATOR AND THE PUMPLINE 36

**05.11.00 — TECHNICAL SCIENCES — INSTRUMENTATION, METROLOGY AND INFORMATION-MEASURING DEVICES**

*N.N. Bespalov, Y.V. Goryachkin, D.V. Tundykov* DEVICE FOR DETERMINING THE VOLT-AMPPER CHARACTERISTICS OF POWER DIODES IN THE CONDITION OF HIGH CONDUCTIVITY 39

*N.N. Bespalov, S.S. Kapitonov, M.V. Ilyin, A.V. Evishev, A.V. Zorkin* DETECTION OF INFORMATIVE PARAMETER FOR DETERMINATION OF POTENTIALLY UNRELIABLE SEMICONDUCTOR DEVICE IN GROUP SEQUENCING CHAIN OF CONVERTER 43

*H.M. Gouketlov, M.I. Bzhakhov, T.Z. Kardanov, A.N. Shoggenov* TO CALCULATION OF REFLECTED LIGHT FROM THE FACADES OF ANTIBUILDING BUILDINGS 47

*G.M. Muchkaeva, M.B. Nahaev, D.V. Fegelski, N.M. Kikeev* IMPROVING METHODS INCREASE THE PRECISION OF MEASUREMENTS SUBJECT TO RANDOM ERRORS 50

*T.R. Sakhbiev, O.G. Morozov, I.I. Nureev, A.J. Sakhabutdinov, D.I. Kasimova* POLY HARMONIC MONITORING OF THIN FILM THICKNESS 53

*Yu.I. Shakirov, L.N. Kashafutdinova, R.I. Valiev* MAKING OF THE DEVICES FOR ERRORS AUTOMATIC COMPENSATION IN THE VOLTAGE TRANSFORMERS 56

**05.13.00 — TECHNICAL SCIENCES — COMPUTER SCIENCE, COMPUTER ENGINEERING AND MANAGEMENT**

*A.I. Akimov* RESEARCH THERMAL STRESSES AND DEFORMATION IN THE FRONTAL OTVREZHDENII AXISYMMETRIC HOLLOW BODIES OF CYLINDRICAL SHAPE 59

<i>I.A. Akimov, B.K. Jumasheva</i> RESEARCH AND DEVELOPMENT OF MATHEMATICAL MODEL OF THE THIRD STAGE OF KOMPOSITIONAL MATERIALS IN PLANTS SCHOLZ	63
<i>A.I. Akimov, V.N. Kozlov</i> SIMULATION OF THERMAL STRESSES IN THE FRONTAL CURING HOLLOW OSESIMETRICHNYH CYLINDRICAL PRODUCTS	68
<i>S.B. Andreev, V.V. Shvedenko</i> INTEGRATED INDICATORS MODELING OF OBJECT-PROCESS ENTERPRISE MANAGEMENT SYSTEM	71
<i>S.S. Budenkov</i> SEMANTIC WORD VECTOR MODELS FOR SENTIMENT ANALYSIS	75
<i>E.I. Vasileva, V.O. Kaledin, E.V. Ravkovskaya</i> APPLICATION OF FINITE ELEMENT METHOD FOR CALCULATION OF AIR MOTION IN FLEXIBLE AIR VEHICLES OF MINE VENTILATION	79
<i>E.I. Vasileva, E.V. Ravkovskaya</i> THERMAL EFFECT OF REVERSE AND NON-RISE DEFORMATION IN QUASISTATIC LOADING OF ONE-REGULATED REINFORCED COMPOSITE MATERIAL	84
<i>A.S. Viktorov</i> IMPLEMENTATION OF DATA WAREHOUSE PURPOSED FOR STORING GEOSPATIAL DATA, REPRESENTED AS A TRIANGULATED IRREGULAR NET TIN	87
<i>P.A. Vorontsov, A.S. Smolyarchuk</i> ANALYSIS OF THE INTERDEPENDENCE OF THE INFORMATION PROTECTION SYSTEM AND THE INFORMATION SECURITY MANAGEMENT SYSTEM IN THEIR IMPLEMENTATION IN THE FINANCIAL INSTITUTION	90
<i>E.S. Vyachkin, S.M. Aulchenko, V.O. Kaledin, E.A. Viachkina</i> SIMULATION OF VISCOSITY OF VISCOUS LAYERED ENVIRONMENT AT PULTRUSION FORMATION OF COMPOSITE PIPES	93
<i>L.A. Galiullin</i> MODELING OF INTERNAL COMBUSTION ENGINES TEST MODES BASED ON NEURAL NETWORK	96
<i>V.I. Zelenskaya, E.A. Soldatova</i> USING PASSWORD MANAGERS IN CORPORATE NETWORKS	99
<i>A.S. Isaev, D.I. Mullagaliev, S.S. Pavlov</i> SCOPES OF APPLICABILITY OF THE THEORY OF FUZZY SETS IN THE AUDIT OF INFORMATION SECURITY	102
<i>A.S. Isaev, S.A. Noskov, E.A. Khlyupina</i> MAKING MANAGEMENT DECISIONS UNDER UNCERTAINTY OF INFORMATION SECURITY THREAT BASED ON FUZZY SET THEORY	105
<i>A. Kozlov, I. Borovik, E. Strokach</i> NUMERICAL MODELING OF WORKING PROCESS IN THE SMALL THRUST LIQUID ENGINE COMBUSTION CHAMBER	109
<i>A.V. Kuralesov, S.S. Pavlov, E.A. Khlyupina</i> FEATURES OF PRACTICAL APPLICATION OF THE THEORY OF FUZZY SETS IN INFORMATION SECURITY AUDIT IN A MODEL ORGANIZATION	113
<i>A.O. Mahorin, A.M. Stankevich</i> A RESOURCE CONSUMPTION MODEL FOR SOLUTION OF AGGREGATED PLANNING PROBLEMS	116
<i>A.O. Mahorin, A.M. Stankevich</i> FORMULATION OF A BASIC DATA MODEL FOR AGGREGATED PLANNING	121
<i>Ya.I. Falcone, G.P. Jigulin</i> ANALYSIS OF METHODS FOR MODELING THE SPREAD OF INFORMATION THREATS IN SOCIAL NETWORKS	125
<i>M.B. Shevyrev, E.G. Shevyreva</i> CORRECTION OF THE METHODOLOGY OF ESTIMATION OF THREATS OF INFORMATION SECURITY BY METHOD OF INTRODUCTION OF WEIGHT CONVENTIONS	128
<i>O.V. Schekochikhin, V.V. Shvedenko, D.N. Timofeev</i> REDUCING THE COMPLEXITY OF THE EXPERT EVALUATION OF ALTERNATIVES IN THE ANALYTIC HIERARCHY PROCESS	132
<b>ABSTRACTS</b>	135

**ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ — МАТЕМАТИКА (01.01.00)**

01.01.00

**А.Г. Мясников**

Московский государственный строительный университет,  
Институт фундаментального образования, кафедра прикладной математики,  
Москва, grubus@yandex.ru

**О КОМПОНЕНТАХ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ АМЕНАБЕЛЬНОСТИ В  $L^1(G)$ -МОДУЛЯХ****DOI:10.24153/2079-5920-2017-7-2-8-12**

*Рассматривается теория аменабельности применительно к банаховым  $L^1(G)$ -модулям. Вводится понятие компоненты относительной аменабельности, рассматривается связь с компонентами аменабельности и инвариантными средними. Указана возможность приложений к  $C^*$ -алгебрам.*

Ключевые слова:  $C^*$ -алгебра, инвариантное среднее, компонента относительной аменабельности, локально компактная группа,  $L^1(G)$ -модуль.

В настоящее время наблюдается повышенный интерес к аменабельным модулям [1, 2] и аменабельным представлениям [3], свойства которых в той или иной мере вписываются в классическую теорию аменабельных групп и алгебр. При этом в качестве инструмента используются инвариантные средние [4,5] и гомологические конструкции [6, 7]. В настоящей заметке рассматриваются относительные аменабельные свойства элементов в  $L^1(G)$ -модулях, с этой целью вводится понятие компоненты относительной аменабельности. Показана возможность применения полученных результатов к теории операторных алгебр.

Пусть  $G$  – локально компактная группа с левой мерой Хаара  $\lambda$ ,  $L^1(G)$  – банахова алгебра  $\lambda$ -измеримых комплекснозначных функций с нормой  $\|f\|_1 = \int_G |f| d\lambda$ , снабжённая свёрткой  $f * f(x) = \int_G f(xy^{-1}) d\lambda(y)$  в качестве умножения;  $L^\infty(G)$  – сопряжённое пространство к  $L^1(G)$ . Функционал  $m \in L^\infty(G)^*$  называется средним, если  $m(1) = m(1_G) = \|m\| = 1$ . Среднее  $m$  называется топологически левоинвариантным на подмножестве  $X = AL^\infty(G)$ , если  $m(\varphi * f) = m(f)$  для всех  $f \in X, \varphi \in P(G)$ .

Введём обозначение  $P(G) = \{\varphi \geq 0 : \|\varphi\|_1 = 1\}$ . Левый банахов  $L^1(G)$ -модуль  $M$  называется аменабельным, если существует сеть  $\{\varphi_\alpha\} \subset P(G)$  такая, что [8,9]

$$\lim_\alpha \|\varphi_\alpha(\varphi x - x)\|,$$

где  $x \in M, \varphi \in P(G)$ . Как известно, в  $M$  существует наибольший аменабельный подмодуль  $AM$ , называемый компонентой аменабельности в  $M$  [8]. Определим также билинейные отображения

$$M \times M^* \rightarrow L^\infty(G), (x, \omega) \mapsto x \circ_1 \omega;$$

$$L^\infty(G)^* \rightarrow M^*, (\omega, m) \mapsto \omega \circ_2 m,$$

определяемые равенствами  $x \circ_1 \omega(\varphi) = \omega(\varphi^* x)$ ,  $\omega \circ_2 m(x) = m(x \circ_1 \omega)$ , где  $x \in M, \omega \in M^*$ ,

$m \in L^\infty(G)^*, \varphi \in L^1(G)$ . Отметим, также, очевидное равенство  $(\varphi x) \circ_1 \omega = \varphi(x \circ_1 \omega)$ .

**Компоненты относительной аменабельности**

Пусть  $M$  – левый банахов  $L^1(G)$ -модуль,  $X \subset M$ . Множество элементов  $\omega \in M^*$  таких, что  $x \circ_1 \omega \in AL^\infty(G)$  для всех  $x \in X$ , обозначим  $X^\circ$ . Для произвольного  $\Omega \subset M^*$  множество  $\Omega^\circ \subset M$  определяется симметрично:  $\Omega^\circ = \{x \in M : x \circ_1 \omega \in AL^\infty(G) \text{ для всех } \omega \in \Omega\}$ . В случае  $X = \{x\}, \Omega = \{\omega\}$  будут использоваться обозначения  $x^\circ = \{x\}^\circ, \omega^\circ = \{\omega\}^\circ$ . Следует заметить, что  $\omega \circ_1 \hat{x} = (x \circ_1 \omega)^\sim$ , где  $x \mapsto \hat{x}, M \mapsto M^{**}$  – каноническое вложение и  $(x \circ_1 \omega)^\sim(t) = (x \circ_1 \omega)(t^{-1})$ .

Подмножество  $\Omega^\circ \subset M$  назовём компонентой аменабельности относительно  $\Omega$ . Очевидно,  $(M^*)^\circ = AM$ . Укажем простейшие свойства компонент относительной аменабельности, вытекающие непосредственно из определений.

**Лемма 2.1.** (i) Пусть  $X \subset Y (\Psi \subset \Omega)$ , тогда  $Y^\circ \subset X^\circ (\Omega^\circ \subset \Psi^\circ)$ ;

(ii)  $X \subset X^{\circ\circ} (\Omega \subset \Omega^{\circ\circ})$ ;

(iii)  $X^\circ = X^{\circ\circ\circ} (\Omega^\circ = \Omega^{\circ\circ\circ})$ ;

(iv) пусть  $\{X_\alpha\} (\{\Omega_\alpha\})$  – семейство подмножеств в  $M (M^*)$ . Тогда  $\bigcap_\alpha X_\alpha^\circ = (\bigcup_\alpha X_\alpha)^\circ$  ( $\bigcap_\alpha \Omega_\alpha^\circ = (\bigcup_\alpha \Omega_\alpha)^\circ$ ).

**Пример 2.2.** Рассмотрим прямую сумму  $M_1 \oplus M_2$  левых банаховых  $L^1(G)$ -модулей с нормой  $\|(x_1, x_2)\| = \|x_1\| + \|x_2\|$ . Пусть  $\varphi(x_1, x_2) = (\varphi x_1, \varphi x_2), \varphi \in L^1(G)$ . Тогда  $M_1 \oplus M_2$  является левым банаховым  $L^1(G)$ -модулем. Так как  $(x_1, x_2) \circ_1 (\omega_1, \omega_2) = x_1 \circ_1 \omega_1 + x_2 \circ_1 \omega_2$ , где  $\omega_i \in M_i^*$ , то следующие условия эквивалентны:

(i)  $(\omega_1, \omega_2)^\circ \subset (\sigma_1, \sigma_2)^\circ$ ;

(ii) если  $x_1 \circ_1 \omega_1 + x_2 \circ_1 \omega_2 \in AL^\infty(G)$ , то  $x_1 \circ_1 \sigma_1 + x_2 \circ_1 \sigma_2 \in AL^\infty(G)$ .

Таким образом,  $(0, \omega)^\circ \subset (0, \sigma)^\circ$  в том и только том случае, когда  $\omega^\circ \subset \sigma^\circ$ . Также условие  $(0, \omega)^\circ \subset (\sigma, 0)^\circ$  эквивалентно равенству  $\sigma^\circ = M_1$ .

**Замечание 2.3.** В общем случае,  $\Phi^\circ \cup \Omega^\circ \subset (\Phi \cap \Omega)^\circ$ , однако равенство, вообще говоря, не имеет места. Действительно, используя обозначения примера 2.2, предположим, что  $M_i^\circ \neq M_i^*$  и пусть  $\omega_i \notin M_i^\circ, x_i \notin \omega_i^\circ (i=1,2)$ . Также пусть  $\Phi = \{(\omega_1, 0)\}, \Omega = \{(0, \omega_2)\}$ . Тогда  $(\Phi \cap \Omega)^\circ = M_1 \oplus M_2$ . С другой стороны,  $\Phi^\circ = \omega_1^\circ \oplus M_2, \Omega^\circ = M_1 \oplus \omega_2^\circ$ , откуда  $x_1^\circ \oplus x_2^\circ \neq \Phi^\circ \cup \Omega^\circ$ .

Рассмотрим связь между компонентой аменабельности и компонентами относительной аменабельности более подробно. Прежде всего, отметим очевидное равенство  $AM = (AM)^{\circ\circ}$ , допускающее следующие уточнения.

**Теорема 2.4.** (i)  $x \in AM$  в том и только том случае, когда  $x^{\circ\circ} = AM$ ; (ii)  $\omega \in M^\circ$  в том и только том случае, когда  $\omega^{\circ\circ} = M^\circ$ .

*Доказательство.* (i): Пусть  $x \in AM$ , тогда  $x^\circ = M^*$ . Следовательно,  $x^{\circ\circ} = (M^*)^\circ = AM$ . Обратно, пусть  $x^{\circ\circ} = AM$ . Тогда  $x^\circ = x^{\circ\circ\circ} = (AM)^\circ = M^*$ , откуда  $x \in AM$ .

(ii): Пусть  $\omega \in M^\circ$ , тогда  $\omega^\circ = M$ . Следовательно,  $\omega^{\circ\circ} = M^\circ$ . Обратно, пусть  $\omega^{\circ\circ} = M^\circ$ . Тогда  $\omega^\circ = \omega^{\circ\circ\circ} = M^{\circ\circ}$ , откуда  $\omega \in M^{\circ\circ\circ} = M^\circ \square$

**Следствие 2.5.** (i)  $AM = \bigcap_{x \in M} x^{\circ\circ} = \bigcap_{\omega \in M^*} \omega^{\circ}$ ;

(ii)  $M^{\circ} = \bigcap_{x \in M} x^{\circ} = \bigcap_{\omega \in M^*} \omega^{\circ\circ}$ .

*Доказательство.* (i): Так как  $AM \subset x^{\circ\circ}$  для всех  $x \in M$ , то  $AM \subset \bigcap_{x \in M} x^{\circ\circ}$ . С другой стороны, пусть  $y \in \bigcap_{x \in M} x^{\circ\circ}$ . Так как  $0^{\circ} = M^*$ , то  $y \in 0^{\circ\circ} = (M^*)^{\circ} = AM$ . Следовательно,

$\bigcap_{x \in M} x^{\circ\circ} \subset AM$  откуда  $AM = \bigcap_{x \in M} x^{\circ\circ}$ . Равенство  $AM = \bigcap_{\omega \in M^*} \omega^{\circ}$  следует из определения  $AM$ .

(ii): Из Леммы 2.1 (iv) следуют равенства  $M^{\circ} = (\bigcup_{\omega \in M^*} \omega^{\circ})^{\circ} = \bigcap_{\omega \in M^*} \omega^{\circ\circ}$ . Наконец,

равенство  $M^{\circ} = \bigcap_{x \in M} x^{\circ}$  очевидно  $\square$

**Следствие 2.6.** Следующие условия эквивалентны:

- (i) модуль  $M$  аменабелен;
- (ii)  $x^{\circ\circ} = M$  для всех  $x \in M$ ;
- (iii)  $\omega^{\circ\circ} = M^*$  для всех  $\omega \in M^*$ .

### 3. Инвариантные средние

Ниже устанавливается связь между относительной аменабельностью и инвариантными свойствами модулей. Поскольку  $C^*$ -алгебры  $A$  являются модулями над своей унитарной группой  $U$ , полученные результаты естественным образом распространяются на  $l^1(U)$ -модули.

Сначала заметим, что  $X^{\circ}$ ,  $\Omega^{\circ}$  являются замкнутыми линейными подпространствами в  $M^*$  и  $M$ , соответственно, причём  $L^1(G)\Omega^{\circ} \subset \Omega^{\circ}$ ,  $X^{\circ} \circ_2 L^{\infty}(G)^* \subset X^{\circ}$  и, в частности,  $\Omega^{\circ\circ} \circ_2 L^{\infty}(G)^* \subset \Omega^{\circ\circ}$ . Эти факты проверяются непосредственно. Дополним сказанное.

**Теорема 3.1.** Пусть  $\varphi \in AL^1(G)$  ( $m \in L^{\infty}(G)^{\circ}$ ). Тогда  $\varphi M \subset AM$  ( $M^* \circ_2 m \subset M^{\circ}$ ).

*Доказательство.* Первое утверждение следует непосредственно из определений. Последнее вытекает из того, что  $x_{\circ}(\omega_{\circ} m) = (x_{\circ} \omega)_{\circ} m$  для всех  $x \in M, \omega \in M^*$ .

**Теорема 3.2.** (i)  $x^{\circ} = \bigcap_{\varphi \in P(G)} (\varphi x)^{\circ}$  для всех  $x \in M$ ;

(ii)  $\omega^{\circ} = \bigcap_{m \in L^{\infty}(G)^*} (\omega \circ_2 m)^{\circ}$  для всех  $\omega \in M^*$ .

*Доказательство.* (i): Пусть  $x \in M$ ,  $\omega \in x^{\circ}$  и пусть среднее  $m$  топологически левоинвариантно на  $AL^{\infty}(G)$ . Тогда  $m(\varphi x_{\circ} \omega) = m(x_{\circ} \omega)$  для всех  $\varphi \in P(G)$ . Следовательно,  $\omega \in (\varphi x)^{\circ}$  ([9], Теорема 2.2) и, наконец,  $x^{\circ} \subset \bigcap_{\varphi \in P(G)} (\varphi x)^{\circ}$ . С другой стороны, пусть

$\omega \in \bigcap_{\varphi \in P(G)} (\varphi x)^{\circ}$ . Тогда  $L^1(G)^*(x_{\circ} \omega) \subset AL^{\infty}(G)$ , поэтому  $x_{\circ} \omega \in AL^{\infty}(G)$  [8] и  $\omega \in x^{\circ}$ .

(ii): Пусть  $\omega \in M^*$ ,  $x \in \omega^{\circ}$ , тогда  $x_{\circ}(\omega_{\circ} m) = (x_{\circ} \omega)_{\circ} m \in AL^{\infty}(G)$  для любого  $m \in L^{\infty}(G)^*$ , откуда  $x \in \bigcap_{m \in L^{\infty}(G)^*} (\omega \circ_2 m)^{\circ}$ . С другой стороны, пусть  $x \in \bigcap_{m \in L^{\infty}(G)^*} (\omega \circ_2 m)^{\circ}$ .

Тогда  $(x \circ_1 \omega) \circ_1 m \in AL^\infty(G)$  для любого  $m \in L^\infty(G)^*$ . Так как  $x \circ_1 \omega \in (x \circ_1 \omega) \circ_1 L^\infty(G)^* \subset AL^\infty(G)^*$ , то  $x \in \omega^\circ$   $\square$

**Замечание 3.3.** В общем случае равенство  $x^\circ = (\varphi x)^\circ$  ( $\omega^\circ = (\omega \circ_2 m)^\circ$ ) может не выполняться. Например, пусть  $AM \neq M$  и  $x \in M \setminus AM$ ,  $\varphi \in AL^1(G)$ . Тогда  $x^\circ \neq M^*$ , однако в соответствии с Теоремой 3.1  $M^* = (\varphi x)^\circ$ . Точно также,  $\omega^\circ \neq M = (\omega \circ_2 m)^\circ$  в случае  $\omega \in M^* \setminus M^\circ$ ,  $m \in L^\infty(G)^\circ$ .

Как известно, модуль  $M$  аменабелен в том и только том случае, когда для всех топологически левоинвариантных на  $AL^\infty(G)$  средних  $m$ ,  $\omega \in M^*$  и  $\varphi \in P(G)$  выполнено равенство  $\varphi(\omega \circ_2 m) = \omega \circ_2 m$  ([9], Теорема 2.2). Рассмотрим локальный вариант этого утверждения.

**Теорема 3.4.** Пусть  $x \in M, \omega \in M^*$ . Тогда следующие условия эквивалентны:

(i)  $x \in \omega^\circ$ ;

(ii) если  $m$  – топологически левоинвариантное на  $AL^\infty(G)$  среднее, то  $\varphi x \circ_1 (\sigma \circ_2 m) = x \circ_1 (\sigma \circ_2 m)$  для всех  $\sigma \in \omega^{\circ\circ}$ ,  $\varphi \in P(G)$ ;

(iii) существует топологически левоинвариантное на  $AL^\infty(G)$  среднее  $m_0$  такое, что  $\varphi x \circ_1 (\sigma \circ_2 m_0) = x \circ_1 (\sigma \circ_2 m_0)$  для всех  $\sigma \in \omega^{\circ\circ}$ ,  $\varphi \in P(G)$ .

*Доказательство.* (i)  $\Rightarrow$  (ii): Пусть  $\varphi, \psi \in P(G)$ ,  $m$  – топологически левоинвариантное на  $AL^\infty(G)$  среднее. Тогда

$$\begin{aligned} \varphi x \circ_1 (\omega \circ_2 m)(\psi) &= \omega \circ_2 m(\psi^*(\varphi x)) = m(\psi^*(\varphi x) \circ_1 \omega) = \\ &= m(\psi^* x \circ_1 \omega) = \omega \circ_2 m(\psi^* x) = x \circ_1 (\omega \circ_2 m)(\psi), \end{aligned}$$

следовательно,  $\varphi x \circ_1 (\omega \circ_2 m) = x \circ_1 (\omega \circ_2 m)$ . В случае  $\sigma \in \omega^{\circ\circ}$  имеем  $\omega^\circ \subset \sigma^\circ$ , откуда  $x \in \sigma^\circ$ .

(ii)  $\Rightarrow$  (iii): Очевидно.

(iii)  $\Rightarrow$  (i): Согласно предположению и замечанию в начале Раздела 3 имеют место равенства

$$\begin{aligned} ((\varphi x \circ_1 \omega) \circ_1 n) \circ_1 m_0 &= (\varphi x \circ_1 (\omega \circ_2 n)) \circ_1 m_0 = \varphi x \circ_1 ((\omega \circ_2 n) \circ_2 m_0) = x \circ_1 ((\omega \circ_2 n) \circ_2 m_0) = (x \circ_1 (\omega \circ_2 n)) \circ_1 m_0 = \\ &= ((x \circ_1 \omega) \circ_1 n) \circ_1 m_0, \varphi \in P(G), n \in L^\infty(G)^*. \end{aligned}$$

Отсюда следует, что  $m_0(\varphi^*(x \circ_1 \omega) \circ_1 n) = m_0(\psi(x \circ_1 \omega) \circ_1 n)$  для всех  $\varphi, \psi \in P(G)$ . В соответствии с [8] подмодуль в  $L^\infty(G)$ , порождённый  $x \circ_1 \omega$ , является аменабельным  $\square$

Напомним, что банахова алгебра  $A$  называется аменабельной, если для любого  $A$ -бимодуля  $X$  каждое непрерывное дифференцирование  $A$  со значениями в  $X^*$  – внутреннее [6].

Пусть  $A$  –  $C^*$ -алгебра с единицей,  $\omega \in A^*$  – положительная форма,  $\pi_\omega : A \rightarrow B(H_\omega)$  – соответствующее представление  $A$  в алгебре  $B(H_\omega)$  линейных ограниченных операторов в гильбертовом пространстве  $H_\omega$ , и  $H_\omega^*$  – сопряжённое к  $H_\omega$  гильбертово пространство. Будем рассматривать проективное тензорное произведение  $H_\omega \hat{\otimes} H_\omega^*$  как левый банахов  $l^1(U)$ -модуль, полагая  $u(\xi \otimes \eta) = \pi(u)\xi \otimes \pi(u)\eta$  для всех элементарных тензоров  $\xi \otimes \eta$  и

$u \in U$ . Известно, что аменабельность  $C^*$ -алгебры  $A$  эквивалентна аменабельности  $l^1(U)$ -модулей  $H_\omega \hat{\otimes} H_\omega^*$ ,  $\omega \in A^*$  ([9], Следствие 3.5). Другие эквивалентные определения аменабельных банаховых алгебр приведены, например, в [7].

Применим предыдущую теорему к  $C^*$ -алгебрам. Введём обозначение  $(a\omega b)(x) = \omega(bxa)$ , где  $a, b, x \in A$ .

**Следствие 3.5.** Пусть  $x \in A$ ,  $\omega \in A^*$  – положительная форма. Тогда следующие условия эквивалентны:

(i)  $A = (a\omega b)^\circ$  для всех  $a \in A$ ;

(ii) если  $m$  – левоинвариантное на  $Al^\infty(U)$  среднее, то  $\pi_\omega(ax)_1^\circ(\sigma_2^\circ m) = \pi_\omega(xa)_1^\circ(\sigma_2^\circ m)$

для всех  $\sigma \in \omega_\xi^{\circ\circ}$  и  $a, x \in A$ ;

(iii) существует левоинвариантное на  $Al^\infty(U)$  среднее  $m_0$ , такое, что  $\pi_\omega(ax)_1^\circ(\sigma_2^\circ m_0) = \pi_\omega(xa)_1^\circ(\sigma_2^\circ m_0)$  для всех  $\sigma \in \omega_\xi^{\circ\circ}$  и  $a, x \in A$ .

Доказательство. Для произвольного вектора  $\xi \in H_\omega$  определим форму  $\omega_\xi \in A^*$  равенством  $\omega_\xi(x) = \langle \pi_\omega(x)\xi, \xi \rangle$ . Заметим, что условие (i) эквивалентно равенству  $A = \omega_\xi^\circ$ ,  $\xi \in H_\omega$ , и применим Теорему 3.4  $\square$

В случае выполнения равенства  $A = \omega^\circ$  для всех положительных форм  $\omega \in A^*$  получим необходимые и достаточные условия аменабельности  $C^*$ -алгебры  $A$  как  $l^1(U)$ -модуля.

#### **Список литературы**

1. *Amini M., Bagha D.E.* Weak module amenability for semigroup algebras // *Semigroup Forum.* - 2005. Vol. 71. - P. 18-26.
2. *Bodaghi A.* Module amenability of Banach algebras. - LAP Lambert Academic Publishing. - 2012. - 168 p.
3. *Bekka M.E.V.* Amenable unitary representations of locally compact groups // *Invent. Math.* - 1990. Vol.100. - P. 383-401.
4. *Гринлиф Ф.* Инвариантные средние на топологических группах и их приложения. - М.: Мир. - 1973. -136 с.
5. *Paterson A.L.T.* Invariant mean characterizations of amenable  $C^*$ -algebras// *Houston J. Math.* - 1991. Vol. 17. - P. 551-565.
6. *Johnson B.E.* Cohomology in Banach algebras. - Providence, RI: Memoirs of the AMS. - 1972. - 96 p.
7. *Хелемский А.Я.* Гомология в банаховых и топологических алгебрах. - М.: МГУ. - 1986. - 288 с.
8. *Мясников А.Г.* Аменабельные банаховы  $L_1(G)$ -модули, инвариантные средние и регулярность в смысле Аренса// *Изв. вузов. Сер. «Математика».* - 1993. №2. - С. 72-80.
9. *Мясников А.Г.* Аменабельные  $L^1(G)$ -модули и аменабельные  $C^*$ - алгебры// *Вопросы математики, механики сплошных сред и применение математических методов в строительстве.* Сборн. научн. тр. - М.: МГСУ. -2008. - Вып. 11. - С.101-119.

**ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ (05.02.00)**

05.02.00

<sup>1</sup>А.Ю. Барыкин к.т.н., <sup>2</sup>Р.Р. Басыров к.т.н., <sup>2</sup>М.М. Мухаметдинов к.т.н.

<sup>1</sup>НЧИ ФГАОУ ВО «Казанский (Поволжский) федеральный университет»,  
автомобильное отделение, каф. «Эксплуатация автомобильного транспорта»,  
Набережные Челны, alexs-jb@rambler.ru

<sup>2</sup>НЧИ ФГАОУ ВО «Казанский (Поволжский) федеральный университет»,  
автомобильное отделение, каф. «Автомобили, автомобильные двигатели и дизайн»,  
Набережные Челны, basr@mail.ru, m-mm@rambler.ru

**ОСНОВНЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ ТРЕБОВАНИЙ  
ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ****DOI:10.24153/2079-5920-2017-7-2-13-15**

*В работе представлены результаты изучения требований по экологической безопасности транспортных средств. Обоснованы основные направления мероприятий по снижению выбросов вредных веществ автомобилями, позволяющих соответствовать нормативам экологических показателей энергетических установок транспортного назначения.*

Ключевые слова: *экологическая безопасность, автомобиль, вредные вещества, современные требования.*

Приоритетными проблемами обеспечения экологической безопасности на транспорте являются защита от загрязнения атмосферного воздуха, водных объектов, земельных ресурсов и недр, защита от транспортного шума, предупреждение экологических последствий чрезвычайных ситуаций и катастроф, снижение ущерба природным ресурсам.

Как известно, в области нормирования экологических показателей АТС и двигателей Россия применяет требования Женевского Соглашения 1958 года. Специальный технический регламент «О требованиях к выбросам автомобильной техникой, выпускаемой в обращение на территории Российской Федерации, вредных (загрязняющих) веществ» практически полностью базируется на Правилах ЕЭК ООН.

Основные требования к выбросам вредных веществ автомобилями и двигателями установлены в Правилах ЕЭК ООН №49 (грузовые автомобили и автобусы), 83 (легковые автомобили и легкие грузовики), 96 (дизели сельскохозяйственных и лесных тракторов, транспортных средств). Указанные документы постоянно пересматриваются, дополняются, модернизируются. Другим, не менее важным направлением, является разработка глобальных технических предписаний (ГТП), которые в будущем придут на смену региональным и национальным стандартам (в том числе Правилам ЕЭК ООН и Директивам ЕС) [1].

Политика экологической безопасности реализуется путем проведения комплекса природоохранных мер, направленных на повышение экологических характеристик подвижного состава и инфраструктуры транспорта. Эти меры по направлениям деятельности подразделяются на четыре группы: организационно-правовые, архитектурно-планировочные, конструкторско-технические, эксплуатационные.

**Организационно-правовые мероприятия** включают формирование нового эколого-правового мировоззрения, эффективную реализацию государственной экологической политики, создание современного экологического законодательства и нормативно-правовой базы экологической безопасности, а также меры государственного, административного и общественного контроля. Они направлены на разработку и исполнение механизмов

экологической политики, природоохранного законодательства на транспорте, экологических стандартов, нормативов и требований к транспортной технике, топливно-смазочным материалам, оборудованию, состоянию транспортных коммуникаций и других.

**Архитектурно-планировочные мероприятия** обеспечивают совершенствование планирования всех функциональных зон города (промышленной, селитебной - предназначенной для жилья, транспортной, санитарно-защитной, зоны отдыха и др.) с учетом инфраструктуры транспорта и дорожного движения, разработку решений по рациональному землепользованию и застройке территорий, сохранению природных ландшафтов, озеленению и благоустройству.

**Конструкторско-технические мероприятия** позволяют внедрить современные инженерные, санитарно-технические и технологические средства защиты окружающей среды от вредных воздействий на предприятиях и объектах транспорта, технические новшества в конструкции подвижного состава.

**Эксплуатационные мероприятия** осуществляются в процессе эксплуатации транспортных средств и направлены на поддержание их состояния на уровне заданных экологических нормативов за счет технического контроля и высококачественного обслуживания.

Перечисленные группы мероприятий реализуются независимо друг от друга и позволяют достичь определенных результатов. Но комплексное их применение обеспечит максимальный эффект.

К основным мерам по предотвращению отрицательного воздействия транспортных средств на окружающую среду относятся:

- совершенствование структуры парков подвижного состава;
- развитие в городах малотоксичных видов транспорта (метро, трамвай) и применение экологически чистых видов топлив;
- расширение использования городского автобусного сообщения;
- совершенствование транспортной планировки городов;
- организация дорожного движения;
- улучшение ТО и Р;
- контроль технического состояния транспортных средств.

К основным методам снижения уровня токсичности вредных выбросов относят следующее:

1) **оптимизация рабочего процесса**, основан на снижении содержания в остаточных газах  $\text{CO}$ ,  $\text{CH}$ ,  $\text{NO}_x$  внутри рабочего цилиндра. Сюда входит и использование альтернативных топлив и организация рабочего процесса, регулировки, применение различных добавок к топливам;

2) **каталитическое обезвреживание отработавших газов**, направлен на удаление вредных примесей уже на выходе из цилиндра двигателя, включающее фильтрацию от сажи и аэрозолей на пористых материалах с периодической термической регенерацией фильтра. Каталитическое дожигание газообразных продуктов неполного сгорания на селективное каталитическое восстановление окиси азота аммиаком, улавливание  $\text{SO}_2$  в режиме конденсации при охлаждении газов ниже точки росы и многое другое.

Конечно, целесообразно использовать эти методы совместно, чтобы повысить эффективность очистки.

Современные Правила ЕЭК ООН базируются на нескольких ранее введенных директивах ЕС и содержат ряд новых, по сравнению с предшествующей серией поправок, положений и требований. Это, в первую очередь, требования в отношении:

- бортовой диагностической системы (БДС);
- надежности в отношении экологических показателей;
- процедур и методов контроля установленных требований в эксплуатации.

Система БДС должна информировать водителя о наличии неисправности, если превышены предельные значения выбросов. Требования системы бортовой диагностики

установлены для АТС и двигателей, начиная с уровня «Евро-4».

Специальные меры предписаны в отношении защиты системы управления двигателем от неавторизованного вмешательства. В частности, любые съемные чипы блока управления, имеющие отношение к калибровкам двигателя, должны помещаться в защищенный корпус, защищаться специальными алгоритмами и предусматривать возможность замены с помощью специальных процедур и инструмента.

Особое внимание уделено контролю выбросов  $\text{NO}_x$ , который должен осуществляться с помощью датчиков, установленных в системе выпуска отработавших газов.

Если выброс  $\text{NO}_x$  превышает предельное значение, БДС производит автоматическое снижение крутящего момента до 75-60 % максимального значения, в зависимости от категории транспортного средства (при этом осуществляется информирование водителя). Кроме того, мониторингу подвергается целостность электрических контуров системы контроля выбросов, «наличие–отсутствие» элементов контроля выбросов (датчика  $\text{NO}_x$ , датчика контроля качества реагента, датчиков расхода и уровня реагента, датчика расхода рециркулируемых отработавших газов).

Надежность в отношении экологических показателей должна подтверждаться производителем. Производитель должен подтвердить, что его двигатели соответствуют установленным требованиям.

С введением регламента впервые была достаточно четко сформулирована государственная политика России в области экологии АТС и последовательность ее реализации.

Каждый этап улучшения экологических показателей АТС и двигателей требует вложения значительных материальных ресурсов и времени. Поэтому ясная и понятная программа введения экологических требований на несколько лет вперед является неотъемлемым условием ее успешной реализации.

В период действия «Евро-5» достаточно было использовать систему рециркуляции выхлопных газов (EGR — Exhaust Gas Recirculation) или систему селективной каталитической нейтрализации (SCR — Selective Catalytic Reduction) с впрыском реагента AdBlue (водный раствор мочевины). После ужесточения требований конструкторам необходимо было объединить два метода очистки и усовершенствовать сажевые фильтры [2].

Как видно, существует огромное множество подходов, показателей и методов оценки экологической чистоты автомобиля. Каждый из них имеет свои преимущества и недостатки. Разработать единый, пригодный на все случаи метод оценки экологической чистоты автомобиля – задача сложно реализуемая.

#### **Список литературы**

1. Белоконь К.Г. Экологическая безопасность автомобиля и двигателя: учеб. пособие / К.Г. Белоконь, В.Н. Никишин; под ред. В.Н. Никишина. – Казань: Изд-во Казан. ун-та, 2016. – 242с.
2. Кульчицкий А.Р. Токсичность автомобильных и тракторных двигателей: учеб. пособие. – Владимир: Изд-во Владим. ун-т, 2000. – 256с.

05.02.11

**А.П. Буйносов д.т.н.**

Уральский государственный университет путей сообщения,  
кафедра «Электрическая тяга», Екатеринбург, buinosov@mail.ru

### **БЕСКОНТАКТНОЕ ИЗМЕРЕНИЕ БАНДАЖЕЙ КОЛЕСНЫХ ПАР ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА**

**DOI:10.24153/2079-5920-2017-7-2-16-18**

*В статье представлена структура бесконтактного измерения параметров бандажей колесных пар подвижного состава, как часть системы контроля колесных пар, созданной УрГУПС в рамках отраслевой комплексной автоматизированной системы управления железнодорожным транспортом.*

*Ключевые слова: железнодорожный транспорт, подвижной состав, движение, колесная пара, бандаж, измерение, бесконтактное, структура.*

С ростом скоростей движения на железных дорогах повышаются требования к надежности подвижного состава (ПС) и, особенно, к наиболее ответственным его узлам и деталям. К их числу относятся колесные пары с составными и цельнокатаными колесами. К неисправностям колесных пар, оказывающим влияние на безопасность движения поездов, относят как равномерный, так и неравномерный износ бандажей и цельнокатаных колес по поверхности катания и на гребне. Износ – это результат совокупного действия множества факторов в процессе трения. Сегодня с трением связана одна из самых острых проблем современности – износ машин и механизмов. Расходы на восстановление в частности бандажей колесных пар ПС огромны, причем они ежегодно растут. Даже небольшое увеличение срока службы колесных пар равносильно вводу значительных новых производственных мощностей [1, 2].

Измерение параметров бандажей, других параметров колесной пары вручную не дает возможности решения проблемы контроля состояния ПС, хранение и обработка этой информации для всего ПС представляет большую трудность. Между тем, своевременное обнаружение дефектов и браковочных износов колесных пар ПС является одной из важных проблем обеспечения безопасности движения. Поэтому актуальна задача создания автоматических средств диагностирования, обеспечивающих достоверный автоматизированный контроль колесных пар ПС в депо. Для решения этих задач в УрГУПС разработана система автоматизированного измерения параметров бандажей колесных пар ПС [2, 3].

Анализ известных датчиков автоматизированного измерения параметров колесных пар показывает, что в основу их построения положены различные физические явления, обеспечивающие бесконтактный метод измерения износа. Известны датчики фотоэлектрические, реализующие радиометрический метод измерения, акустико-электрические. В Уральском государственном университете путей сообщения предложен фотоэлектрический датчик пользования волоконно-оптического измерителя преобразователя. Большая часть датчиков основана на измерении зависящей от проката величины опускания гребня колеса, катящегося по рельсу. Данные автоматизированного измерения износа на ходу ПС в конечном итоге могут фиксироваться на ленте распечатывающего устройства.

Многие датчики основаны на механических и электрических контактных методах измерений. Одно из таких решений использовано, например, в депо Иркутск [3]. Однако применение контактных датчиков неперспективно из-за невозможности защитить их надежно от внешних воздействий во время эксплуатации и низкого качества изготовления. Поэтому построение современных систем должно осуществляться только на основе бесконтактных датчиков расстояния. Они могут быть оптическими, ультразвуковыми,

емкостными, индуктивными. Одним из перспективных способов построения контактного измерителя параметров бандажей колесных пар является метод, основанный на ультразвуковой дальнометрии с использованием ультразвуковых приборов [4].

Автоматизированный обмер колесных пар выполняется при входе ПС в депо со скоростью не более 10 км/ч. Результаты обмера по линии проводной связи от набора напольных датчиков поступают на измерительный блок, где по запросу оператора осуществляется вывод результатов измерения на печатающее устройство в стандартном формате [1, 4].

Структурная схема автоматизированной системы обмера колесных пар приведена на рисунке. Система состоит из блоков датчиков, расположенных на левом и правом рельсах, напольного измерительного блока, пульта оператора с клавиатурой. Имеется возможность подключения печатающего устройства, а также внешней ПЭВМ. Локационные датчики обеспечивают преобразование механических (физических) параметров бандажа в электрический сигнал и распространяются в плоскости головки рельса, не выходя за уровень верхней грани головки рельса. Конструктивно датчики размещаются на единой скобе, которая прикрепляется к подошве рельса, что обеспечивает возможность оперативного изменения места расположения блока датчиков в нужном месте железнодорожного полотна.

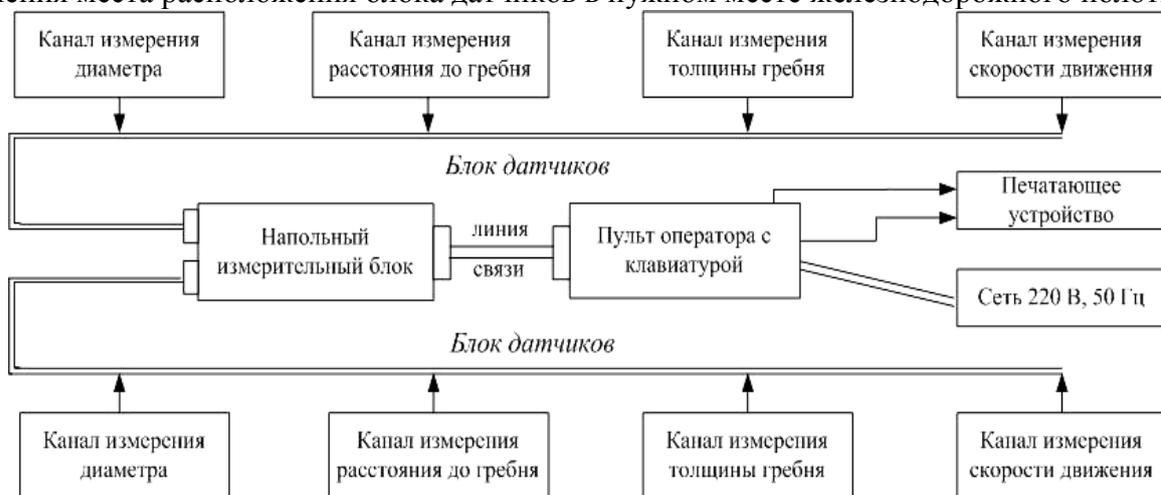


Рис. Структурная схема автоматизированной системы обмера колесных пар

Блок датчиков для каждого колеса колесной пары содержит каналы для измерений диаметра колеса, расстояния до гребня колеса от плоскости подошвы рельса, толщины гребня, скорости движения подвижного состава мимо блока датчиков. В каждом измерительном канале в процессе формирования информации участвует как минимум два датчика: один излучающий, другой приемный. Используя принцип ультразвуковой дальнометрии для каждой пары датчиков любого измерительного канала, выходная информация (измеряемое расстояние от датчиков до соответствующего элемента профиля бандажа) определяется как функция от задержки распространения сигнала от излучающего датчика до поверхности катания колесной пары и обратно до приемного датчика, скорости распространения ультразвуковой волны, скорости движения ПС [2, 4].

По сигналам с датчиков в напольном измерительном блоке осуществляется преобразование электрических сигналов в формат данных, необходимый для обработки по особой программе в блоке пульта оператора. Микропроцессорный вычислитель пульта оператора осуществляет обработку массива входных данных, поступающих с напольного измерительного блока, выделяет все необходимые информационные параметры в отдельный массив, а контролируемый профиль бандажа преобразует в соответствующий массив с возможностью его графической или визуальной интерпретации для наблюдения и получения информации об износе и дефектах профиля бандажей колесных пар ПС. Получаемая информация индицируется на мониторе пульта оператора.

Используя динамический режим работы системы при движении колесных пар, можно получить информацию о профиле поверхности катания бандажа и, сравнивая его со стандартным профилем, который занесен в память вычислителя пульта оператора, получить

информацию о вертикальном подрезе гребня, а также визуально наблюдать отклонения контролируемого профиля от требуемой формы с возможностью выделения интересующих участков в увеличенном масштабе. Имеется возможность документирования информации с помощью печатающего устройства, а также занесения в банк данных внешней и центральной ПЭВМ [4].

Автоматизированная система обмера колесных пар ПС контролирует следующие параметры: диаметр колеса в пределах от 850 до 1300 мм с погрешностью измерения не более 0,35 мм при ширине профиля бандажа от 120 до 145 мм, толщину бандажа не менее 36 мм, прокат по кругу катания до 10 мм с погрешностью измерения не более 0,25 мм, толщину гребня в диапазоне от 20 до 40 мм и вертикальный его подрез с погрешностью измерения не более 0,15 мм.

Блок датчиков крепится скобой к внутренней поверхности подошвы рельса и имеет габариты 450×450×160 мм и вес не более 15 кг. Расстояние от блока датчиков до напольного измерительного блока – до 20 м. Напольный измерительный блок имеет габариты 500×530×250 мм и вес не более 10 кг. Расстояние от напольного блока до пульта оператора – до 500 м. Питание напольного блока осуществляется от пульта оператора по двухпроводной линии передачи данных, напряжение в линии не превышает 12 В.

Пульт оператора имеет дисплей, клавиатуру, блок питания системы, печатающее устройство и выход на модем для связи с внешней ЭВМ. Пульт оператора имеет габариты 600×450×240 мм, вес не более 15 кг, питание осуществляется от сети переменного тока напряжением 220 В, потребляемая мощность не более 200 Вт.

Все измерения производятся системой автоматически без участия оператора, выдача информации о проведенных измерениях параметров колесных пар производится по запросу. Наличие оперативной памяти в пульте оператора позволяет накапливать материалы по измерению и контролю профиля бандажа каждой колесной пары конкретного ПС. Такое накопление информации по изменению параметров профилей бандажей колесных пар ПС с момента их введения в эксплуатацию позволяет прогнозировать проведение текущего и капитального ремонтов колесных пар ПС либо на пункте технического обслуживания, либо в стационарных условиях депо как с выкаткой, так и без выкатки колесной пары. При проведении периодических обследований ПС система автоматически сигнализирует об отклонениях контролируемых параметров.

Выполненные проверочные испытания показали, что разработанная система обладает высокой стабильностью в работе и гарантирует необходимую точность измерения всех параметров профиля бандажей. По своей сущности система для автоматического бесконтактного измерения параметров бандажей колесных пар представляет единый измерительно-вычислительный комплекс, который дает возможность массового обслуживания ПС с целью накопления и обработки полного объема информации, необходимый для диагностики состояния и прогнозирования ресурса бандажей колесных пар ПС.

#### **Список литературы**

1. Буйносов А.П., Стаценко К.А., Кислицын А.М. Автоматическая измерительная система для контроля геометрических параметров колесных пар локомотивов // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. 2014. Т. 57. № 3. С. 31-34.
2. Буйносов А.П., Кислицын А.М. Измерительная система для контроля параметров колесных пар локомотивов // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. 2013. № 11. С.44-51.
3. Буйносов А.П., Тихонов В.А. Аппаратная реализация прибора для измерения геометрических параметров бандажей колесных пар // Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Техника и технологии. 2013. Т. 6. № 2. С. 211-220.
4. Буйносов А.П., Худояров Д.Л., Балдин В.Л. Математическая модель повышения ресурса бандажей колесных пар электровозов // Ремонт. Восстановление. Модернизация. 2011. № 4. С.43-48.

05.02.00

**Н.С. Галимов, Р.Т. Насибуллин, Л.Р. Саримов, А.Н. Сущикова**

Набережночелнинский институт КФУ,  
кафедра «Электроэнергетика и электротехника»,  
Набережные Челны, sarlena1985@mail.ru

## **ВОЗМОЖНОСТИ МОДУЛЬНОЙ КОНСТРУКЦИИ АЭРОЭЛЕКТРОГЕНЕРАТОРНЫХ УСТАНОВОК ДЛЯ АВТОРЕФРИЖЕРАТОРОВ**

**DOI:10.24153/2079-5920-2017-7-2-19-21**

*В работе представлена разработка конструкции аэрогенераторной установки для авторефрижератора. Модульная конструкция аэроэлектрогенератора располагается по периметру корпуса авторефрижератора. Использование встречного потока воздуха для энергоснабжения рефрижератора позволяет экономить топливо.*

Ключевые слова: *авторефрижератор, аэроэлектрогенератор, модульный генератор.*

В настоящее время в автомобильном парке транспортных компаний по всему миру занимающихся грузовыми перевозками имеется множество автомобилей рефрижераторов. Во время эксплуатации авторефрижераторов расходуется большое количество топлива дополнительно с основным расходом, который требуется для движения автомобиля. На большегрузный автомобиль устанавливается рефконтейнер, который имеет два основных конструктивных блока: корпус и рефрижераторный агрегат. Рефрижераторный агрегат, размещенный в торце корпуса, поддерживает в автоматическом режиме внутри контейнера заданную температуру и питается автономной электрогенераторной установки. Потребляемая мощность установки до 8 кВт. Для получения такого питания в основном используются бензиновые или дизельные автономные двигатели, устанавливаемые в передней части рефконтейнера.

Идея настоящей разработки в том, чтобы использовать энергию движущегося относительно авторефрижератора воздуха для энергоснабжения рефконтейнера. При движении авторефрижератора воздух оказывает сопротивление пропорциональное квадрату относительной скорости и площади поперечного сечения рефрижератора, а потеря мощности автомобиля пропорциональна кубу относительной скорости. Например, при скорости движения рефрижератора со скоростью 72 км/час потеря мощности может достигать до 25 кВт, а 8 кВт может вырабатывать при движении со скоростью 50 км/час. Для забора данной мощности предлагается по периметру передней части рефрижератора устанавливать роторные ветротурбины приводящие во вращение ротор генератора переменного тока. Использование такой системы позволит отказаться от дизельных и бензиновых двигателей питающих рефрижератор и, соответственно, позволит экономить топливо.

В ходе исследования были изучены изобретения, являющиеся потенциальными прототипами разработки. В [1] описывается транспортный холодильный агрегат, содержащий герметичный кузов для размещения груза, теплоизоляцию, расположенную в стенках, крыше, полу и дверях кузова, компрессор и конденсатор с вентилятором, размещенные на передней стенке кузова над кабиной автомобиля. При этом он содержит электрогенератор, механически связанный с ДВС автомобиля через стабилизатор скорости вращения, у которого механизм управления соединен тросом с педалью акселератора автомобиля. Недостатком [1] является отсутствие возможности подключения к внешней стационарной системе питания во время продолжительных остановок.

Наиболее близким прототипом является компрессионная установка транспортного авторефрижератора [2], содержащая изотермический кузов, внутри которого размещены распылители, компрессор с приводом от двигателя, вихревая труба и трубопроводы с запорно-регулирующими органами, образующие замкнутый циркуляционный цикл. При этом внутри кузова перед распылителями включены аккумуляторные батареи в виде коаксиальных труб с эвтектическим раствором, а на выходе из компрессора установлен ресивер. Недостатками [2] являются дороговизна использования автономного ДВС из-за регулярного возрастания стоимости топлива и увеличение массы транспортного средства за счет дополнительного топлива, электрогенератора и самого ДВС.

Наша разработка заключается в том, что на авторефрижератор устанавливается буферный накопитель энергии – аккумуляторная батарея, холодильная установка, и аэроэлектрогенератор, роторы которого располагают вокруг прямоугольного профиля фургона между кабиной рефрижератора и фургоном с возможностью вращения вокруг своих осей.

Разработанное техническое решение может быть осуществлено, например, следующим путем (рисунок 1 и рисунок 2).

Аэроэлектрогенератор авторефрижератора состоит из роторов 1, расположенных по ребрам прямоугольной передней плоскости фургона 2 рефрижератора. Диаметр роторов 1 равен меньше зазора 4 между кабиной 3 и фургоном 2. Спойлер над кабиной одновременно является и концентратором воздушного потока во время движения авторефрижератора. Для синхронизации вращений и соблюдения однонаправленности роторы 1, связаны с угловыми согласующими элементами 5. На свободных концах боковых вертикальных роторов установлены генераторы 6. Генераторы 6 заряжают аккумуляторную батарею питающего двигателя компрессора холодильной установки авторефрижератора через инвертор.

Авторефрижератор с аэроэлектрогенератором работает следующим образом. Во время движения авторефрижератора при набегании воздушного потока на переднюю часть кабины 3 и спойлер (концентратор) 7 центральные слои воздушного потока затормаживаются, статическое давление по мере приближения к передней части кабины начинает возрастать. Эти слои образуют как уплотненный перед автомобилем обтекатель. Вокруг этой зоны из-за удлинения пути движения воздушные слои начинают ускоряться. Максимального значения скорости воздушного потока достигают перед зоной ротора 1. Повышенной кинетической энергией пропорционально кубу скорости этот поток вращает роторы 1. Еще две части роторов находятся в зазоре 4 между кабиной 3 и фургоном 2, у которых внутренние части лопастей свободны от импульса воздушного потока. Разность давлений на лопасти роторов 1 создает крутящий момент вокруг осей роторов 1. Роторы 1 вращают ротор генераторов 6 вырабатывающих электрическую энергию, которые заряжают буферный накопитель – аккумуляторную батарею.

Во время кратковременных остановок, для отдыха водителя или технического обслуживания рефрижератора холодильная установка питается от буферного накопителя электроэнергии: аккумуляторной батареи или буферного накопителя холода установленных внутри фургона 2. Во время длительного времени стоянки для отдыха водителя на специально оборудованных магистральных стоянках предусмотрена система питания компрессора от стационарного сетевого источника электроэнергии стоянки.

Приведенные примеры осуществления технического решения показывают его полезность в отрасли автоперевозок легкопояющихся грузов. Применение заявляемого авторефрижератора с аэроэлектрогенератором способствует экономии топлива, являющегося обычно производным от невозобновляемых источников энергии, и уменьшению веса авторефрижератора.

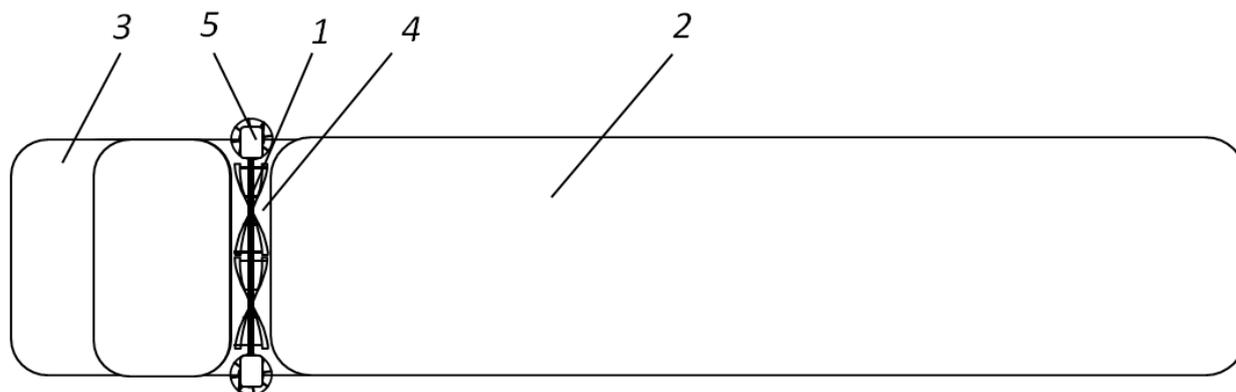


Рис. 1 - Авторефрижератор с аэроэлектрогенератором, вид сверху  
1 – ротор, 2 – фургон, 3 – кабина, 4 – зазор, 5 – согласующий элемент

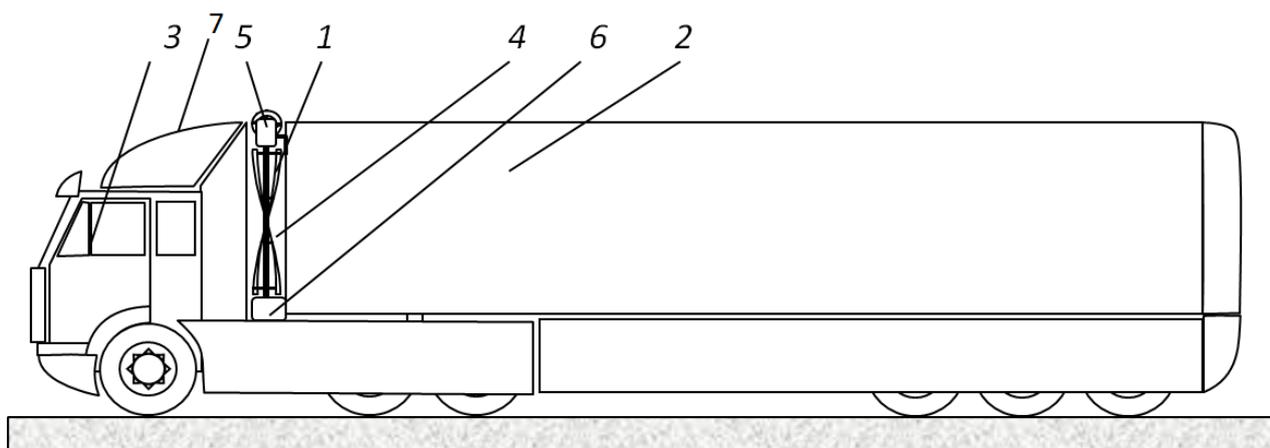


Рис. 2 - Авторефрижератор с аэроэлектрогенератором, вид сбоку  
1 – ротор, 2 – фургон, 3 – кабина, 4 – зазор, 5 – согласующий элемент,  
6- генераторы, 7 - спойлер

**Список литературы**

1. Липанов А.М., Вахрушев А.В., Алиев А.В., Шелковников Ю.К. Транспортный холодильный агрегат. Патент РФ № 2056307.
2. Круглов Н.В., Круглов Д.Н. Компрессионная установка транспортного рефрижератора. Патент РФ № 2082633.

05.02.00

**А.О. Карелин, Э.А. Петровский, В.Б. Ясинский**

Сибирский федеральный университет, институт нефти и газа,  
кафедра технологические машины и оборудование НГО,  
Красноярск, karelin-artur@mail.ru

## **ОЦЕНКА ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ КОНСТРУКЦИИ ФИЛЬТРОЭЛЕМЕНТА СКВАЖЕННЫХ ФИЛЬТРОВ ДЛЯ НЕФТЕДОБЫЧИ**

**DOI:10.24153/2079-5920-2017-7-2-22-24**

*Для любой конструкции фильтров, существует набор свойств, многие из которых относятся непосредственно к конструкции фильтроэлемента, такие как тонкость фильтрации, коэффициент сепарации, регенерируемость, фильтруемость, грязеемкость, ресурс работы. Это позволяет подойти к решению вопросов, связанных с оценкой технологичности конструкции фильтров скваженных и выбора относительных показателей с учетом трудоемкости, стоимости и материалоемкости. В работе предлагаются фильтроэлементы из полимеров обеспечивающие высокую степень очистки от загрязнений.*

*Ключевые слова: фильтры скважинные, фильтроэлемент, тонкость фильтрации, технологичность конструкции, пористый фильтроэлемент.*

Фильтры скважинные (ФС) предназначены для заканчивания горизонтальных скважин применяются в строительстве нефтегазодобывающих и водозаборных скважин. Скважинный фильтр предназначен для предотвращения разрушения слабоцементированных коллекторов и попадания в скважину механических примесей при ее эксплуатации [1, 3].

Работа ФС заключается в прохождении фильтруемой среды через фильтрующий элемент и, далее, через отверстия в перфорированной трубе - во внутреннюю полость трубы, откуда фильтруемая среда перекачивается погружными УЭЦН к устью скважины.

При этом решаются следующие задачи:

- разобщаются пласты с разным пластовым давлением;
- предотвращается вынос песка и частиц породы;
- продляется срок службы скважинного и наземного оборудования;
- увеличивается объем добычи по сравнению с не оборудованными фильтрами скважинами;
- снижаются расходы на спуско-подъемные операции;
- снижаются расходы на ремонтные работы;
- снижается износ насосно-компрессорных труб.

В настоящее время на рынке присутствуют ФС двух исполнений по типу фильтроэлемента - щелевой(проволочный) и сетчатый [1 – 3].

Сетчатые и проволочные конструкции фильтров используют в механизированном фонде скважин достаточно долго, однако за это время такие конструкции фильтров не претерпели серьезных изменений. Одними из первых начали использовать щелевые фильтры, они же трубчатые, которые имеют наиболее простую конструкцию, зачастую представляют собой перфорированную трубу определенного диаметра. В обоих случаях применение щелевых фильтров ограничено в связи с трудностями изготовления отверстий в соответствии с размерами твердых примесей.

Наиболее рациональным использованием сетчатых фильтров является их применение в скважинах с большим содержанием среднезернистого песка, с размерами частиц 0,25-0,5 мм, а также мелкозернистого, с размерами частиц от 0,1 до 0,25 мм. В таких случаях в качестве

фильтрующего элемента оптимальным решением является применение сетки галунной конфигурации. К недостаткам следует отнести невозможность фильтрации мелкодисперсных фракций песка размером от 10 до 30 мкм.

Фильтры с ФЭ из проволочно-проницаемых материалов (ППМ) представляет собой деформированную по спирали сплетенную проволоку, образующую открыто-пористую упругую систему. Тонкость фильтрации может достигать 30 мкм, такой показатель является актуальным для многих регионов РФ. При работе фильтров возможно смятие защитных колец удерживающих ППМ, а также, ухудшение притока в насос в условиях большого содержания мелкодисперсных частиц песка и глины.

Для любой конструкции фильтров, существует набор свойств, многие из которых относятся непосредственно к ФЭ, такие как тонкость фильтрации, коэффициент сепарации, регенерируемость, фильтруемость, грязеемкость, ресурс работы.

Исходя из уже существующих классификации свойств фильтрационных материалов, дополнив ее и привести ее в соответствие с рассматриваемым оборудованием, можно составить классификацию свойств фильтров используемых в составе УЭЦН. Это позволяет подойти к решению вопросов, связанных с оценкой технологичности конструкции ФС и выбора относительных показателей с учетом трудоемкости, стоимости и материалоемкости.

Таблица 1 – Свойства фильтров

Фильтрационные свойства	Прочностные свойства	Ресурсные свойства	Структурные свойства
Тонкость фильтрации	Прочность на разрыв	Фильтруемость	Скважинность
Коэффициент сепарации	Прочность на изгиб	Грязеемкость	Гидравлическое сопротивление
Регенерируемость	Прочность на продавливание	Ресурс работы	Размер фильтрационных ячеек

Если рассматривать конструкции фильтров в целом, все они имеют общие недостатки:

- невозможность регенерации фильтра в процессе эксплуатации;
- фильтры являются неремонтопригодными;
- механические примеси не удаляются из скважины, а лишь задерживаются фильтром, что способствует ограничению притока из скважины.

Ключевые направления в совершенствовании конструкций фильтров является:

- применение современных полимерных материалов в качестве ФЭ;
- реализация регенерации фильтра без остановки добычи;
- удешевление конструкции, для достижения более высокого экономического эффекта.

Таким образом, каждая конструкция фильтров имеет определенные оптимальные условия эксплуатации, ряд достоинств и недостатков, но не одна из них не является универсальной. Именно по этому конструкции фильтров нуждаются в более глубоком изучении для их дальнейшего совершенствования.

Предлагаемые проектом составные наборные фильтры по сравнению со щелевыми фильтрами имеют преимущества при прохождении фильтром участком сужений скважины или через интервалы скважины с большой интенсивностью кривизны. Наборные фильтроэлементы на основе полимеров имеют следующие преимущества по сравнению с щелевыми и сетчатыми фильтрующими элементами:

- по эффективности фильтрации за счет многоканальных, объемно-ориентированных стабильных по размеру ячейки пористых структур или конструкции сотовых кольцевых элементов из композиционных материалов;
- возможность седиментации (при фильтрации за счет использования многоканального по размеру пористых пропускных ячеек или слоев);
- повышение стойкости при эксплуатации в экстремальных условиях (абразивного, коррозионно-химического воздействия, агрессивных сред и температур).

Конфузорная часть каналов между витками проволоки треугольного сечения фильтрующего элемента быстрее забивается отфильтрованными частицами, чем фильтрующая сетка и просечно-вытяжной лист, которые имеют значительно большую скважинность и более оптимальную конфигурацию фильтрующего сечения. В то же время мелкая фракция песка и пород будет просачиваться в случаях использования щелевых и сетчатых фильтроэлементов (рис. 1). Предлагаемая конструкция имеет разветвленную пространственную пористую каналную структуру и исключает прохождение мелких фракций примесей.

Фильтроэлементы из полимеров обеспечивающие высокую степень очистки от загрязнений, удобны в эксплуатации по причине простоты технологии изготовления фильтрующих композитов, имеют технико-экономические преимущества по сравнению с проволочными и сетчатыми скважинными фильтрами за счет возможности быстрой смены (ФЭ).

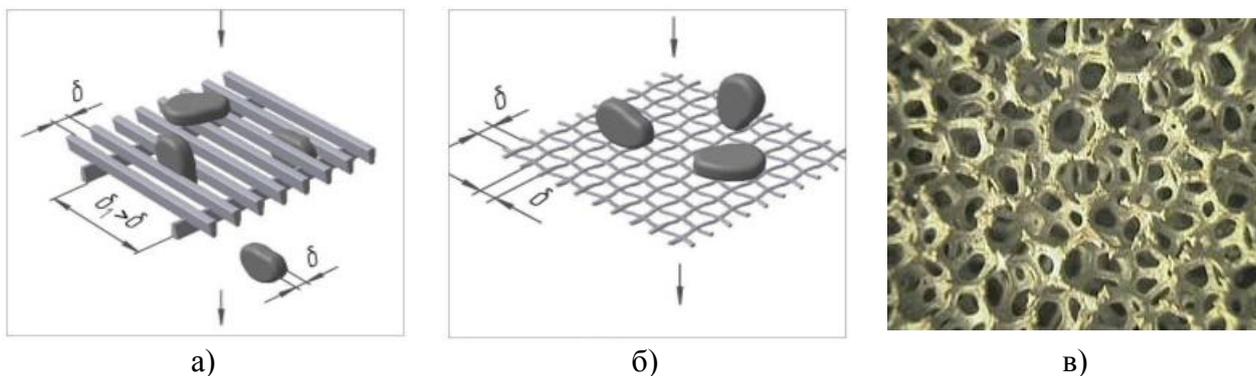


Рис. 1- Схема фильтрации различного конструктивного исполнения фильтроэлемента

Фильтрующие пористые элементы получают методами порошковой металлургии из различных недефицитных порошковых смесей. Составы (композиции) могут изменяться в зависимости от принятой к реализации технологической схемы. Детали из композиционных материалов обладают следующими преимуществами: простота и экономичность в технологии изготовления, высокая удельная прочность, коррозионная стойкость, простота сборки – разборки, а значит проведения ремонтов и замены фильтрующих элементов, повышенная эффективность фильтрации в сравнении с базовыми (стандартными) щелевыми и сетчатыми фильтрами.

#### **Список литературы**

1. Гаврилко В.М., Алексеев В.С. Фильтры буровых скважин. М., Недра, 1976
2. Басович И.Б., Капцанов Б.С. Выбор фильтрационных моделей по данным гидродинамических исследований скважин. — Нефт. хоз-во. 1980. № 3. С. 44-47.
3. Колмаков Е.А., Кондрашов П.М., Зеньков И.В. Обзор конструкций фильтров в составе погружных электро-центробежных насосов при добыче нефти. Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2016. №1. С. 150-155.

05.02.09

**И.И. Некрасов к.т.н., А.П. Карамышев к.т.н., А.А. Федулов к.т.н.,  
В.С. Паршин д.т.н., А.И. Дронов, В.А. Хорев**

ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет  
имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»,  
Механико-машиностроительный институт,  
Кафедра металлургических и роторных машин,  
Екатеринбург, andrey.karamyshev@yandex.ru

### **ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСИЛИЯ ОБРАТНОГО ХОДА ПУАНСОНА ПРИ НАРУЖНОЙ ВЫСАДКЕ КОНЦОВ НАСОСНО-КОМПРЕССОРНЫХ ТРУБ**

**DOI:10.24153/2079-5920-2017-7-2-25-27**

*В статье представлены результаты по определению величины усилия обратного хода пуансона в процессе наружной высадки насосно-компрессорных труб в зависимости от времени выдержки пуансона в контакте с трубной заготовкой после окончания прямого хода. Проведен анализ полученных величин, а также даны рекомендации по уменьшению величины усилия обратного хода и повышению стойкости инструмента.*

Ключевые слова: насосно-компрессорные трубы, высадка, пуансон, усилие обратного хода, математическая модель.

Наружная высадка концов насосно-компрессорных труб (НКТ) применяется для увеличения толщины стенки концов труб и их наружного диаметра с целью последующей нарезки специальных резьб. Насосно-компрессорные трубы применяют в нефтяной и газовой промышленности. Эксплуатация труб происходит в жестких условиях воздействия окружающей среды. На сегодняшний день наряду с высадкой концов труб из сталей марок 30Г2, 32Г2, 37Г2Ф и др. происходит освоение выпуска и выпуск труб в коррозионностойком исполнении из марок сталей 18ХМФБ, 18Х3МФБ и 15Х5МФБ, обладающих повышенной прочностью, что требует оценки нагруженности технологического оборудования и инструмента для проведения операции высадки [1]

Технология высадки на горизонтальном высадочном прессе состоит из нагрева конца трубы в индукторе до температуры 1300 °С, транспортировки трубы на ось прессования, зажима трубы, процесса высадки конца трубы в пространстве между матрицей и пуансоном (рис. 1), путем перемещения пуансона и выдачи трубы из пресса.

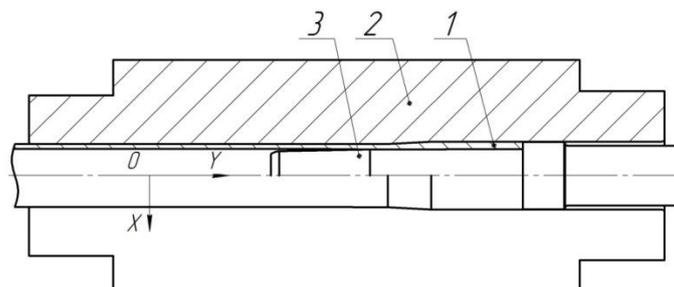


Рис. 1 – Инструмент и заготовка в процессе наружной высадки концов труб:  
1 – заготовка; 2 – матрица; 3 – пуансон

Существующие на сегодня исследования процесса высадки посвящены в основном определению усилия прямого хода [2]. Вместе с тем при обратном ходе пуансона в подобных процессах, как известно, могут возникать значительные усилия, связанные с изменением свойств металла заготовки (охлаждение) и нагружением тела пуансона [3].

С целью определения усилия обратного хода в данной работе было проведено моделирование процесса высадки с использованием метода конечных элементов,

включающее последовательное решение задач: по нагреву конца трубы, охлаждению при транспортировке на ось пресса, высадке, выдержке трубы с высаженным участком в условиях контакта с инструментом, извлечению пуансона из трубы.

Решение проведено в программном комплексе DEFORM-3D. Материал заготовки принимался пластичным, матрицы – жестким, пуансона – упругим. Исследование проводилось на примере высадки концов труб НКТ из стали 15Х5МФБ типоразмера 73,02x5,51 мм со стандартной длиной высаженной части 100 мм. На рис. 2 изображены расчетные зависимости усилия, действующего на пуансон в процессе высадки от времени.

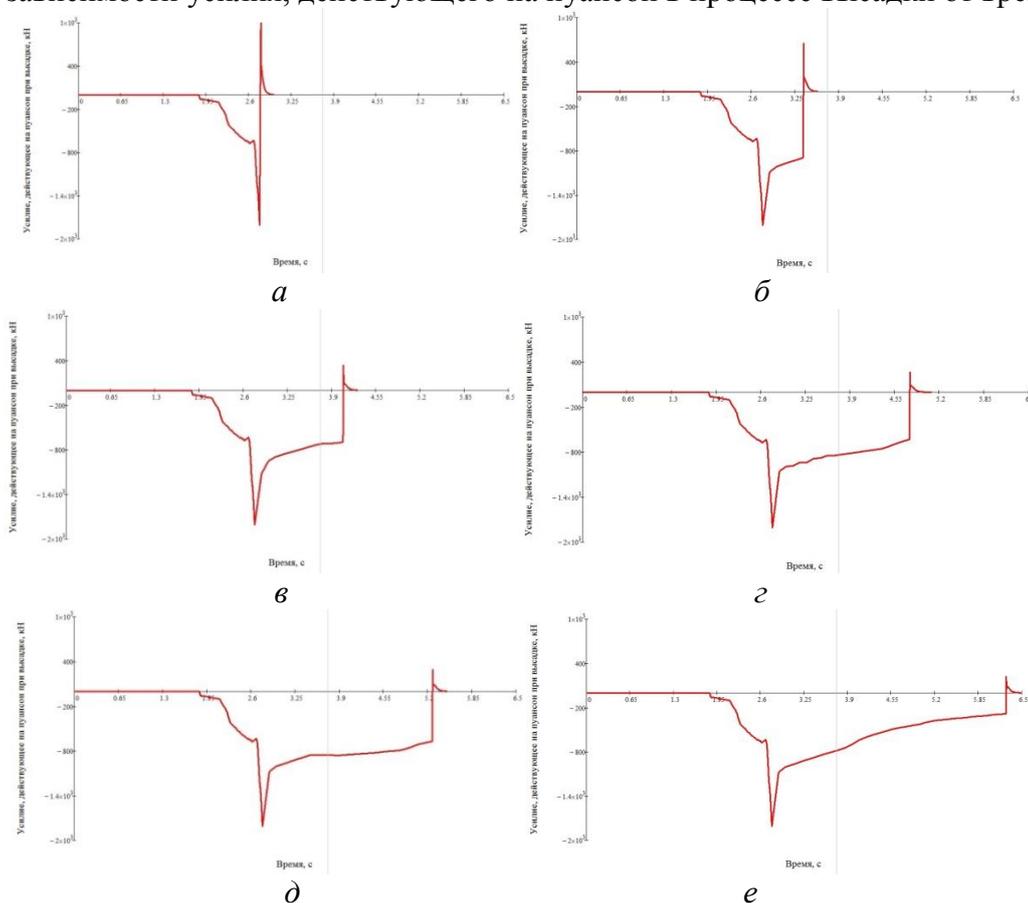


Рис. 2 – Зависимость усилия, действующего на пуансон, от времени протекания процесса наружной высадки концов труб при различных значениях времени выдержки:

$$a - t_B = 0 \text{ с}; \quad б - t_B = 0,6 \text{ с}; \quad в - t_B = 1,3 \text{ с}; \\ з - t_B = 2,0 \text{ с}; \quad д - t_B = 2,5 \text{ с}; \quad е - t_B = 3,5 \text{ с}$$

Как видно из графиков, при перемещении пуансона при высадке происходит увеличение усилия прямого хода (до величины 635 кН), связанное с заполнением пространства между матрицей и пуансоном металлом трубы. При дальнейшем перемещении пуансона усилие высадки достигает максимального значения 1840 кН в конце рабочего хода пуансона. При изменении времени контакта пуансона с высаженным участком трубы после формообразования в результате пластической деформации происходит изменение величины усилия, действующего на пуансон пресса, что связано с охлаждением высаженного участка трубы, уменьшением его длины, и, как следствие, уменьшением продольного усилия, действующего на пуансон, обладающий упругими свойствами. Направление действия усилия при этом сохраняется. Усилие обратного хода пуансона также зависит от времени выдержки пуансона и матрицы в контакте с высаженным участком трубы (рис. 3).

При  $t = 0$  с усилие обратного хода составляет 1020 кН и постепенно снижается по мере увеличения времени контакта. Причем на участке от  $t = 0$  с до  $t = 2,0$  с это снижение составляет 3,9 раза. При дальнейшем увеличении времени контакта интенсивность снижения усилия обратного хода падает.

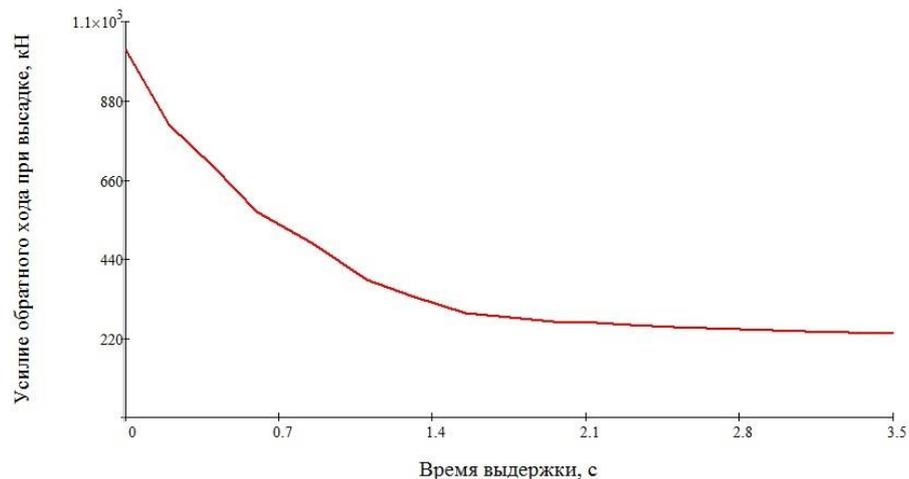


Рис. 3 – Зависимость усилия обратного хода при высадке от времени выдержки пуансона в контакте с трубной заготовкой

Как известно, в подобных процессах уменьшение времени контакта инструмента и металла повышает стойкость инструмента [4]. Следовательно, выдержка пуансона и матрицы в контакте с высаженным участком трубы в конце рабочего хода в течение  $t = 2,0$  с обеспечивает наименьшие значения нагрузок действующих на инструмент и оборудование высадочного пресса при извлечении пуансона из трубы в процессе высадки концов труб НКТ из стали 15X5МФБ типоразмера 73,02x5,51 мм со стандартной длиной высаженной части 100 мм при минимальном времени контакта инструмента с металлом.

С целью проверки адекватности созданной математической модели процесса наружной высадки концов труб произведены замеры усилия высадки на прессе SMS Meer ОАО «ПНТЗ» для типоразмера 73,02x5,51 мм из материала сталь 15X5МФБ со стандартной длиной высаженной части 100 мм. По результатам замеров давление в главном цилиндре пресса в конце рабочего хода пуансона составило 174 бар. Эта величина, с учетом диаметра поршня цилиндра, соответствует значению усилия 1770 кН.

При расчете усилия высадки по разработанной математической модели получено значение 1840 кН, соответственно отклонение расчетных и экспериментальных данных составляет 3,8%, что говорит об адекватности созданной модели реальному технологическому процессу.

Выводы. Проведенные исследования по созданию математической модели процесса наружной высадки концов труб позволяют получить зависимости величины усилия обратного хода пуансона от времени выдержки пуансона в условиях контакта с высаженным участком трубной заготовки для различного сортамента труб. Расчет согласно предложенной модели позволяет вести обоснованный выбор технологических режимов данного процесса.

#### Список литературы

1. Карамышев А.П. Исследование сопротивления деформации сталей 18ХМФБ и 18ХЗМФБ при горячей деформации / А.П. Карамышев, И.И. Некрасов, А.В. Коновалов, А.С. Смирнов, В.С. Паршин, А.А. Федулов, А.И. Дронов, А.В. Серебряков // *Металлург*. 2015. № 11. С.110-112
2. Выдрин А.В. Математическая модель процесса высадки концов труб / А.В. Выдрин, А.В. Зинченко, Б.В. Баричко // *Труды 19 Международной научно-практической конф. «Трубы–2011»* – Челябинск: ОАО «РосНИТИ», 2011. – Ч.II – С. 270–275.
3. Кузнецов В.И. Оценка влияния выбора технологической смазки на силовые параметры высадки концов бурильных труб / В.И. Кузнецов, Б.В. Баричко, Н.П. Самкова, Р.Н. Фартушный, А.В. Зинченко // *Труды 17 Международной научно-практической конф. «Трубы–2009»* – Челябинск: ОАО «РосНИТИ», 2009. – Ч.II – С. 237–238.
4. Довнар С.А. Термомеханика упрочнения и разрушения штампов объемной штамповки / С.А. Довнар - М.: Машиностроение, 1975. – 255с.

05.02.00

**И.Н. Сидоров, А.В. Горелов, Д.А. Булашов**

Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева,  
кафедра теоретической и прикладной механики и математики,  
Казань, Sidorovin@mail.ru

## **ВЫЧИСЛЕНИЕ И СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ КОЭФФИЦИЕНТОВ ЖЕСТКОСТИ ПЛАСТИНЧАТЫХ И МЕМБРАННЫХ СОЕДИНЕНИЙ МУФТ ГАЗОПЕРЕКАЧИВАЮЩИХ АГРЕГАТОВ**

**DOI:10.24153/2079-5920-2017-7-2-28-35**

*В работе приводится методика расчета радиальной и изгибной жесткостей соединений муфты газоперекачивающих агрегатов в виде пакета упругих элементов, анализируется изменение жесткостей при варьировании состава пакетов, проводится сравнение коэффициентов жесткости пластинчатых и мембранных соединений по критерию близости критических частот роторной системы.*

*Ключевые слова: пластинчатые и мембранные соединения муфты, коэффициенты жесткости, метод конечных элементов, критические частоты роторной системы.*

При решении задачи определения параметров вынужденных и свободных колебаний роторной системы (валопровода) газоперекачивающих агрегатов (ГПА) возникает необходимость вычисления значений коэффициентов жесткости соединений муфты, предназначенной для передачи крутящего момента от ротора свободной турбины (СТ) к ротору нагнетателя. Это связано с тем, что в современных ГПА используются пластинчатые и мембранные соединения муфты с пакетами упругих элементов [1] (рисунки 1, 2), которые допускают более высокие значения радиальных смещений и перекосов осей, имеют стабильно высокие компенсирующие свойства, низкие потери мощности, высокий ресурс, не требуют обслуживания и смазки.

Из-за сложности конструкции таких муфт вычисление значений коэффициентов жесткости, как правило, осуществляется с помощью конечно-элементных комплексов.

Поэтому целью работы является построение конечно-элементной модели (КЭМ) пластинчатых соединений (ПС) муфты с учетом контактного взаимодействия её элементов и на основе этой модели вычисление значений коэффициентов жесткости этих ПС, сравнение коэффициентов жесткости ПС и мембранных соединений (МС) муфт по критерию близости критических частот роторной системы ГПА при различных способах соединения СТ и нагнетателя.

На рисунке 1 изображена упрощенная геометрическая модель конструкции ПС муфты ГПА-16 «Волга» КС-22 «Помарская», используемая в расчетах.

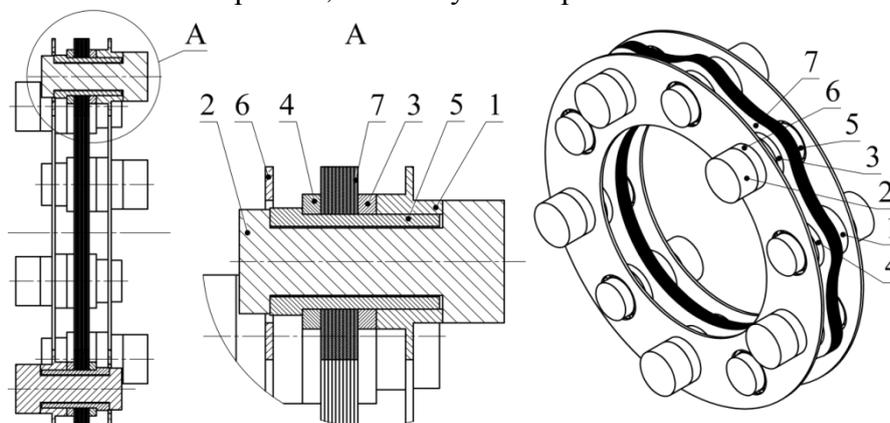


Рис. 1 – Конструкция ПС муфты: 1, 6 – фланец; 2 – болт; 3, 4 – шайба; 5 – втулка; 7 – пластина

В данной работе построение КЭМ ПС муфт осуществляется с помощью конечно-элементного комплекса ANSYS Workbench. При построении использовался 20-ти узловой трехмерный квадратичный конечный элемент (КЭ) SOLID186 и 10-ти узловой квадратичный КЭ в форме тетраэдра SOLID187, применяемые для решения задач упруго-пластического деформирования элементов конструкций (рисунок 2а).

Расчет коэффициентов жесткости проводился с учетом усилия предварительного натяжения в теле элемента, скрепляющего пакет пластин и фланец (позиции 2, 3, 4, 5 на рисунке 1). Величина этого усилия вычислялась при помощи методики [2] и его приложение к телу элемента выполнялось при помощи КЭ PRETS179 [3].

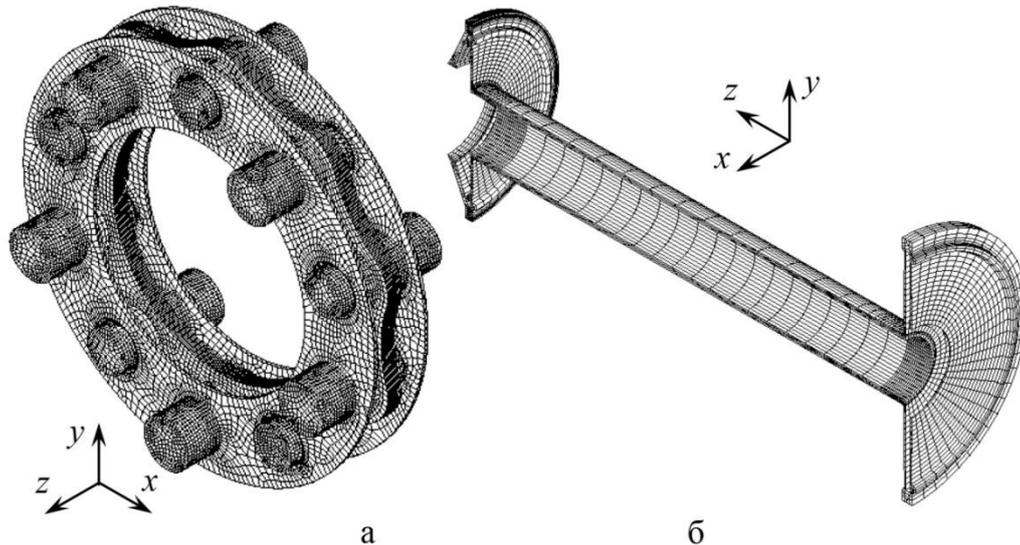


Рис. 2 – КЭМ муфты ГПА-16 «Волга» КС-22 «Помарская»: а–пластинчатой; б–мембранной  
 При деформировании ПС муфты его элементы могут входить в контактное взаимодействие. Поэтому при численной реализации создавались симметричные пары контактного взаимодействия при помощи специальных поверхностных элементов: CONTA174 (8-ми узловой для моделирования контактного взаимодействия и скольжения между контактными и ответными поверхностями) и TARGE170 (элемент, используется для разнообразных трехмерных ответных поверхностей для связи с контактными элементами CONTA174) [3].

Между пластинами и всеми деталями, с которыми они соприкасаются (втулки и шайбы), устанавливался контакт без трения (Frictionless). Между остальными деталями, которые соприкасаются, назначался неразделяемый связанный контакт (Bonded).

Для уменьшения размерности задачи (числа КЭ) реальные фланцы заменяются упрощенными фланцами (позиция 1 и 6 на рисунке 1), которые представляют из себя пластины малой толщины с бобышками, материал которых «абсолютно жесткий» (модуль Юнга материала фланца на 5 порядков больше модуля Юнга материала остальных элементов конструкции). Один из фланцев жестко фиксировался по всем лицевым поверхностям, к другому прикладывались усилия для вычисления жесткостей (рисунок 3). Для вычисления жесткости в радиальном направлении  $C_r$  к внутренней поверхности отверстия 3 кольца свободного фланца с помощью элементов поверхностных эффектов SURF154 [3] прикладывалось усилие  $F_y$ . Для вычисления угловой жесткости  $C_{\omega_x}$  в центрах противоположных отверстий 1, 2 прикладывалась пара сил направленных в противоположные стороны и создающая изгибающий момент  $M_x$ .

В зависимости от числа пластин и варианта расчета КЭМ содержала максимальное количество КЭ и узлов соответственно порядка 220 тысяч и порядка 860 тысяч.

Материалы деталей ПС муфты и их физико-механические характеристики, которые использовались при расчетах представлены в таблице 1.

Таблица 1–Материалы и физико-механические характеристики деталей ПС

Элементы конструкции	Фланец	Болт, шайбы, втулка	Пластина (П0)	Пластина (П1)	Пластина (П2)
Название материала	–	–	–	12X18H9	20X13
Модуль Юнга, МПа	$2 \cdot 10^{10}$	$2 \cdot 10^5$	$2 \cdot 10^5$	$2,05 \cdot 10^5$	$2,18 \cdot 10^5$
Коэффициент Пуассона	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33

Серии расчетов параметров напряженно-деформированного состояния (НДС) элементов ПС муфты были проведены для вариантов с различным количеством пластин толщиной 1,2 мм и 0,4 мм отдельно для определения радиальной жесткости  $C_r$  и отдельно для угловой жесткости  $C_{\omega_x}$ . По результатам расчета НДС инструментом Probe на внутренних поверхностях отверстий с приложенными нагрузками определялись максимальные и минимальные перемещения (для расчета  $C_r$  на внутренней поверхности отверстия 3 на рисунке 3, для расчета  $C_{\omega_x}$  отдельно на внутренних поверхностях отверстий 1 и 2).

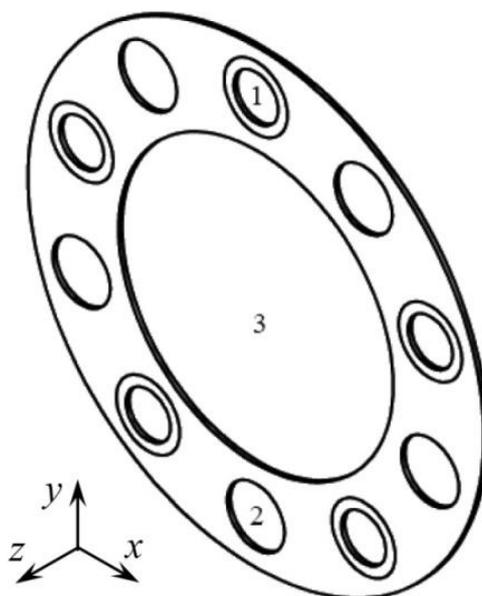


Рис. 3 – Схема нагружения ПС при вычислении жесткостей

Перемещения на одной и той же поверхности осреднялись и вычислялись жесткости  $C_r$  и  $C_{\omega_x}$  по формулам

$$C_r = \frac{F_y}{|U_y|}, \quad C_{\omega_x} = \frac{M_x}{\omega_x}, \quad \omega_x = \frac{|U_{z1}| + |U_{z2}|}{d_{12}}, \quad M_x = F_z d_{12},$$

где  $U_y$  – среднее перемещение вдоль оси  $y$  поверхности отверстия 3 (рисунок 3),  $U_{z1}$  и  $U_{z2}$  – средние перемещения вдоль оси  $z$  поверхностей отверстий 1 и 2,  $F_y$  и  $F_z$  – приложенные силы,  $M_x$  – изгибающий момент,  $\omega_x$  – угол малого поворота относительно оси  $x$ ,  $d_{12}=0.255\text{м}$  – диаметр концентрической окружности центров отверстий 1 и 2.

В таблице 2 представлены результаты расчета по определению радиальной и угловой жесткостей для пластин П0 толщиной 1,2 мм с количеством пластин в пакете – 1, 3, 5, 10 штук и для пластин толщиной 0,4 мм с одной пластиной для материалов 12X18H9, 20X13.

Результаты этих расчетов показывают, что радиальная и угловая жесткости увеличиваются практически пропорционально количеству пластин. Решаемая задача не является кинематически линейной, т.к. используются контактные КЭ.

Таблица 2– Результаты расчета радиальной и угловой жесткостей пластин

Толщина пластины в мм и тип материала	Число пластин	Радиальные перемещения $U_y$ , м	Приложенная сила $F_y$ , Н	Радиальная жесткость $C_r$ , Н/м	Отношение жестк. $C_r$ к числу пластин, Н/м	Осевые перемещения $U_z$ отверстия 1, м	Осевые перемещения $U_z$ отверстия 2, м	Приложенный момент $M_x$	Угловая жесткость $C_{\text{угл}}$ , Н·м/рад	Отношение жестк. $C_{\text{огл}}$ к числу пластин, Н·м/рад
1,2П0	1	$3,03 \cdot 10^{-6}$	200	$6,60 \cdot 10^7$	$6,60 \cdot 10^7$	$-1,23 \cdot 10^{-3}$	$1,21 \cdot 10^{-3}$	200	$2,09 \cdot 10^4$	$2,09 \cdot 10^4$
	3	$1,14 \cdot 10^{-6}$	200	$17,5 \cdot 10^7$	$5,83 \cdot 10^7$	$-0,434 \cdot 10^{-3}$	$0,402 \cdot 10^{-3}$	200	$6,10 \cdot 10^4$	$2,03 \cdot 10^4$
	5	$0,725 \cdot 10^{-6}$	200	$27,6 \cdot 10^7$	$5,52 \cdot 10^7$	$-0,263 \cdot 10^{-3}$	$0,228 \cdot 10^{-3}$	200	$10,4 \cdot 10^4$	$2,08 \cdot 10^4$
	10	$0,478 \cdot 10^{-6}$	200	$41,8 \cdot 10^7$	$4,18 \cdot 10^7$	$-0,129 \cdot 10^{-3}$	$0,0905 \cdot 10^{-3}$	200	$23,2 \cdot 10^4$	$2,32 \cdot 10^4$
0,4П2	1	$5,81 \cdot 10^{-5}$	200	$3,44 \cdot 10^6$	$3,44 \cdot 10^6$	$-6,56 \cdot 10^{-3}$	$6,65 \cdot 10^{-3}$	50	$9,65 \cdot 10^2$	$9,65 \cdot 10^2$
0,4П1	1	$6,16 \cdot 10^{-5}$	200	$3,25 \cdot 10^6$	$3,25 \cdot 10^6$	$-6,97 \cdot 10^{-3}$	$7,06 \cdot 10^{-3}$	50	$9,09 \cdot 10^2$	$9,09 \cdot 10^2$

Тем не менее на основании результатов расчета можно предположить, что для муфт с пластинами из материалов типов П1 и П2 толщиной 0,4 мм радиальная и угловая жесткости также будут пропорционально количеству пластин. На основании этого вывода и предположения, что для муфты с пластинами из материалов типов П1 и П2 толщиной 0,4 мм радиальная и угловая жесткости также будут пропорционально количеству пластин, вычислены радиальные и угловые жесткости для пакета из 30-ти пластин толщиной 0,4 мм. При этом использовались данные для одной пластины из таблицы 2. Результаты расчетов приведены в таблице 3. Здесь же для сравнения приведены жёсткости МС муфты ГПА-16 «Волга» КС-22 «Помарская» (рисунок 2б).

Таблица 3– Жёсткости муфты ГПА-16 «Волга» КС-22 «Помарская»

Тип соединения	Вид упругого соединения или толщина пластины в мм и тип материала	Число пластин	Радиальная жесткость $C_r$ , Н/м	Угловая жесткость $C_{\text{угл}}$ , Н·м/рад
ПС	1,2П0	10	$41,8 \cdot 10^7$	$23,2 \cdot 10^4$
	0,4П1	30	$9,7 \cdot 10^7$	$2,73 \cdot 10^4$
	0,4П2	30	$10,3 \cdot 10^7$	$2,9 \cdot 10^4$
МС	Соединение со стороны привода	—	$7,81 \cdot 10^8$	$1,49 \cdot 10^4$
	Соединение со стороны нагнетателя	—	$3,67 \cdot 10^7$	$6,11 \cdot 10^3$

Полученные характеристики соединений муфт использовались при расчетах критических частот ГПА-16 «Волга» КС-22 «Помарская». Соединения муфты считались изотропными, обладающими жесткостью в поперечном (радиальном) направлении и на поворот относительно поперечных осей. Для расчетов использовалась программа «Валопровод» (Свидетельство о государственной регистрации для ЭВМ № 2016610276 от 11.01.2016), при создании которой использовалась математическая модель для анализа поперечных колебаний роторных систем [4]. С помощью этой программы была создана расчетная модель валопровода ГПА-16 «Волга» КС-22 «Помарская» (рисунок 4).

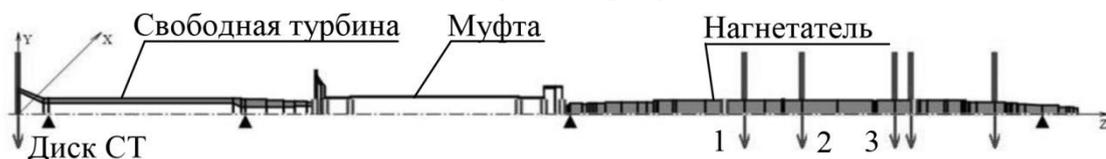


Рис. 4 – Модель валопровода ГПА: ▲ – опора, ↓ – диск

При формировании этой модели были использованы геометрические и массово-инерционные параметры элементов валопровода ГПА-16 «Волга» КС-22 «Помарская» с приводом НК-16-18 СТ. Последовательность расположения этих элементов и их параметров вдоль оси валопровода, начиная со свободной турбины, представлена в таблице 4. Физико-механические характеристики используемых материалов элементов валопровода приведены в таблице 5. Данные таблиц 4,5 являются исходными программы «Валопровод» для решения задачи вынужденных поперечных колебаний валопровода ГПА.

Таблица 4 – Геометрические и массово-инерционные параметры ГПА

№ участка	Длина участка, мм	Продольная координата правой границы участка, мм	Диаметр вала, мм				Навешенные элементы			Примечание	
			наружный		внутренний		Масса, кг	Массовый полярный момент инерции, кгм <sup>2</sup>	Массовый диаметр. момент инерции, кгм <sup>2</sup>		
			в начале участка	в конце участка	в начале участка	в конце участка					
0	0,0	0,0					345,78	43,84	21,92	Диск СТ с лопатками	Вал СТ
1	144,0	144,0	297,0	182,0	260,0	135,0					
2	25,0	169,0	182,0	182,0	135,0	135,0				Опора 1 СТ	
3	1036,0	1205,0	182,0	182,0	135,0	135,0					
4	43,0	1248,0	182,0	182,0	135,0	90,0					
5	25,0	1273,0	170,0	170,0	90,0	90,0				Опора 2 СТ	
6	113,0	1386,0	170,0	170,0	90,0	90,0					
7	98,0	1484,0	165,0	165,0	90,0	90,0					
8	62,0	1546,0	150,0	150,0	90,0	90,0					
9	68,0	1614,0	150,0	150,0	92,0	92,0	24,69	0,46	0,3379	П/муфта СТ	
10	44,0	1658,0	140,0	140,0	92,0	92,0					
	0,0	1658,0									
11	10,0	1668,0	500,0	500,0	436,0	403,0					Муфта-трансмиссия
12	25,0	1693,0	445,0	377,0	403,0	320,0					
13	22,0	1715,0	377,0	320,0	172,0	172,0				Пакет упругих пластин	
	0,0	1715,0					18,09	0,319	0,163	Фланец Ф1	
14	143,0	1858,0	200,0	200,0	186,0	186,0	6,95	0,104	0,052	Фланцы Ф5	
	0,0	1858,0									
15	939,0	2797,0	210,0	210,0	198,0	198,0					
	0,0	2797,0					6,95	0,104	0,052	Фланцы Ф5	
16	143,0	2940,0	200,0	200,0	186,0	186,0	18,09	0,319	0,163	Фланец Ф1, пакет упругих пластин	
	0,0	2940,0					8,38	0,124	0,062	Фланец Ф2	
17	57,0	2997,0	320,0	320,0	300,0	300,0	8,33	0,26	0,131	Фланец Ф3	
18	40,0	3037,0	324,0	324,0	310,0	310,0	5,21	0,091	0,0455	Фланец Ф4	
	0,0	3037,0									
19	30,0	3067,0	100,0	100,0	0,0	0,0					Вал нагнетателя НЦ16/76-1,44
20	10,0	3077,0	102,0	102,0	0,0	0,0	18,49	0,1832	0,127	П/муфта нагнетателя	
21	6,0	3083,0	118,0	118,0	0,0	0,0					
22	70,0	3153,0	130,0	130,0	0,0	0,0					
23	25,0	3178,0	118,0	118,0	0,0	0,0					
24	20	3198,0	131,0	131,0	0,0	0,0					
25	17,0	3215,0	135,0	135,0	0,0	0,0	17,50				
26	18,0	3233,0	135,0	135,0	0,0	0,0					
27	51,0	3284,0	132,0	132,0	0,0	0,0					
28	88,0	3372,0	135,4	139,0	0,0	0,0	66,00	0,6149	0,3074	Опора, магнитный подшипник 1	
29	92,0	3464,0	139,0	142,8	0,0	0,0					
30	50,0	3514,0	142,8	142,8	0,0	0,0					
31	35,0	3549,0	146,0	146,0	0,0	0,0	0,68				
32	5,0	3554,0	146,0	146,0	0,0	0,0					
33	14,0	3568,0	158,0	158,0	0,0	0,0					
34	8,0	3576,0	150,0	150,0	0,0	0,0					
35	83,0	3659,0	159,0	159,0	0,0	0,0	24,70				
36	17,0	3676,0	159,0	159,0	0,0	0,0					
37	161,5	3837,5	160,0	160,0	0,0	0,0	11,70				
38	90,0	3927,5	160,0	160,0	0,0	0,0					
39	7,0	3934,5	159,0	159,0	0,0	0,0					
40	10,0	3944,5	160,0	160,0	0,0	0,0					

Продолжение таблицы 4

№ участка	Длина участка, мм	Продольная координата правой границы участка, мм	Диаметр вала, мм				Навешенные элементы			Примечание
			наружный		внутренний		Масса, кг	Массовый полярный момент инерции, кгм <sup>2</sup>	Массовый диаметр, момент инерции, кгм <sup>2</sup>	
			в начале участка	в конце участка	в начале участка	в конце участка				
	0,0	3944,5								
41	8,0	3952,5	148,0	148,0	0,0	0,0	1,90			Кольцо поз. 14 + полукольца поз. 15
42	8,0	3960,5	148,0	148,0	0,0	0,0				
43	100,0	4060,5	160,3	160,3	0,0	0,0	118,00	8,2969	4,1484	Диск 1 (Ø 750)
44	110,0	4170,5	160,3	160,3	0,0	0,0	8,10			
45	99,0	4269,5	160,3	160,3	0,0	0,0				
46	10,0	4279,5	175,0	175,0	0,0	0,0				
47	100,0	4379,5	160,3	160,3	0,0	0,0	114,00	8,0156	4,0078	Диск 2 (Ø 750)
48	198,0	4577,5	160,3	160,3	0,0	0,0	14,60			Втулки поз. 7, 8, 12
49	198,0	4775,5	160,3	160,3	0,0	0,0				
50	12,0	4787,5	150,0	150,0	0,0	0,0	0,77			
51	8,0	4795,5	150,0	150,0	0,0	0,0				
52	100,0	4895,5	160,3	160,3	0,0	0,0	114,00	8,0156	4,0078	Диск 3 (Ø 750)
53	90,0	4985,5	160,3	160,3	0,0	0,0	43,50	1,0527	0,5264	Диск поз. 13 (думмис Ø 440)
54	21,0	5006,5	160,3	160,3	0,0	0,0				
	0,0	5006,5								
55	8,0	5014,5	148,0	148,0	0,0	0,0	0,77			Кольцо поз. 14, полукольца поз. 15
56	8,0	5022,5	148,0	148,0	0,0	0,0				
57	10,0	5032,5	160,0	160,0	0,0	0,0				
58	7,0	5039,5	159,0	159,0	0,0	0,0				
59	40,0	5079,5	160,0	160,0	0,0	0,0	3,10			Втулка поз. 11
60	92,5	5172,0	160,0	160,0	0,0	0,0				
61	17,0	5189,0	159,0	159,0	0,0	0,0	24,70			
62	83,0	5272,0	159,0	159,0	0,0	0,0				
63	8,0	5280,0	150,0	150,0	0,0	0,0				
64	14,0	5294,0	158,0	158,0	0,0	0,0				
65	15,0	5309,0	144,2	144,2	0,0	0,0	0,68			
66	5,0	5314,0	144,2	144,2	0,0	0,0				
67	43,0	5357,0	143,0	143,0	0,0	0,0				
68	97,0	5454,0	143,0	140,5	0,0	0,0	60,60	1,212	0,606	Диск ТАИК (Ø 400)
69	57,0	5511,0	140,5	135,6	0,0	0,0				
70	11,0	5522,0	132,0	132,0	0,0	0,0				
71	17,0	5539,0	135,0	135,0	0,0	0,0	0,86			
72	12,0	5551,0	135,0	135,0	0,0	0,0	2,20			
73	30,0	5581,0	135,0	135,0	0,0	0,0				
74	5,0	5586,0	116,0	116,0	0,0	0,0	0,65			
75	40,0	5626,0	116,0	116,0	0,0	0,0				
76	93,0	5719,0	116,0	112,1	0,0	0,0	74,60	0,695	0,3475	Опора, магнитный подшипник 2
77	92,0	5811,0	112,1	108,3	0,0	0,0				
78	47,0	5858,0	87,0	87,0	0,0	0,0				
79	17,0	5875,0	90,0	90,0	0,0	0,0	1,47			
80	18,0	5893,0	90,0	90,0	0,0	0,0				
81	22,0	5915,0	70,0	70,0	0,0	0,0				

Вал нагнетателя НЦ16/76-1,44

Все объекты (навешенные элементы, опоры и т.п.) располагаются на правой границе соответствующего участка.

Таблица 5– Физико-механические характеристики материалов ГПА

Материал (где используется)	Модуль Юнга $E$ , МПа	Коэфф. Пуассона $\nu$	Плотность $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>
Сталь 13X11H2B2MФ-Ш при $t = 110^\circ\text{C}$ (вал привода – участки 1–10)	$1,92 \cdot 10^5$	0,28	$7,8 \cdot 10^3$
Сплав ВТ9 (полумуфта СТ)	$1,10 \cdot 10^5$	0,3	$4,5 \cdot 10^3$
Сталь 38ХНЗМА (полумуфта нагнетателя)	$2,07 \cdot 10^5$	0,3	$7,9 \cdot 10^3$
Сталь 15X12H2MBФAB-Ш (вал трансмиссии – участки 11–18)	$1,8 \cdot 10^5$	0,3	$8,2 \cdot 10^3$
Сталь 40ХН2МА (вал нагнетателя – участки 19–81)	$2,1 \cdot 10^5$	0,3	$7,8 \cdot 10^3$

В расчётной модели также учтена аэродинамическая радиальная сила  $T_x = 4,4637$  кН;  $T_y = -0,6713$  кН, действующая в месте расположения диска 3 (рисунок 4).

Исходные данные валопровода ГПА-16 «Волга» КС-22 «Помарская» с приводом (свободной турбиной) НК-38 СТ отличаются от представленных выше только массово-инерционными параметрами диска СТ (первая строка таблицы 4), которые были приняты следующими: масса 587,76 кг; массовые моменты инерции: полярный 69,82 кг·м<sup>2</sup>; диаметральный 32,81 кг·м<sup>2</sup>.

В расчетах опоры ротора привода (свободной турбины) считались изотропными упругими с коэффициентами линейной жесткости  $1,5 \cdot 10^9$  Н/м.

Опорными устройствами нагнетателя являются магнитные подшипники, которые моделировались как изотропные упруго-демпферные. В диапазоне частот вращения 1000 – 7000 об/мин для коэффициентов линейной жесткости  $C_r$  и демпфирования  $K_r$  принимались следующие зависимости от частоты вращения  $n$  (об/мин):

$$C_r = 15 \cdot 10^6 + 1,46 \cdot 10^3 n + 0,9899 n^2 - 9,979 \cdot 10^{-4} n^3, \text{ Н/м,}$$

$$K_r = 108,44 n^{-0,638}, \text{ Н·с/м.}$$

Для решения задачи вынужденных поперечных колебаний задавались следующие дисбалансы (рисунок 4): диск свободной турбины –  $10^{-3}$  кг·м при угле дисбаланса  $0^\circ$ , диск № 1 –  $10^{-3}$  кг·м при угле дисбаланса  $0^\circ$ , диск № 2 –  $10^{-3}$  кг·м при угле дисбаланса  $45^\circ$ , диск № 3 –  $10^{-3}$  кг·м при угле дисбаланса  $180^\circ$ .

Критические частоты валопровода ГПА-16 «Волга» КС-22 «Помарская» в диапазоне частот вращения 1000 – 7000 об/мин для двух вариантов с МС муфт и шести вариантов с ПС муфт (рисунок 2) представлены в таблице 6.

Таблица 6 – Критические частоты ГПА-16 «Волга» КС-22 «Помарская»

Привод	Тип соединения муфты или толщина пластины в мм и тип материала	Число пластин	Критические частоты, об/мин		
			1-я	2-я	3-я
НК-16-18 СТ	МС	—	1680	3800	4950
	1,2П0	10	1700	3530	4820
	0,4П1	30	1690	3360	4820
	0,4П2	30	1690	3370	4820
НК-38 СТ	МС	—	1680	3790	4950
	1,2П0	10	1680	3520	4830
	0,4П1	30	1690	3360	4820
	0,4П2	30	1690	3360	4830

По результатам расчетов можно сделать следующие выводы:

1. Применение ПС муфт приводит к снижению 2-й и 3-й критической частоты, что увеличивает отстройку 2-й критической частоты от рабочего диапазона частот 3710 – 5565 об/мин;
2. В рассматриваемом диапазоне частот замена привода НК-16-18 СТ на НК-38 СТ не оказывает заметного влияния на величины критических частот роторной системы ГПА;
3. Последний вывод можно объяснить следующими обстоятельствами: малой угловой жесткостью соединений муфт на поворот относительно поперечных осей валопровода; значительным превышением собственных критических частот ротора привода по сравнению с собственными критическими частотами нагнетателя (1-я критическая частота ротора свободной турбины НК-16-18 СТ равна 13500 об/мин, ротора НК-38 СТ - 10440 об/мин, а ротора нагнетателя НЦ 16/76-1,44 - 1590 об/мин).

#### **Список литературы:**

1. *Марцинковский В.С., Овсейко И.В., Юрко В.И.* Опыт разработки и перспективы использования упругих муфт в центробежных компрессорных агрегатах газовой и нефтехимической промышленности // Газотурбинные технологии. 2007. № 3. С. 36-40.
2. *Иванов М.Н.* Детали машин: Учеб. для студентов высш. техн. учебн. заведений. – М.: Высш. шк., 1991. – 383 с.
3. *Басов К.А.* ANSYS: справочник пользователя. – М.: ДМК Пресс, 2005. – 640 с.
4. *Евгеньев С.С., Савинов В.И., Сидоров И.Н., Семенова В.В.* Математические модели, методы и программные средства для анализа поперечных колебаний роторных систем // Журнал «Энергетик», № 11, 2010. С.36-39.

05.02.00

<sup>1</sup>А.Р. Фардеев к.т.н., <sup>2</sup>А.А. Фардеев, <sup>3</sup>А.М. Абдуллина

Набережночелнинский институт (филиал)  
ФГАОУ ВПО «Казанский (Приволжский) федеральный университет»,  
кафедра механики и конструирования,  
Набережные Челны, <sup>1</sup>albert.fardeev@mail.ru, <sup>2</sup>progmast@mail.ru, <sup>3</sup>alimir@mail.ru

## **АНАЛИЗ СОВМЕСТНОЙ РАБОТЫ НАСОСА МАНИПУЛЯТОРА И ТРУБОПРОВОДА**

**DOI:10.24153/2079-5920-2017-7-2-36-38**

*В статье рассмотрена работа насоса гидроприводов манипулятора с тремя поступательными степенями подвижности, используемого для переноса заготовок в технологическом процессековки или горячей штамповки. Рабочий объём насоса является переменным. Путем построения кривой потребного напора и характеристики насоса найдена рабочая точка. Исследованы различные положения этой точки при перемене режима работы манипулятора. Показано, что при этом происходит небольшое изменение давления в трубопроводе, а затем оно возвращается к прежнему значению.*

*Ключевые слова: гидроприводы манипулятора, рабочий объём насоса, потребный напор, характеристика насоса, рабочая точка.*

Рассмотрим манипулятор, используемый при переносе заготовок в технологических процессахковки и горячей штамповки заготовок машиностроительного предприятия. Пусть он заменяет человека при переносе заготовки в рабочую зону металлообрабатывающей машины и из неё.

Перемещение заготовки от одной машины к другой происходит либо по транспортёру, либо в таре при помощи погрузчика.

Неавтоматизированными, но поддающимися автоматизации в данном технологическом процессе остаются следующие этапы:

- 1) подача заготовки из приёмного лотка на осадочную площадку штампа штамповочного прессы;
- 2) перекладывание заготовки в предварительный ручей;
- 3) перекладывание заготовки в окончательный ручей;
- 4) удаление поковки на транспортёр;
- 5) подача заготовки из приёмного лотка на штамп обрезающего прессы;
- 6) удаление поковки, выдры и облоя в соответствующие тары.

Эти этапы можно автоматизировать при помощи двух манипуляторов, т.к. они связаны с двумя прессами. Оба манипулятора будут выполнять похожую работу, поэтому можно ограничиться разработкой одного манипулятора.

Быстродействие манипулятора превосходит скорость выполнения операций человеком. Поэтому кроме увеличения производительности труда при рассматриваемой замене человека манипулятором произойдёт увеличение эффективности использования оборудования (прессов).

В силу сказанного применение манипуляторов вместо ручного труда в рассматриваемом технологическом процессе возможно и выгодно.

Для введения в технологический процессковки или горячей штамповки манипулятора необходимо произвести его выбор.

Выберем манипулятор с тремя поступательными переносными степенями подвижности и тремя вращательными и одним поступательным ориентирующими степенями подвижности, т.к. это наиболее простой вариант, отвечающий требованиям указанных технологических процессов [1].

Продольные размеры элементов модулей подвижности выберем исходя из требований конкретного технологического процесса. Поперечные размеры элементов модулей подвижности можно выбрать из справочников согласно весу заготовки, выбранных продольных размеров и масс предшествующих модулей подвижности.

Рассмотрим совместную работу насоса манипулятора с переменным рабочим объёмом и трубопровода, соединяющего насос с потребителями (гидроцилиндрами). При установившемся течении жидкости напор насоса равен потребному напору [2]:

$$H_{нас} = H_{потр}$$

Построим в одной координатной плоскости в одинаковом масштабе кривые потребного напора  $H_{потр}$  и характеристики насоса  $H_{нас}$  (см. рис. 1).

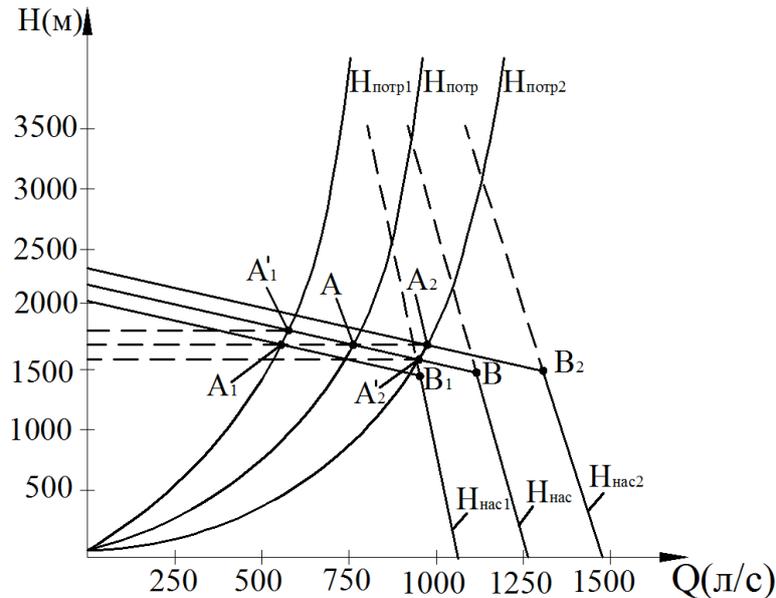


Рисунок 1 – Кривые потребного напора трубопровода и характеристики насоса в случае использования переливного клапана

В точке  $B$  характеристика насоса имеет перелом благодаря установке переливного клапана. Это клапан 1, показанный на рис. 1 работы [3]. При прекращении движения по одной или нескольким степеням подвижности происходит уменьшение числа потребителей и кривая потребного напора примет вид  $H_{потр1}$  [4] (см. рис. 1). Рабочая точка переместится влево из положения  $A$  в положение  $A'_1$ . Напор при этом немного повысится. Это повышение напора вызовет действия системы управления, направленные на уменьшение рабочего объёма насоса. В результате характеристика насоса примет вид  $H_{нас1}$ . Рабочая точка переместится из положения  $A'_1$  в положение  $A_1$ . Напор в системе понизится до значения, соответствующего положению  $A$  рабочей точки. При увеличении скорости движения по одной или нескольким степеням подвижности повышается расход трубопровода и кривая потребного напора принимает вид  $H_{потр2}$ . Рабочая точка при этом перемещается вправо из положения  $A$  в положение  $A'_2$ . Напор в трубопроводе немного понизится. Система управления увеличит рабочий объём насоса. Характеристика насоса примет вид  $H_{нас1}$ . Рабочая точка переместится из положения  $A'_2$  в положение  $A_2$ . Напор в трубопроводе повысится до уровня, соответствующего номинальному режиму работы манипулятора.

Из рисунка 1 видно, что при изменении кривой потребного напора, вызванного изменением расхода трубопровода, система управления вызывает изменение характеристики насоса. Возникающая при этом новая рабочая точка соответствует прежнему напору. Следовательно, при изменении режима работы манипулятора напор вначале изменяется на небольшую величину, а затем принимает прежнее значение. Возвращение напора к прежнему значению можно было бы добиться и без применения переливного клапана. В этом случае в точке *B* (см. рис. 1) характеристика насоса не имела бы перелом, а продолжала бы подниматься вверх (см. рис. 2).

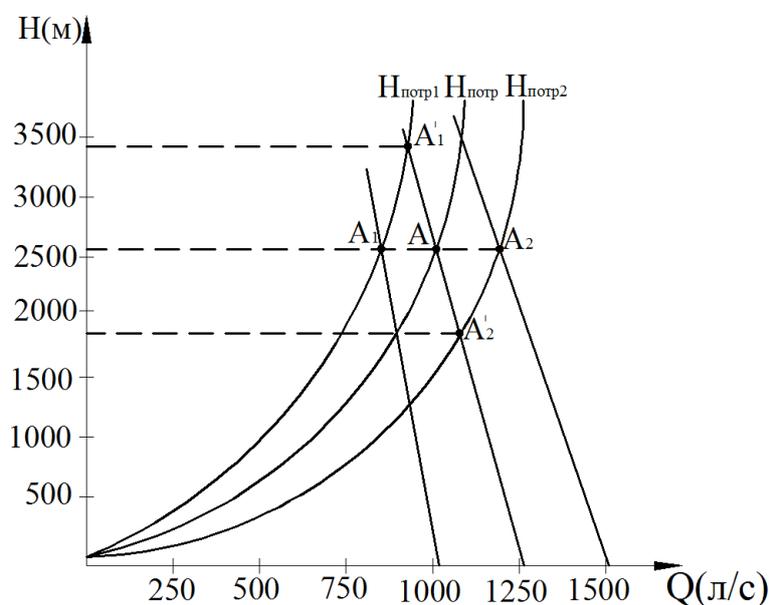


Рисунок 2 – Кривые потребного напора трубопровода и характеристики насоса в случае его работы без переливного клапана

При работе насоса без переливного клапана система управления точно так же, как и в предыдущем случае обеспечивала бы возвращение напора к прежнему значению путём изменения рабочего объёма насоса. Рабочая точка вначале перемещалась бы в точку  $A'_1$  (или  $A'_2$ ), а затем – в точку  $A_1$  (или  $A_2$ ). Но разница в напорах, соответствующих точкам  $A$  и  $A'_1$  (или  $A'_2$ ) на порядок больше разницы, возникающей в случае применения переливного клапана. Следовательно, управление рабочим объёмом насоса в совокупности с применением переливного клапана позволяет держать давление (напор) в трубопроводе на одном уровне с небольшими скачками во время изменения режима работы манипулятора.

Итак, проведён анализ совместной работы насоса манипулятора и трубопровода. Показано, что малость изменения давления происходит благодаря введению переливного клапана, а возвращение давления к прежнему уровню достигается путём изменения рабочего объёма насоса.

#### **Список литературы**

1. *Фардеев А.Р.* Определение условий асимптотической устойчивости номинального режима работы манипулятора / А. Р. Фардеев, Р.Г. Марданшин, А.А. Фардеев // Научно-технический вестник Поволжья – 2015. – №2. – С. 210-214.
2. *Башта Т.М.* Гидропривод и гидропневмоавтоматика / Башта Т. М. – М.: Машиностроение, 1972. – 320 с.
3. *Фардеев А.А.* Математическая модель автоматизированной системы управления рабочим объёмом насоса манипулятора, используемого в технологическом процессековки заготовок // Научно-технический вестник Поволжья – 2012. – №4. – С. 211-215.
4. *Башта Т.М.* Гидравлика, гидромашины и гидроприводы: Учебник для машиностроительных вузов / Т. М. Башта [и др.]. – М.: Машиностроение, 1982. – 423 с.

**ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ И  
ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ (05.11.00)**

05.11.13

**Н.Н. Беспалов к.т.н., Ю.В. Горячкин к.т.н., Д.В. Тундыков**

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

**УСТРОЙСТВО ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВОЛЬТ-АМПЕРНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ  
СИЛОВЫХ ДИОДОВ В СОСТОЯНИИ ВЫСОКОЙ ПРОВОДИМОСТИ****DOI:10.24153/2079-5920-2017-7-2-39-42**

*В статье рассматривается устройство для определения вольт-амперных характеристик и контроля параметров диодов в состоянии высокой проводимости. В устройстве применён импульсный метод формирования измерительного тока, что обеспечивает минимальный дополнительный перегрев структур диодов при испытании. Устройство разработано на базе отладочной платы NI Digital Electronics FPGA Board. Использовано специализированное программное обеспечение Xilinx WebPACK ISE и NI LabVIEW. Приведены результаты определения вольт-амперных характеристик некоторых типов диодов на основе кремния и карбида кремния.*

Ключевые слова: *аппаратно-программный комплекс, диод, вольт-амперная характеристика, состояние высокой проводимости, управляемый источник тока.*

**Введение.** При эксплуатации силовых полупроводниковых приборов (СПП), в качестве которых широко применяются силовые диоды и тиристоры, в устройствах силовой электроники их надёжность обуславливается исходным качеством приборов и режимами эксплуатации. При этом в устройствах силовой электроники диоды достаточно часто используются в групповом параллельном или последовательном соединении, что требует специального подбора диодов по параметрам вольт-амперных характеристик (ВАХ), который необходим для обеспечения одинакового теплового режима диодов при эксплуатации. Для повышения надёжности СПП и устройств силовой электроники в целом требуется обеспечить близкие к номинальным электрический и тепловой режимы их эксплуатации.

Для решения этой задачи необходимо иметь информацию о значениях параметров каждого отдельного прибора, которую можно получить только при специальных условиях измерения ВАХ. В частности, одними из основных параметров полупроводникового диода являются параметры ВАХ в состоянии высокой проводимости (СВП) [1, 2].

В статье рассматривается устройство для определения ВАХ и контроля параметров диодов в СВП.

**Методы измерения параметров ВАХ.**

Методы измерения параметров ВАХ разделяют на статические и динамические или импульсные [3].

Статические методы подразумевают подачу через испытуемый диод постоянного тока. Основным недостатком непрерывных методов измерения является разогрев структуры исследуемого прибора в ходе испытания. Это вызывает искажение ВАХ и возникновение методической погрешности, а также приводит к ограничению диапазона измерения.

Динамические методы предусматривают подачу через испытуемый диод прямоугольных или трапецеидальных импульсов тока определённой длительности, повторяющихся во времени и изменяющихся в амплитуде. При этом возможен такой режим испытания, при котором минимизируется перегрев структуры исследуемого прибора. В рассматриваемом устройстве применён импульсный метод формирования измерительного тока.

**Аппаратно-программный комплекс.** Структурная схема аппаратно- программного комплекса (АПК) для определения ВАХ диодов в СВП представлена на рис. 1.

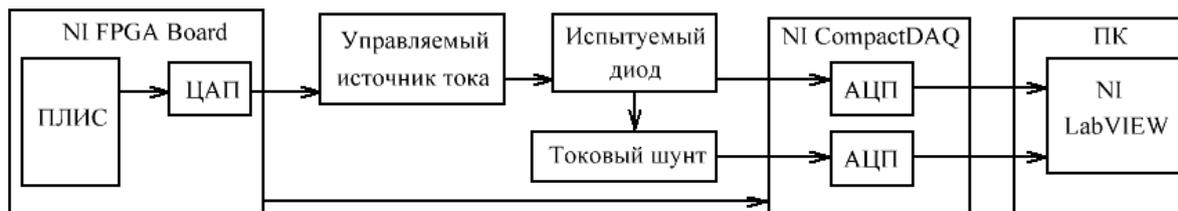


Рис. 1 – Структурная схема АПК для определения ВАХ диодов в СВП

Работа АПК осуществляется следующим образом. При поступлении пускового сигнала на выходе отладочной платы NI Digital Electronics FPGA Board [4] формируется серия прямоугольных импульсов напряжения с нарастающей амплитудой от 0 В до 3,3 В с шагом 3,22 мВ. При этом формируемый управляющий сигнал состоит из 1024 прямоугольных импульсов. Управляющая программа на языке VHDL этого блока была представлена в [5, 6]. Импульсы напряжения поступают на управляемый источник тока, который формирует, соответственно, серию измерительных прямоугольных импульсов тока через испытуемый диод. Длительность импульсов  $t_{имп}$  выбирается таковой, чтобы к моменту времени  $t_{изм}$  начала измерения амплитуды прямого тока  $I_{FM}$  через испытуемый прибор и прямого напряжения  $U_{FM}$  закончился переходной процесс изменения напряжения на структуре диода, вызванный зарядом диффузионной ёмкости [7]. Далее до окончания импульса тока оба АЦП NI CompactDAQ одновременно осуществляют измерения  $I_{FM}$  и  $U_{FM}$ . Это осуществляется при поступлении на АЦП импульса синхронизации с платы NI Digital Electronics FPGA Board. Длительность паузы  $t_n$  между импульсами выбирается таковой, чтобы к началу действия следующего импульса тока температура полупроводниковой структуры диода достигла исходной величины. Цифровые сигналы с АЦП поступают в персональный компьютер ПК. Обработка сигналов с АЦП реализована в программной среде NI LabVIEW [8]. Программа позволяет сохранять данные измерений в файл, а также производить построение ВАХ прямой ветви после окончания измерений. В дальнейшем предполагается обработка данных с определением дополнительных параметров ВАХ.

Разработанное устройство рассчитано на формирование через диоды импульсов тока до 32 А. Однако устройство может быть перестроено таким образом, чтобы осуществлять испытания более мощных диодов. Для этого требуется установить более мощный управляемый источник тока.

Устройство применено при сравнительных испытаниях диодов Шоттки 106-10х-6 на карбиде кремния и кремниевых диодов 2Д2999А, проведённых с целью исследования их ВАХ при различных значениях температуры полупроводниковых структур. Измерения производились при температуре структур в диапазоне от +25 до +140 °С для диодов Шоттки 106-10х-6 и для кремниевых диодов 2Д2999А в диапазоне от +25 до +125 °С. Для данных видов диодов длительность импульсов тока  $t_{имп}$  была выбрана равной 200 мкс. Длительность паузы  $t_n$  между импульсами была равна 100 мс.

ВАХ диода Шоттки 106-10х-6 и кремниевого диода 2Д2999А в СВП в зависимости от температуры структуры представлены, соответственно, на рисунке 2 и 3.

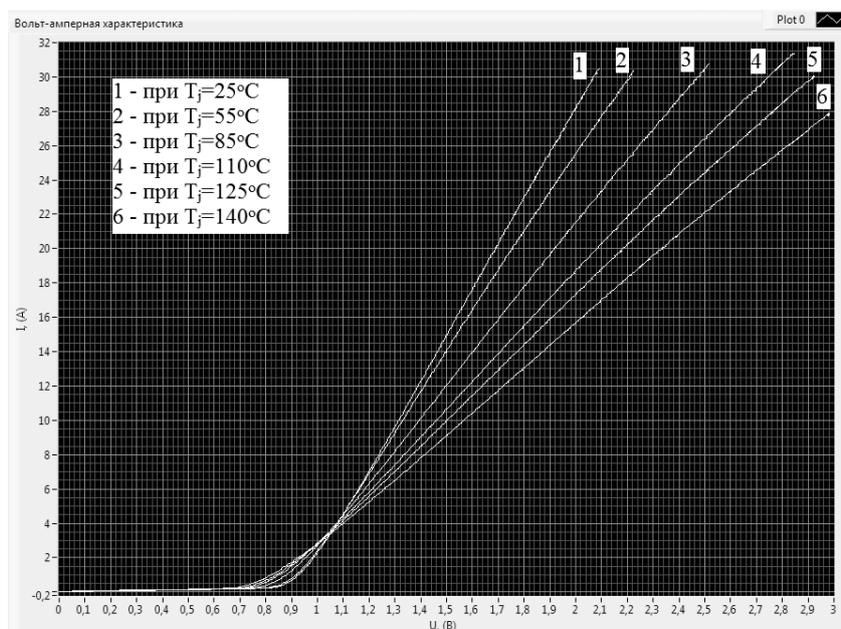


Рис. 2 – ВАХ диода 106-10x-6 в СВП в зависимости от температуры

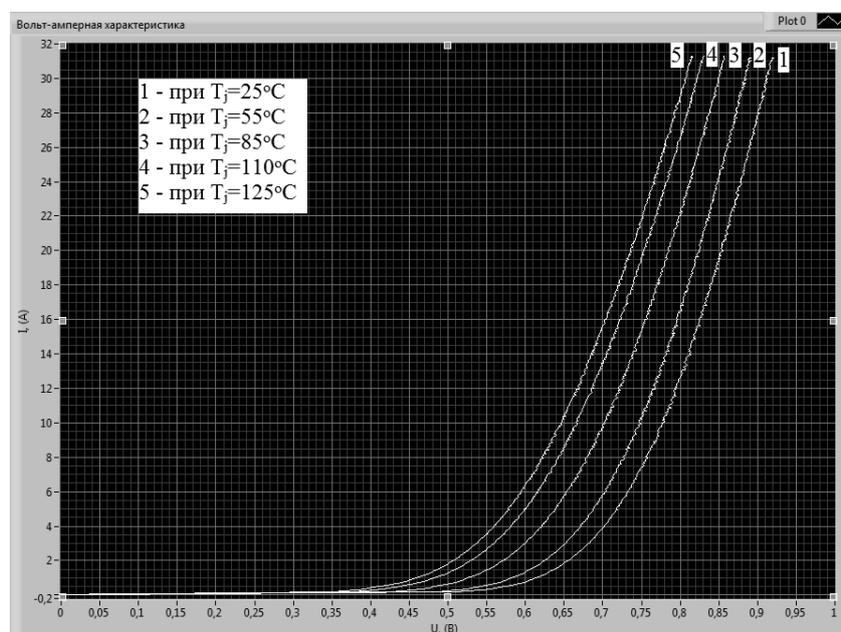


Рис. 3 – ВАХ диода 2Д2999А в СВП в зависимости от температуры

Из этих рисунков видно, что в заданных диапазонах амплитуд импульсных испытательных токов и температуры полупроводниковых структур ВАХ исследуемых типов диодов существенно различаются.

**Заключение.** В процессе работы получены следующие результаты:

- разработаны программные модули в программных средах *Xilinx WebPACK ISE* и *NI LabVIEW*, позволяющие управлять ЦАП в составе отладочной платы и управлять АЦП для определения ВАХ диодов в СВП;
- разработана аппаратная часть управляющего устройства, позволяющая подавать формируемые импульсы с отладочной платы на испытуемый диод для определения параметров ВАХ в состоянии высокой проводимости;
- в ходе работы с помощью разработанного АПК проведены измерения ВАХ различных типов диодов, рассчитанных на предельные токи 10 А, при различных значениях температуры полупроводниковых структур;
- показано, что данное устройство при соответствующей доработке может быть применено для испытания более мощных диодов.

**Список литературы**

1. *Евсеев Ю.А.* Силовые полупроводниковые приборы / Ю. А. Евсеев, П. Г. Дерменжи. – М.: Энергоиздат, 1981. – 472 с.
2. *Беспалов Н.Н.* Диагностика и контроль параметров силовых полупроводниковых приборов / Н.Н. Беспалов, А.В. Мускатиньев, М.В. Ильин // Методы и средства управления технологическими процессами: МСУПТ – 2007: материалы IV Междунар. конф., Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2007. – С. 88-91.
3. *Ермоленко Е.А.* Классификация методов измерения вольт-амперных характеристик полупроводниковых приборов / Е. А. Ермоленко // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. – 2014. – Вып. 2-3. – С. 3-11.
4. National Instruments Corporation NI Digital Electronics FPGA Board. User Manual. Circuit Development Platform. – USA. : National Instruments Corporation, 2009. – 52 с.
5. *Беспалов Н.Н.* Программная реализация управляющих импульсов напряжения прямоугольной формы на ПЛИС / Н. Н. Беспалов, Ю. В. Горячкин, Д. В. Тундыков // Научно-технический вестник Поволжья. – 2016. – Вып. 5. – С. 166-169.
6. *Беспалов Н.Н.* Программная реализация управляющего устройства на ПЛИС для обмена данными по интерфейсу SPI / Н. Н. Беспалов, Ю. В. Горячкин, Д. В. Тундыков // Научно-технический вестник Поволжья. – 2016. – Вып. 3. – С. 75-78.
7. *Пасынков В.В.* Полупроводниковые приборы / В. В. Пасынков, Л. К. Чиркин. – М.: Высшая школа, 1987. – 479 с.
8. LabView System Design Software. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.ni.com/labview/>.

05.11.13

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

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

**ВЫЯВЛЕНИЕ ИНФОРМАТИВНОГО ПАРАМЕТРА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ  
ПОТЕНЦИАЛЬНО НЕНАДЁЖНОГО ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО ПРИБОРА В  
ГРУППОВОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЙ ЦЕПИ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ**

**DOI:10.24153/2079-5920-2017-7-2-43-46**

*В статье рассматриваются результаты моделирования электрических переходных процессов в выпрямительных цепях электрических преобразователей на основе групповых последовательных соединений силовых полупроводниковых приборов. Исследовались режимы контроля последовательно соединённых приборов в состоянии низкой проводимости без шунтирующих снабберных RC-цепей. Моделирование осуществлялось в программной среде Multisim. Получены временные зависимости распределения контрольного напряжения на приборах, на базе которых определены информативные параметры, по изменению которых в ходе контрольных операций можно определять потенциально ненадёжные приборы в групповой последовательной цепи преобразователя без её разбора.*

Ключевые слова: *контроль, информативный параметр, силовой полупроводниковый прибор, потенциально ненадёжный прибор, групповое последовательное соединение, состояние низкой проводимости, электрический преобразователь.*

Высоковольтные преобразователи электрической энергии на базе группового последовательного соединения (ГПС) силовых полупроводниковых приборов (СПП) являются основой современной преобразовательной техники. Надёжность преобразователей при эксплуатации в основном определяется качеством СПП. Во время их эксплуатации в СПП протекают электрофизические процессы, приводящие к деградации их полупроводниковых структур (ПС). Деградация ПС вызывает изменение ВАХ в состоянии низкой проводимости (СНП), выраженное в неравномерном снижении величин сопротивлений  $r_{D(R)}$ , что обуславливает неравномерное распределение прикладываемого к групповой цепи напряжения  $u_{D(R)}$  между СПП [1]. Это повышает вероятность отказа тех приборов, на которых величина амплитуды напряжения становится больше номинальной. При эксплуатации во время планового технического обслуживания необходимо проведение контроля и обнаружение приборов с пониженной величиной  $r_{D(R)}$ , которые можно признать, как потенциально ненадёжными. Причём для более эффективного контроля необходимо проводить все испытательные и измерительные операции непосредственно в преобразователе без электрического демонтажа групповой цепи. В связи с этим требуется выявление информативного параметра ГПС СПП, изменение величины которого свидетельствует об изменении состояния ПС.

Нами исследованы типовые выпрямительные цепи широко применяемых преобразователей, которые реализованы по типовой схеме, состоящей из четырёх последовательно соединённых силовых тиристоров (СТ) VS1-VS4 без снабберных RC-цепей. Исследуемая схема представлена на рис. 1. При моделировании электрических процессов в схеме предполагалось, что ВАХ СТ VS1 – VS3 остаются неизменными. Изменение тока утечки СТ VS4 в СНП моделировалось изменением сопротивления утечки  $R_{ут4}$  (рис. 1).

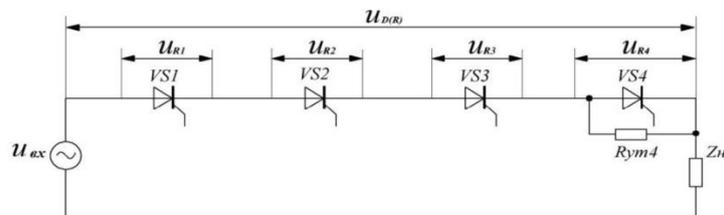


Рис. 1 – Схема группового последовательного соединения силовых тиристоров с сопротивлением утечки  $R_{ym4}$ .

Для моделирования использовалась разработанная нами ранее в программной среде Multisim электротепловая модель силового тиристора (СТ) типа T453-800, в которой предусмотрена возможность изменения значения сопротивления утечки  $R_{ym}$  ПС. Исследование переходных процессов в ПС проводилось, при воздействии специального источника испытательных сигналов на последовательную групповую цепь [2 – 4].

На рис. 2 представлены некоторые результаты моделирования временных зависимостей обратного напряжения  $u_R$  на тиристорах в СНП соединённых в группу, при различных значениях сопротивления утечки  $R_{ym4}$ .

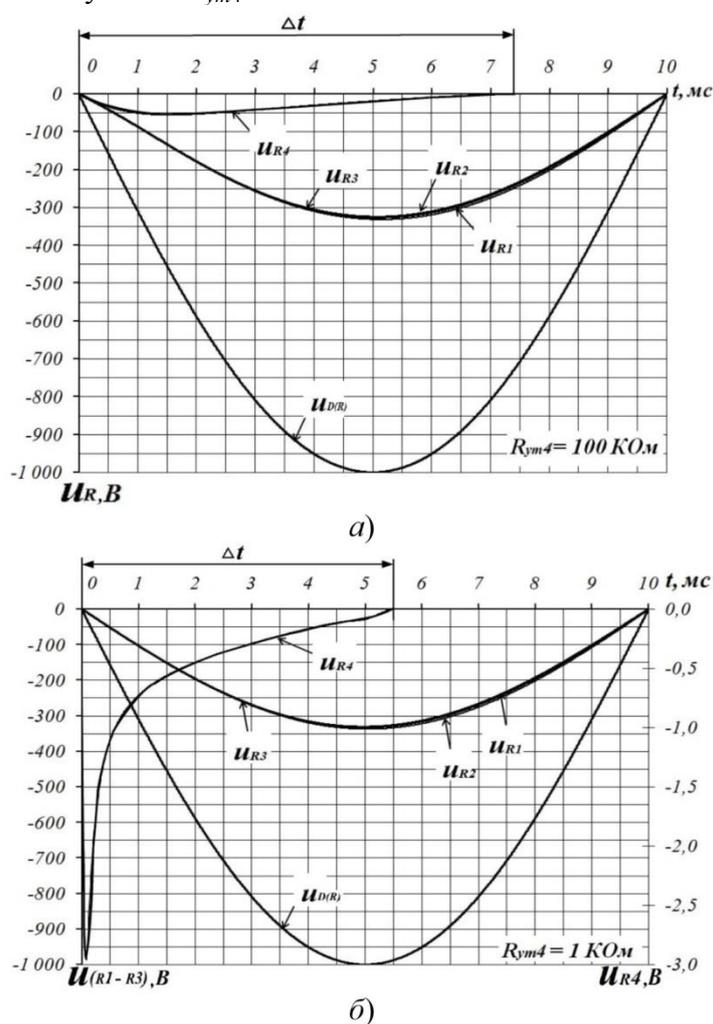


Рис. 2 – Временные зависимости напряжения на тиристорах  $u_R$  в СНП при а)  $R_{ym4} = 100 \text{ кОм}$  и б)  $R_{ym4} = 1 \text{ кОм}$

На основании исследования полученных временных зависимостей в качестве информативных параметров, чувствительных к изменению сопротивления утечки  $R_{ym4}$  в СНП были выбраны:

- $\Delta t$  – интервал времени от начала сигнала напряжения на СТ VS4 до момента достижения этого сигнала нулевого значения ( $u_{R4} = 0$ );
- $U_{RM}$  – амплитуда обратного напряжения на СТ.

На рис. 3 представлена зависимость информативного параметра  $\Delta t$  от сопротивления утечки  $R_{ум4}$ , которое изменялось при моделировании от 10 МОм до 1 кОм.

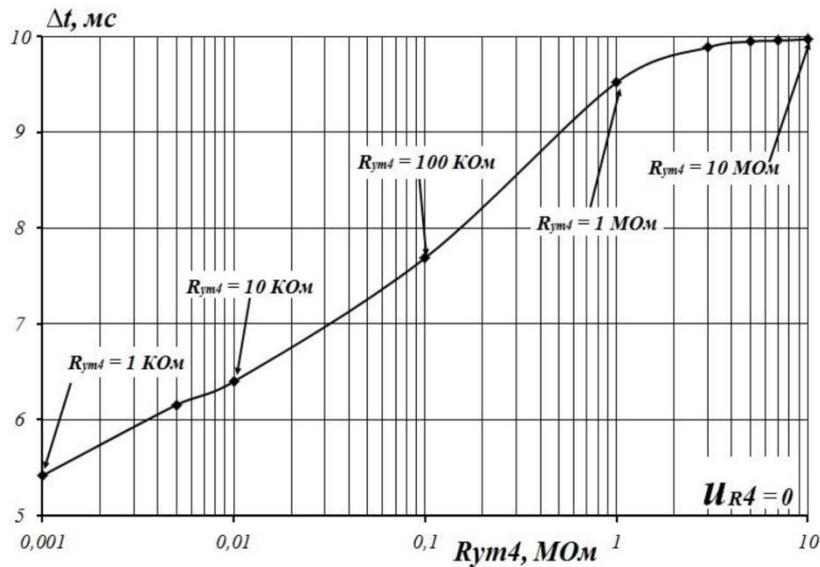


Рис. 3 – Зависимость информативного параметра  $\Delta t$  от сопротивления утечки  $R_{ум4}$

На рис. 4 представлена зависимость информативного параметра  $U_{RM}$  от сопротивления утечки  $R_{ум4}$ , которое изменялось при моделировании от 10 МОм до 1 кОм.

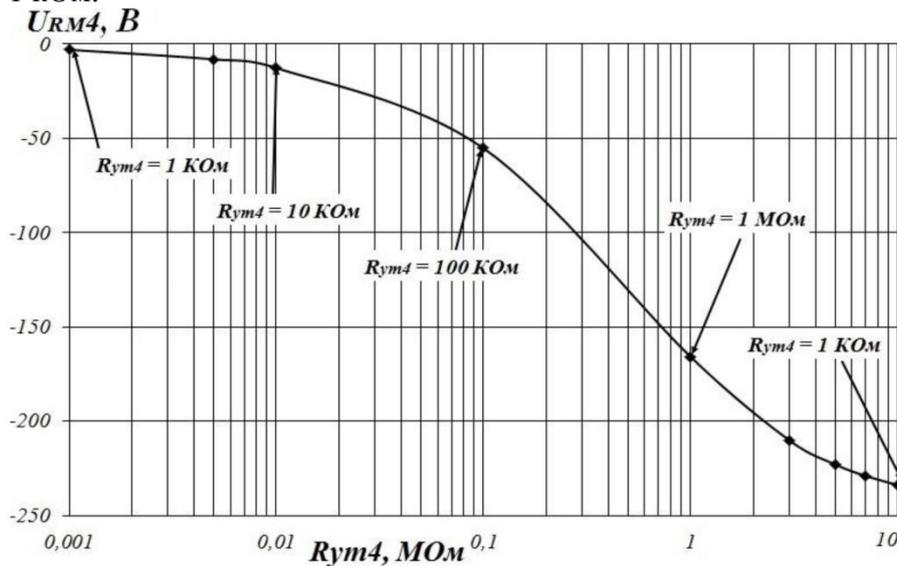


Рис. 4 – Зависимость информативного параметра  $U_{RM}$  от сопротивления утечки  $R_{ум4}$

Из полученных зависимостей видна относительно высокая чувствительность обоих параметров к изменению сопротивления утечки  $R_{ум4}$  в СНП. При этом уменьшение сопротивления утечки, вызванное деградацией ПС СПП, вызывает снижение величин обоих параметров.

Из рис. 3 и 4 видно, что в заданном диапазоне изменения сопротивления утечки одного из СТ чувствительность параметра  $U_{RM}$  выше, чем чувствительность  $\Delta t$  примерно на порядок. Таким образом, можно сделать вывод, что при контроле состояния качества СПП в ГПС без снабберных RC-цепей электрических преобразователей наиболее приемлимым для применения является  $U_{RM}$  – амплитуда обратного напряжения на диоде и тиристоре и  $U_{DM}$  – амплитуда напряжения на тиристоре в закрытом состоянии.

Создание диагностической аппаратуры, позволит проводить диагностику СПП, не прибегая к демонтажу преобразователя.

**Список литературы**

1. *Дерменжи П.Г.* Расчет силовых полупроводниковых приборов / П. Г. Дерменжи, В. А. Кузьмин, Н. Н. Крюкова, В. И. Мамонов. Под ред. В. А. Кузьмина. М.: Энергия, 1980. – 184с.
2. *Беспалов Н.Н.* Исследование процессов в силовых полупроводниковых приборах в состоянии низкой проводимости при их групповом последовательном соединении / Н. Н. Беспалов, А. В. Евишев // XLIV Огаревские чтения материалы научной конференции: в 3 частях. – Саранск: Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва, 2016. – С. 122–129.
3. *Евишев А.В.* Моделирование процессов протекающих в силовых диодах в состоянии низкой проводимости / А. В. Евишев, А. В. Зорькин // Материалы XX научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов Национального исследовательского Мордовского государственного университета им. Н. П. Огарёва в 3 ч. – Саранск, 2016. – С.57–61.
4. *Беспалов Н.Н., Капитонов С.С., Пьянзин И.И.* Моделирование характеристик силовых полупроводниковых приборов в состоянии низкой проводимости // *Электроника и информационные технологии [Электронный ресурс]*. – 2010. – Вып. 2 (9). – Режим доступа: <http://fetmag.mrsu.ru/2010-2/pdf/LowConductivity.pdf> – 04201000067/0036.

05.11.00

**Х.М. Гукетлов, М.И. Бжахов, Т.З. Карданов, А.Н. Шогенов**ФГБОУ ВПО Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова,  
123guket@rambler.ru**К РАСЧЕТУ ОТРАЖЕННОГО СВЕТА ОТ ФАСАДОВ ПРОТИВОСТОЯЩИХ  
ЗДАНИЙ****DOI:10.24153/2079-5920-2017-7-2-47-49**

*В статье приводится математическая модель светового режима в годовом цикле с помощью, которой был найден поправочный коэффициент, позволяющий учитывать изменение яркости противостоящих зданий не только от ориентации по сторонам горизонта, но и от особенностей светового климата места строительства.*

**Ключевые слова:** количество освещения, наружная вертикальная естественная освещенность, коэффициент ориентации световых проемов, прямая освещенность от Солнца, вероятность солнечного сияния.

Согласно СНиП 23-05-95 Естественное и искусственное освещение [1], при расчете отраженного света от противостоящих зданий необходимо учитывать относительную яркость фасадов зданий в зависимости от ориентации по сторонам горизонта. Это вызвано тем, что в реальных условиях городской застройки за счет прямого солнечного света средняя освещенность южных фасадов за год значительно выше по сравнению с фасадами, ориентированные на северные четверти небосвода. Формула по которой учитывается относительная яркость фасадов противостоящих зданий имеет следующий вид

$$e_p^6 = \left[ \sum_{i=1}^N \varepsilon_{\sigma i} q_i \beta_\alpha + \sum_{j=1}^M \varepsilon_{3Дj} b_{\Phi j} \gamma_\alpha K_{3Дj} \right] r_0 \tau_0 / K_3 \quad (1)$$

Где  $\varepsilon_{\sigma i}$  - геометрический КЕО в расчетной точке при боковом освещении, учитывающий прямой свет от i-того участка неба;

$q_i$  - коэффициент, учитывающий неравномерную яркость i-го участка облачного неба МКО;

$\beta_\alpha$  - коэффициент ориентации световых проемов, учитывающих ресурсы естественного света по кругу горизонта;

$\varepsilon_{3Дj}$  - геометрический КЕО в расчетной точке при боковом освещении, учитывающий свет, отраженный от j-того участка противостоящей застройки;

$b_{\Phi j}$  - средняя относительная яркость j-того участка противостоящих зданий;

$\gamma_\alpha$  - коэффициент ориентации фасада здания, учитывающий зависимость его яркости от ориентации по сторонам горизонта. Для усредненных параметров городской застройки принимается равным при ориентации фасада противостоящего здания на ЮГ -1,33; на С - 1,00; на СВ(СВ) - 1,06;

на В (З) - 1,13; на ЮВ(ЮЗ) - 1,25;

$K_{3Дj}$  - коэффициент, учитывающий изменение внутренней отраженной составляющей КЕО в помещении при наличии противостоящих зданий;

$r_0$  - коэффициент, учитывающий повышение КЕО при боковом освещении благодаря свету, отраженному от поверхностей помещения и подстилающего слоя, прилегающего к зданию поверхностей помещения;

$\tau_0$  - общий коэффициент светопропускания;

$K_3$  - коэффициент запаса;

Анализ предложенной формулы показал, что она базируется на усредненных показателях светового климата в пределах всей территории Российской Федерации. Учитывая большое разнообразие условий природного освещения, в формулу (1) необходимо ввести поправочный коэффициент  $\gamma_m$ , учитывающий изменение яркости фасадов противостоящих зданий не только от ориентации по сторонам горизонта, но от особенностей светового климата конкретного места строительства.

Исходя из выше изложенного формула (1) примет следующий вид

$$e_p^b = \left[ \sum_{i=1}^N \varepsilon_{\sigma i} q_i \beta_{\alpha} + \sum_{j=1}^M \varepsilon_{3Дj} b_{Фj} \gamma_{\alpha} \gamma_M K_{3Дj} \right] r_0 \tau_0 / K_3 \quad (2)$$

Для определения поправочного коэффициента  $\gamma_M$  была разработана математическая модель светового режима в годовом цикле, которая в общем виде описывается уравнением

$$H = \sum_{i=1}^{12} N_i \left[ S_i \sum_{j=t_1}^{t_2} E_B^{\text{Я}} + (1 - S_i) \sum_{j=t_1}^{t_2} E_B^{\text{О}} \right] \cdot \Delta t, \quad (3)$$

Здесь

$E_B^{\text{Я}}$  - значения суммарной наружной вертикальной освещенности при ясном небе МКО [3];

$$E_B^{\text{Я}} = E_B^{\text{Я.Н.}} + E_B^{\odot} \quad (4)$$

$E_B^{\text{Я.Н.}}$  - наружная рассеянная вертикальная освещенность при ясном небе МКО [3,4];

$$E_B^{\text{Я.Н.}} = \int_0^{\pi} \int_0^{\pi/2} L(z, \alpha) \sin^2 z \cos \alpha \, dz \, d\alpha, \quad (5)$$

$E_B^{\odot}$  - прямая освещенность от Солнца на вертикальной поверхности

$$E_B^{\odot} = \frac{1}{\Delta^2} C_{\odot} \cos H_{\odot} P^M \sin(A - A_{\odot}) \quad (6)$$

$E_B^{\text{О}}$  - значения наружной вертикальной освещенности при облачном небе МКО [3];

$$E_B^{\text{О}} = 2 \int_0^{\pi} \int_0^{\pi/2} L(z) \sin^2 z \cos z \, dz \, d\alpha \quad (7)$$

Где  $N_i$  - количество дней в месяце;

$S_i$  - вероятность солнечного сияния по месяцам года (см.таблицу1) [2];

$t_1, t_2$  - время восхода и захода солнца;

$\Delta t$  - интервал времени, в течение которого освещенность принимается постоянной;

$L(z, \alpha)$ ,  $L(z)$ - функции распределения яркости ясного и облачного неба МКО;

$\Delta$  - расстояние от Земли до Солнца для рассматриваемого года в астрономических единицах;

$C_{\odot}$  - световая солнечная постоянная;

$H_{\odot}$  - высота стояния Солнца;

$P$  - прозрачность атмосферы;

$M$  - оптическая масса атмосферы;

$A, A_{\odot}$  - азимуты Солнца и нормали к вертикальной поверхности;

Таблица 1. Значения вероятности солнечного сияния в %

Наименование географического пункта	месяца года											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
г.Москва	16	26	40	45	57	57	57	52	42	28	17	12
г.Нальчик	28	28	32	40	45	52	56	58	48	44	28	26

С помощью этой математической модели было определено количество освещения в месячном и годовом цикле для города Нальчика и города Москвы (этот район считается базовым) на различно ориентированные вертикальные поверхности. (таб.2)

Таблица 2. Значения количества освещения (Н) за год на различно ориентированные по сторонам горизонта вертикальные поверхности.

Район строительства	Количество освещения, люкс				
	ЮГ	С	СЗ(СВ)	З(В)	ЮЗ(ЮВ)
Нальчик	2115472,5	526331,6	907085,9	1562253,5	2266785,25
Москва	2069986,9	416890,7	723774,6	1352246	2116093,75

Сопоставление значений годового количества освещения на различно ориентированные вертикальные поверхности позволило рассчитать поправочный коэффициент  $\gamma_m$  для города Нальчика (табл.3).

Таблица 3. Значения коэффициента  $\gamma_m$  для города Нальчика

Ориентация по сторонам горизонта	ЮГ	С	СЗ(СВ)	В(З)	ЮВ(ЮЗ)
Коэффициент $\gamma_m$	1,022	1,26	1,253	1,155	1,07

В заключении следует отметить, что применение полученного коэффициента учета особенностей светового климата конкретного места строительства  $\gamma_m$ , в практике проектирования, послужит дополнительным резервом для увеличения плотности застройки, при сохранении полноценной световой среды в помещении.

#### **Список литературы**

1. СНиП 23-05-95. Естественное и искусственное освещение. М., 1995. -35 с.
2. Справочник по климату СССР. Солнечная радиация. Радиационный баланс и солнечное сияние. – Л.:Гидрометеиздат, 1968.
3. Гукетлов Х.М. Метод расчета естественного освещения помещений с фонарями верхнего света в условиях ясного неба МКО. – Науч.тр. НИИСФ, 1986. Совершенствование световой среды помещений, с. 38-44.
4. Киреев Н.Н., Гукетлов Х.М. Расчет на ЭВМ естественного освещения помещения от ясного неба МКО. - Науч. тр. НИИСФ, 1983. Исследования по строительной светотехнике, с.29-33.

05.11.15

**Г.М. Мучкаева, М.Б. Нахаев, Д.В. Федельский, Н.М. Кикеев**

Калмыцкий государственный университет имени Б.Б. Городовикова,  
инженерно-технологический факультет,  
Элиста, galya\_2508@mail.ru

## **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ ПРИ НАЛИЧИИ СЛУЧАЙНЫХ ПОГРЕШНОСТЕЙ**

DOI:10.24153/2079-5920-2017-7-2-50-52

*Рассматриваются различные методы и способы повышения точности измерений. Приведены методы повышения точности измерений при наличии случайных погрешностей.*

*Ключевые слова: точность измерения, погрешность, метод измерений, способ измерений, среднее квадратическое отклонение, доверительная вероятность.*

Точность измерения является характеристикой качества измерения, отражающей близость к нулю погрешности его результата [1]. Точность измерения является качественной величиной. Высокие показатели точности измерения соответствуют малым значениям погрешностей. Наибольшее распространение имеют следующие методы повышения точности измерений (рис. 1).

*Замена средства измерения на более точное.* Такой способ повышения точности измерений применяется в случаях, если имеет место преобладание погрешности средства измерений.

*Выбор верхнего предела измерений средств измерений, для которых нормированы приведённые основная и дополнительная погрешности таким образом, чтобы ожидаемые значения измеряемой величины находились в последней трети предела измерений.* Данный способ даёт возможность снизить относительную погрешность средств измерений.



Рис. 1. – Классификация методов и способов повышения точности измерений

*Применение метода обратного преобразования.* Применяется обратный преобразователь более точного характера, чем прямой преобразователь. Статическая функция преобразования обратного преобразователя должна отражать совпадение с функцией, несущей обратную номинальную характеристику преобразования средства измерений.

*Выполнение многократных опытов с усреднением их результатов.* Такой метод используется в случае присутствия случайной составляющей погрешности измерений и

только при условии значимого изменения погрешности измерений текущих значений на протяжении интервала времени усреднения.

*Применение тестовых сигналов.* Сущность метода состоит в нахождении параметров статической функции преобразования посредством дополнительных преобразований тестов, каждый из которых несёт в себе функциональную связь с измеряемой величиной. Метод используется в измерительных системах для измерений электрических и неэлектрических величин.

*Автоматизация процесса измерения.* Данный метод снижает затраты труда, даёт возможность исключить субъективные погрешности, которые могут иметь место при обработке данных, произведении каких-либо вычислений на промежуточном и конечном уровне обработки результатов измерений.

*Внедрение способов контроля работоспособного состояния средств измерений в процессе их эксплуатации.* Способ даёт возможность выявить, снизить или даже исключить метрологические отказы в средствах измерений.

*Применение метода замещения.* Суть метода заключается в поочередном измерении прибором искомой величины и выходного сигнала меры, однородного с измеряемой величиной. По результатам этих измерений вычисляется искомая величина.

*Индивидуальная градуировка средства измерений.* Такой способ повышения точности измерений осуществляется в случае преобладания систематических погрешностей средств измерений. Инструментальные погрешности возможно значительно снизить посредством внесения в результаты измерений поправок, полученных при индивидуальной градуировке.

*Ограничение условий применения средств измерений.* Метод применяют при преобладании дополнительных погрешностей средств измерений (например, погрешности, возникающие при отклонении температуры окружающего воздуха) [2].

В случае преобладания случайной составляющей погрешности измерений, наиболее рациональным методом её уменьшения является выполнение многократного ряда опытов с последующим усреднением их результатов. Рассмотрим суть метода. Уменьшение случайной составляющей погрешности измерений посредством усреднения результатов измерений текущих значений возможно достичь при соблюдении условия:

$$\tau_{зх} \gg nT \gg \tau_{зп}, \quad (1)$$

где  $\tau_{зх}$  - интервал времени затухания корреляционной функции измеряемой величины;

$\tau_{зп}$  - интервал времени затухания корреляционной функции случайной составляющей погрешности измерений;

$T$  - интервал времени между измерениями текущих значений;

$n$  - число усредняемых результатов измерений текущих значений в течение интервала усреднения.

В этом случае среднее квадратическое отклонение (далее СКО) случайной составляющей погрешности измерений средних значений  $\sigma_{ср}$  при числе измерений текущих значений  $n$  за интервал времени усреднения  $nT$  определяют по формуле:

$$\sigma_{ср} = \frac{\sigma_T}{\sqrt{n}}, \quad (2)$$

где  $\sigma_T$  - СКО случайной составляющей погрешности измерений текущих значений.

В случае преобладания случайной составляющей погрешности измерений, при вышеуказанном условии коэффициент снижения погрешности измерений приближенно составит  $1/\sqrt{n}$ .

Случайные погрешности, возникающие при проведении экспериментов, будут подчиняться теории вероятностей [3]. Законы распределения случайных величин могут быть представлены в интегральной и дифференциальной формах.

Зависимость вероятности появления величины  $x_i$ , меньшей некоторого значения  $x$ , представляет интегральную функцию распределения результатов наблюдений. Такая функция является возрастающей, так как при увеличении величины  $x$  событие приобретает всё более достоверный характер при приближении значения вероятности к единице. При достижении вероятности события  $P=0,5$  наблюдается перегиб графика (рис. 2).

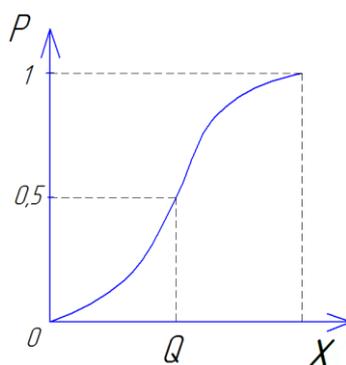


Рис. 2. – Закон распределения случайных величин в интегральной форме  
 где  $Q$  – истинное значение измеряемой величины;  
 $P$  – вероятность;  
 $X$  – текущее значение.

Закон распределения случайной величины в дифференциальной форме характеризует функцию распределения плотности вероятности события и определяется как производная от интегральной функции по своему аргументу (рис. 3). В точке перегиба функции кривая распределения описывается наличием максимума.

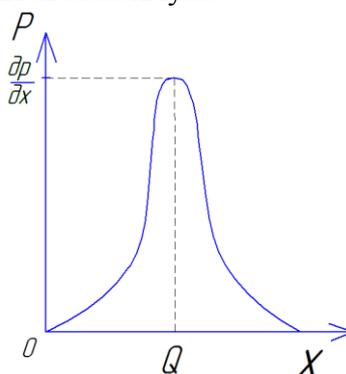


Рис. 3. – Закон распределения случайных величин в дифференциальной форме где  $p_x = \frac{\partial p}{\partial x}$  – плотность вероятности случайного события.

Результаты наблюдений имеют большую концентрацию вокруг истинного значения измеряемой величины. Площадь фигуры, ограниченной кривой распределения и перпендикулярами на границах интервала, характеризует вероятность попадания результата наблюдения или случайной погрешности в заданный интервал. Центром тяжести такой фигуры оказывается математическое ожидание результатов наблюдений.

Таким образом, случайные погрешности возможно существенно уменьшить путём увеличения числа единичных измерений. Анализ случайных величин может выполняться только методами теории вероятности и математической статистики. Для этого должны быть известны вероятностные и статистические характеристики: закон распределения плотностей вероятностей, среднее квадратическое отклонение, доверительная вероятность.

#### **Список литературы**

1. *Сергеев А.Г.* Метрология, стандартизация и сертификация: учебник для бакалавров. – 2-е изд. - М.: ИД Юрайт, 2013. - 838 с.
2. РМГ 64-2003. ГСП. Обеспечение эффективности при управлении технологическими процессами. Методы и способы повышения точности измерений.
3. *Мучкаева Г.М.* Метрология: учебное пособие. – Элиста: Изд-во Калм. ун-та, 2013. – 114 с.

05.11.07

**Т.Р. Сахбиев, О.Г. Морозов д.т.н., И.И. Нуреев к.т.н.,  
А.Ж. Сахабутдинов к.ф.-м.н., Д.И. Касимова**

Казанский национальный исследовательский технический университет  
им. А.Н.Туполева – КАИ, кафедра радиофотоники и микроволновых технологий,  
Казань, microoil@mail.ru

## **ПОЛИГАРМОНИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ТОЛЩИНЫ ТОНКИХ ПЛЕНОК**

**DOI:10.24153/2079-5920-2017-7-2-53-55**

*Прямой монохроматический мониторинг в прерывистом режиме широко используется в производстве оптических покрытий с 2005 года. Спектр применения широк как для классических камер напыления, так и камер с высокоточным напылением для изготовления одно- и многослойных структур, таких как: диэлектрические зеркала, антиотражающие покрытия, сложные краевые фильтры, поляризационные покрытия, сплиттеры, многополосные полосовые и режекторные фильтры. В статье рассмотрены пути развития монохроматического мониторинга с расширением числа зондирующих длин волн до двух, трех и более. Разработанный метод предназначен как для исследования узкополосных структур для систем связи с волновым уплотнением или интерференционных фильтров, так и широкополосных полосовых фильтров для оптико-электронных систем.*

Ключевые слова: тонкие пленки, фильтр, монохроматический мониторинг, полигармоническое зондирование.

**Введение.** Во время роста пленки изменение коэффициента пропускания или отражательная способность на выбранной длине волны измеряются с высокой точностью. Условие отсечки напыления связано с точками возврата и с оптической толщиной. Вариации коэффициента преломления компенсируются, что делает метод монохроматического мониторинга очень надежным в производственной среде. Для многослойных систем ошибки, сделанные во время осаждения слоя, компенсируются в последующих слоях. Однако в некоторых случаях может происходить накопление ошибок.

Поэтому стратегия мониторинга должна включать в себя, как выбор длин волн, так и их количества, а также выбор потенциальных испытаний, включая компьютерное моделирование для оптимизации [1].

**Двухчастотный мониторинг.** Рассмотрение современного состояния работ по созданию полигармонических методов зондирования волоконных брэгговских решеток (ВБР, которые можно выбрать за аналог тонкопленочных фильтров), обеспечивающих низкую стоимость и простоту реализации их интеррогации и мультиплексирования при прецизионных измерениях спектральных характеристик, показало, что малое количество публикаций, в которых решены лишь частные вопросы, посвященные данной тематике, не позволяют обоснованно подойти к выбору путей улучшения основных характеристик систем мониторинга, а созданные на их основе устройства не всегда удовлетворяют требованиям по метрологическим и эксплуатационным характеристикам. Среди указанных выше методов особо следует выделить методы двухчастотного симметричного зондирования ВБР с дифференциальной обработкой и обработкой по огибающей [2-8]. Данные методы (с амплитудной и амплитудно-фазовой регистрацией) обладают высокой оперативностью, обеспечивают измерение спектра в диапазоне единиц нм с погрешностью единиц пм.

Однако использование в них амплитудных методов измерений приводят к снижению реальной чувствительности и точности измерений, в силу влияния на их результат шумов различной природы. Кроме того, наблюдается неоднозначность измерений из-за симметричности ВБР.

Существенным улучшением характеристик измерительного преобразования могла бы стать разработка способа двухчастотного симметричного зондирования на основе анализа частотной или фазовой информации от фильтра. При этом следует учесть особенности взаимодействия двухчастотного излучения с контуром ВБР, с одной стороны квазигармонический характер двухчастотного сигнала, с другой векторный характер его огибающей при изменении соотношения амплитуд его составляющих на выходе. Однако и в этом случае шумовая составляющая велика, что приводит к появлению погрешностей до долей процента, что критично при измерении толщины пленок.

**Полигармоническое зондирование.** Трех- и более частотное зондирование профиля ВБР или тонкопленочного фильтра (ТФ) позволяет с заданной погрешностью определить длины волн и соответствующие им амплитуды их контура, если удастся попарно выделить результат воздействия зондирующих частот на данный контур.

Для полигармонического зондирования имеем  $N$  несущих зондирующих частот  $\omega_i, i = \overline{1, N}$  и  $N$  соответствующих этим частотам длин волн  $\lambda_i, i = \overline{1, N}$ . Суть метода полигармонического зондирования не меняется и заключается в том, чтобы путем частотной фильтрации (в оптической или электронной части схемы) попарно проанализировать результирующую огибающую кривую на фотодетекторе для каждой пары частот. Для этого потребуются  $N-1$  независимых измерений биений на фотодетекторе и анализ  $N-1$  огибающих.

Попарно анализируя результаты биения для частот  $(\omega_{i-1}, \omega_i)$  и  $(\omega_i, \omega_{i+1})$ , для  $\forall i = \overline{2, N-1}$ , в соответствии с алгоритмом, описанным выше, выделяем амплитуду  $A_j$ , соответствующую общей для пары частоте  $\omega_i$ . Амплитуда  $A_1$  и  $A_N$  сопоставляются частотам  $\omega_1$  и  $\omega_N$  методом исключения из первой и последней пар измерений.

В результате, получим частоты  $\omega_i$  и точно соответствующие им амплитуды  $A_i, i = \overline{1, N}$ , в точном соответствии с частотами зондирования известны и их длины волн  $\lambda_i = c/\omega_i, i = \overline{1, N}$ . Набор значений  $\{\lambda_i, A_i\}, i = \overline{1, N}$  является исходным набором данных для восстановления спектральной формы ВРБ профиля или для определения его смещения вдоль оси абсцисс.

Как следствие, по данным полигармонического зондирования, можно определить смещение (или центральную длину волны) детерминированного контура ТФ, или восстановить с заданной погрешностью спектральную форму недетерминированного контура ТФ. Недетерминированный контур ТФ можно аппроксимировать определенной функциональной зависимостью – кривой нормального распределения, параболой и пр. [130-131].

Таким образом, полигармоническое зондирование контура ТФ позволяет получить достаточное количество информации, чтобы исследователь мог без сканирования:

- полностью определить недетерминированный, но, описываемый определенной зависимостью, контур ТФ (узкополосные структуры);
- определить смещение детерминированного контура ТФ, заданного аналитически (узкополосные структуры);
- определить смещение детерминированного контура ТФ, заданного конечным набором измеренных значений (широкополосные структуры).

**Заключение.** Таким образом, нами показано, что использование полигармонического зондирования может найти широкое применение для построения систем мониторинга толщины тонких пленок. для анализа как узко- так и широкополосных тонкопленочных структур, например, для систем связи с волновым уплотнением или интерференционных фильтров, полосовых фильтров для оптико-электронных систем. Спектральное разрешение составляет доли пм при разносе частот десятки кГц.

Работа выполнена при поддержке МОН РФ в рамках госзадания на выполнение НИР в КНИТУ-КАИ на 2017-2019 годы (программа «Асимметрия», задание 8.6872.2017/БЧ).

**Список литературы**

1. A. Zöller, M. Boos, R. Götzelmann, H. Hagedorn, W. Klug. Substantial progress in optical monitoring by intermittent measurement technique // Proc. of SPIE. 2005. V. 5963. P.
2. Морозов О.Г., Айбатов Д.Л., Садеев Т.С. Синтез двухчастотного излучения и его применения в волоконно-оптических системах распределенных и мультиплексированных измерений // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. 2010. Т. 13. № 3. С.84-91.
3. Морозов О.Г., Ильин Г.И. Амплитудно-фазовая модуляция в системах радиофотоники // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. 2014. № 1 (20). С. 6-42.
4. Морозов О.Г., Морозов Г.А., Нургазизов М.Р., Талипов А.А. Оптико-электронные системы измерения мгновенной частоты радиосигналов с амплитудно-фазовым модуляционным преобразованием оптической несущей // Прикладная фотоника. 2014. № 2. С. 5-23.
5. Morozov O.G., et al. Methodology of symmetric double frequency reflectometry for selective fiber optic structures // Proc. of SPIE. 2008. V. 7026. P. 70260I-8
6. Morozov O.G., et al. Metrological aspects of symmetric double frequency and multi frequency reflectometry for fiber Bragg structures // Proc. of SPIE. 2008. V.7026. P.70260J-6.
7. Natanson O.G., et al. Development problems of frequency reflectometry for monitoring systems of optical fiber structures // Proc. of SPIE. 2005. V.5854. P.215-223.
8. Куприянов В.Г., Морозов О.Г., Нуреев И.И. и др. Маломодовое зондирование датчиков на основе волоконных решеток Брэгга // Научно-технический вестник Поволжья. 2013. № 4. С.322-325.
9. Сахабутдинов А.Ж., Нуреев И.И., Морозов О.Г. Уточнение положения центральной длины волны ВБР в условиях плохого соотношения сигнал–шум // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. 2015. Т. 18, №3–2. С. 98–102.
10. Севастьянов А.А., Морозов О.Г., Талипов А.А. и др. Формирование многочастотного излучения в двухпортовом модуляторе Маха-Цендера // Научно–технический вестник Поволжья. – 2013. – № 4. – С. 232–236.

05.11.01

**Ю.И. Шакиров, Л.Н. Кашафутдинова, Р.И. Валиев**

Набережночелнинский институт (филиал)  
Казанского (Приволжского) федерального университета, отделение информационных технологий и энергетических систем, кафедра электроэнергетики и электротехники,  
г. Набережные Челны, lili\_kn@mail.ru

### **РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА АВТОМАТИЧЕСКОЙ КОМПЕНСАЦИИ ПОГРЕШНОСТЕЙ ТРАНСФОРМАТОРОВ НАПРЯЖЕНИЯ**

**DOI:10.24153/2079-5920-2017-7-2-56-58**

*Работа посвящена исследованию и разработке устройств автоматической компенсации погрешностей измерительных трансформаторов напряжения. Отличительной особенностью предлагаемой схемы является формирования напряжения компенсации на вольтодобавочном трансформаторе. Это обеспечивает решение вопроса надежной работы компенсированного трансформатора напряжения.*

Ключевые слова: *трансформатор напряжения; устройства компенсации погрешностей; вольтодобавочный трансформатор.*

#### **Введение**

Для повышения точности измерения напряжения начали применять разного рода способы компенсации погрешностей трансформатора напряжения [1], которые позволяют повысить нагрузочную способность трансформатора напряжения до его максимальной мощности по условиям нагрева. В отсутствие правовой и методической основы в отечественной электроэнергетике этому вопросу не уделяется должного внимания, а предложенные технические решения несовершенны и требуют дополнительных исследований и доработок.

Данная работа посвящена исследованию и разработке устройств автоматической компенсации погрешностей измерительных трансформаторов напряжения.

Потери напряжения при холостом ходе легко компенсируются витковой коррекцией при производстве трансформатора напряжения, а потери напряжения от нагрузки компенсируются соответствующей вольтодобавкой. Поэтому дальнейшее рассмотрение вопросов компенсации сосредоточено на компенсации погрешностей от нагрузки вторичной цепи трансформатора напряжения.

Компенсация погрешностей трансформатора напряжения предусматривает обеспечение условия равенства приведенного напряжения на нагрузке первичному (измеряемому) напряжению  $U_1$ , т.е.:

$$U'_{2H} = U'_1$$

Данный способ компенсации погрешностей подразумевает, что к фактическому напряжению во вторичной цепи трансформатора напряжения  $U_2$  прибавляется напряжение, равное потерям напряжения в обмотках трансформатора  $\Delta U_H$ :

$$U'_1 = U_{2H} = U_2 = \Delta U_{2H}, \quad (1)$$

$$\Delta U_H = I_2 Z_m = I_2 (R_m + jX_m) \quad (2)$$

Исследованы различные методы реализации данного условия. Был рассмотрен вариант, когда вольтодобавка, равная падению напряжения в трансформаторе напряжения при нагрузке, формируется схемой, показанной на рисунке 1.

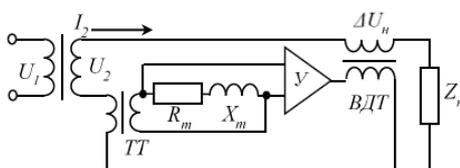


Рисунок 1 – Структурная схема трансформатора напряжения с вольтодобавкой, сформированной нагрузкой вторичной цепи трансформатора тока (ТТ)

На схеме используется трансформатор тока (ТТ) измеряющий ток вторичной обмотки трансформатора напряжения. сопротивления  $R_m$  и  $X_m$  включены во вторичную обмотку ТТ, пропорциональные сопротивлениям обмоток трансформатора напряжения. На сопротивлениях формируется напряжение, пропорциональное падению напряжения в трансформаторе напряжения, которое с помощью коэффициента усиления усилителя  $U$  и коэффициента трансформации вольтодобавочного трансформатора [2] выравнивается по амплитуде и фазе с  $\Delta U_n$  и подается во вторичную цепь трансформатора напряжения. Таким образом реализуется уравнение (2).

Далее разрабатывался вариант предусматривающий формирование добавочного напряжения путем сравнения в измерительном операционном усилителе опорного напряжения (равного измеряемому напряжению) и фактического напряжения на нагрузке. В качестве опорного, предложено напряжение холостого хода дополнительной обмотки трансформатора напряжения  $U_{3x} = U_0$ .

Функциональная схема алгоритма компенсации представлена на рисунке 2.

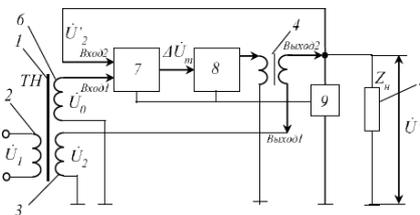


Рисунок 2 – Функциональная схема алгоритма компенсации

Данная схема работает следующим образом. При подключении первичной обмотки 2 на измеряемое напряжение  $U_1$  сети высокого напряжения, в основной вторичной обмотке 3 трансформатора напряжения протекает ток нагрузки  $I_2$ , вызывающий падение напряжения  $\Delta U_m$  в обмотках 2 и 3 трансформатора напряжения.

Напряжение  $\Delta U_m$  вычитается из приведенного к основной вторичной обмотке 3 напряжения  $U'_1$  первичной обмотки 2, и на выходе основной вторичной обмотки 3 формируется напряжение  $U'_2$ , не совпадающее с приведенным напряжением  $U'_1$  первичной обмотки 2, что обуславливает наличие погрешности трансформатора напряжения. Вектор  $\Delta U_m$  характеризует полную погрешность трансформатора напряжения как по амплитуде, так и по фазе. В дополнительной вторичной обмотке 6 ток нагрузки не протекает, падение напряжения  $\Delta U_m$  в ней отсутствует, и на выходе формируется опорное напряжение  $U_0$ , равное приведенному напряжению  $U'_1$  первичной обмотки 2.

На первый вход блока измерения погрешности 7 подается сигнал напряжения  $U_0$  с дополнительной вторичной обмотки 6, а на второй вход поступает сигнал напряжения  $U'_2$  с нагрузки  $Z_n$  5. Блок измерения погрешности 7 вычитает сигнал  $U'_2$  из  $U_0$  и формирует на выходе сигнал  $\Delta U_m$ , который усиливается усилителем 8 и поступает на вход вольтодобавочного трансформатора 4. Вольтодобавочный трансформатор 4 формирует вектор напряжения вольтодобавки  $\Delta U_{вдм}$ , совпадающий с вектором  $\Delta U_m$ , который складывается с вектором напряжения  $U_2$  основной вторичной обмотки 3, формируя напряжения  $U'_2$  на нагрузке  $Z_n$  5.

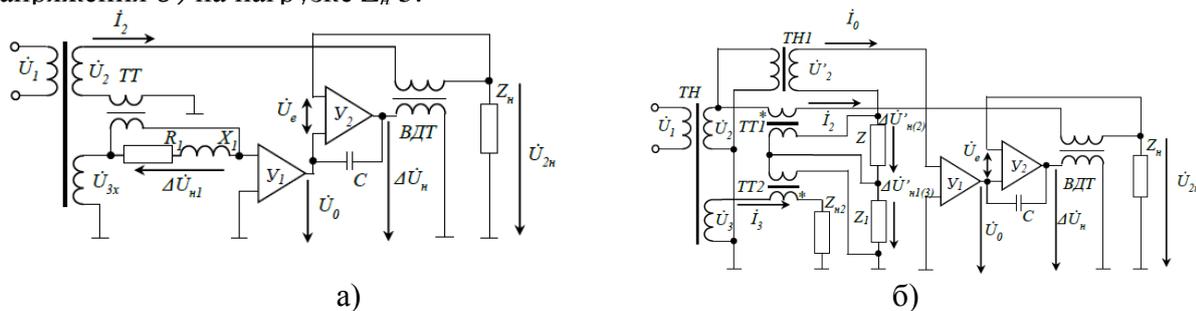


Рисунок 3 – Структурная схема трансформатора напряжения

а) с формированием вольтодобавки сравнением измеряемого напряжения с фактическим на нагрузке; б) с вольтодобавкой при работе дополнительной обмотки под нагрузкой

Приведенная на рисунке 3 а) схема автоматической компенсации погрешностей трансформатора напряжения может работать при условии, когда дополнительная обмотка так же нагружена. В этом случае, во вторичные цепи обоих обмоток включаются трансформатора напряжения, которыми формируются падения напряжения в обмотках трансформатора напряжения. Сформированные напряжения суммируются с напряжением  $U_2$  компенсируемой обмотки и формируют опорное напряжение, равное  $U'_1$ . Схема данного алгоритма приведена на рисунке 3б).

Разработана принципиальная схема и построен образец устройства автоматической компенсации погрешностей трансформатора напряжения. Принципиальная схема устройства приведена на рисунке 4. Данное устройство было успешно испытано в лабораторных условиях для различных вариантов величины и характера нагрузки.

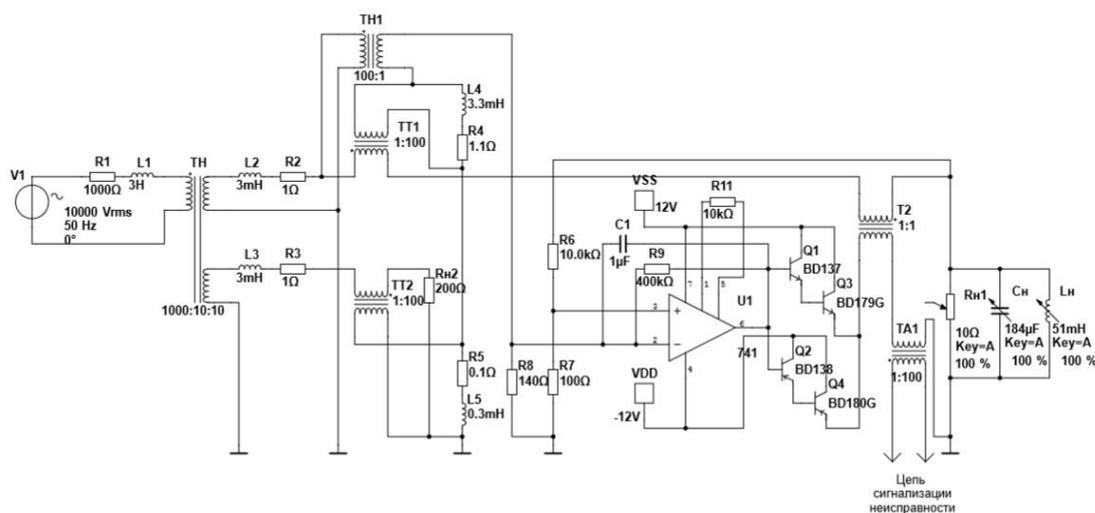


Рисунок 4– Принципиальная схема устройства автоматической компенсации погрешностей трансформатора напряжения

### Заключение

Отличительной особенностью предлагаемой схемы является формирования напряжения компенсации на вольтодобавочном трансформаторе. Это обеспечивает решение вопроса надежной работы компенсированного трансформатора напряжения. В предлагаемой схеме при выходе из строя блока компенсации, компенсированный трансформатор напряжения продолжит работать (но уже без компенсации), т.к. цепь вторичной обмотки остается замкнута через вторичную обмотку вольтодобавочный трансформатор. В схемах без данного устройства, при выходе из строя схемы компенсации, размыкается цепь вторичной обмотки трансформатора напряжения и он так же выходит из работы, что может привести не только к значительному недоучету электроэнергии, но и к выводу из работы устройств РЗиА, что недопустимо.

Таким образом, на основе схемы, описанной выше, можно построить относительно недорогой измерительный трансформатор напряжения на основе стандартного силового трансформатора для широкого диапазона нагрузок.

### Список литературы

1. Андреенков Евгений Сергеевич. Исследование погрешностей трансформаторов напряжения в распределительных сетях 6-35 кВ.
2. Артемов А.И. Компенсация погрешностей трансформаторов напряжения 6-10 кВ с помощью вольтодобавочных трансформаторов [Текст] / А.И. Артемов, В.А. Левченков, А.Г. Сидоров // Труды Международного Форума по вопросам науки, техники и образования. Т. 2 / под. ред. В. П. Савиных, В. В. Вишневого – М.: Академия Наук о Земле, 2005. – С. 133–134.

**ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И  
УПРАВЛЕНИЕ (05.13.00)**

05.13.18

**А.И. Акимов**

Московский технологический институт, филиал в г. Оренбурге,  
кафедра информатики и автоматизации,  
Оренбург, akimoff11@mail.ru

**ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕРМОНАПРЯЖЕНИЙ И ДЕФОРМАЦИЙ ПРИ ФРОНТАЛЬНОМ  
ОТВЕРЖДЕНИИ ОСЕСИММЕТРИЧНЫХ ПОЛЫХ ИЗДЕЛИЙ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ  
ФОРМЫ**

**DOI:10.24153/2079-5920-2017-7-2-59-62**

*В данной работе представлены результаты изучения и определения радиальной и окружной компонент и деформаций, возникающих в производстве композиционных материалов (КМ) методом полимеризации в установках автоматического ведения технологического процесса (АВТП).*

*Ключевые слова: термонапряжения, деформация, полимеризация, фронтальное отверждение, осесимметричные формы, химическая усадка, напряженное состояние.*

Рассмотрим задачу о фронтальном отверждении изделия в форме полого цилиндра, непрерывно наращиваемого с внешней поверхности изделия до технологического мешка. Краевая задача для непрерывно растущего тела при малых деформациях включает стандартные уравнения равновесия, определяющие соотношения и граничные условия на растущих поверхностях.

В задачах термонапряженности отверждаемого полимерного изделия, уравнения равновесия и совместности деформаций описываются в следующей форме

$$\frac{\partial \sigma_r}{\partial r} = \frac{\sigma_\varphi - \sigma_r}{r} \quad (1)$$

и

$$\frac{\partial \varepsilon_\varphi}{\partial r} = \frac{\varepsilon_r - \varepsilon_\varphi}{r}. \quad (2)$$

Полные компоненты деформаций являются суммой вязко-упругой  $\varepsilon^*$ , температурной  $\varepsilon^U$  и химической  $\varepsilon^x$  составляющих  $\varepsilon = \varepsilon^* + \varepsilon^U + \varepsilon^x$ , т. к. процессу отверждения соответствуют химическая, физическая и температурная усадки материалов.

Температурная и химическая усадки определяются равенствами

$$\varepsilon^U = \alpha_U (U - U_0), \quad \varepsilon^* = \alpha_x \beta,$$

где  $\alpha_U$  – коэффициент теплового расширения,  $\alpha_x$  – коэффициент полимеризационной усадки,  $U$  – температура изделия.

Вязкоупругая компонента деформации зависит от степени заполимеризованности. Фронт реакции  $r^* = \xi(\tau)$  движется от внешней поверхности полого цилиндра к внутренней поверхности. Фронт полимеризации  $r^* = \xi(\tau)$  делит систему на две области: (I)  $\xi(\tau) < r \leq R_0$  (затвердевшая часть) и (II)  $R_n \leq r < \xi(\tau)$  (неотвердевшая часть). Под растущим телом будем понимать затвердевшую фазу системы и рассматривать процессы непрерывного наращивания с границей раздела фаз  $r^* = \xi(\tau)$ .

Напряженное состояние затвердевшей части (I) можно рассматривать независимо от состояния неотвердевшей части (II).

Элементы растущего тела в откровенности какой-либо точки  $(r, \tau)$ , деформируется совместно с другими элементами, начиная лишь с момента его отверждения, совпадающего с моментом присоединения этого элемента к затвердевшей области (I). Чтобы соблюсти корректность постановки задачи и учесть динамический характер протекающего процесса отверждения, уравнения (1) и (2) запишем в продифференцированном по времени виде [1].

$$\frac{d\dot{\sigma}_r}{dr} + \frac{1}{r}(\dot{\sigma}_r - \dot{\sigma}_\varphi) = 0 \quad (3)$$

$$\frac{d\dot{\varepsilon}_\varphi}{dr} + \frac{1}{r}(\dot{\varepsilon}_\varphi - \dot{\varepsilon}_r) = 0 \quad (4)$$

Уравнения (3) и (4) запишем в виде разрешающего дифференциального уравнения относительно радиального напряжения  $\sigma_r$  [2].

$$\frac{\partial^2 \dot{\sigma}_r}{\partial^2 r} + \frac{3}{r} \frac{\partial \dot{\sigma}_r}{\partial r} - \frac{\dot{\chi}(r, \tau)}{r} = 0, \quad (5)$$

где  $\dot{\chi}(r, \tau) = -\frac{\alpha_u E}{(1-\mu)} \cdot \frac{du}{dr}$ ,  $E$  – модуль Юнга,  $\mu$  – коэффициент Пуассона,

$\alpha_u$  – коэффициент теплового расширения.

Понизив порядок дифференциального уравнения (5), получим

$$\frac{\partial \dot{\sigma}_r}{\partial r} = \frac{1}{r^3} [C(\tau) \cdot R_n^3 - \int_r^{R_n} \dot{\chi}(r, \tau) \cdot r^2 dr], \quad (6)$$

где  $C(\tau) = \frac{\partial \dot{\sigma}_r(R_n, \tau)}{\partial r}$  – функция, зависящая от времени.

Будем считать, что растущая поверхность  $r^* = \xi(\tau)$  движется по закону  $\xi(\tau) = R_n - v\tau$  (т. к. прогрев заготовки равномерен) и на растущей поверхности заданы условия  $\sigma_r[\xi(\tau)] = \sigma_{r^*}(\tau)$ ,  $\sigma_\varphi[\xi(\tau)] = \sigma_{\varphi^*}(\tau)$ .

В силу условия равновесия на поверхности  $\xi(\tau)$  имеем [3]

$$\dot{\sigma}_r(\xi(\tau)) = \frac{d\sigma_{r^*}(\tau)}{d\tau} + \frac{\partial \sigma_{r^*}}{\partial r^*} \cdot \frac{dr^*}{d\tau} = \frac{d\sigma_{r^*}(\tau)}{d\tau} + \frac{dr^*}{d\tau} \cdot \frac{\sigma_{\varphi^*}(\tau) - \sigma_{r^*}(\tau)}{r^*} \equiv \psi(\tau). \quad (7)$$

Пусть на растущей поверхности задано давление  $P(\tau)$ , т. е.

$$\dot{\sigma}_r(\xi(\tau)) = \psi(\tau) = \dot{P}(\tau). \quad (8)$$

Интегрирование уравнения (6) первого порядка по переменной  $r$  с учетом граничного условия (8) на растущей поверхности приводит к следующему выражения [4] для произвольной радиальной компоненты напряжений  $\dot{\sigma}_r(r, \tau)$

$$\dot{\sigma}_r = \int_r^{r^*} [C(\tau) R_n^3 - \int_r^{R_n} \dot{\chi}(r, \tau) r^2 dr] \frac{1}{r^3} dr + \dot{P}(\tau), \quad (9)$$

где  $r^* = \xi(\tau) = R_n - v\tau$ .

Пусть на нерастущей поверхности  $r = R_n$  задано давление  $P_I(\tau)$ , т. е.

$$\dot{\sigma}_r(R_n) = \dot{P}_I(\tau). \quad (10)$$

Подставляя (10) в (9) получим выражение для неизвестной функции  $C(\tau)$  [5]:

$$C(\tau) = \frac{2r^{*2}}{R_n(R_n^2 - r^{*2})} \cdot [\dot{P}(\tau) - p_I(\tau) + \int_{r^*}^{R_n} \left( \int_r^{R_n} \dot{\chi}(r, \tau) r^2 dr \right) \frac{1}{r^3} dr]. \quad (11)$$

Тогда

$$\sigma_r(r, \tau) = \dot{P}(\tau) \frac{r^{*2}(R_n^2 - r^2)}{r^2(R_n^2 - r^{*2})} - \frac{R_n^2(r^2 - r^{*2})}{r^2(R_n^2 - r^{*2})} \cdot \left( \dot{P}_I(\tau) - \int_{r^*}^{R_n} \left( \int_r^{R_n} \dot{\chi}(r, \tau) r^2 dr \right) \frac{1}{r^3} dr \right) - \int_{r^*}^r \left( \int_r^{R_n} \dot{\chi}(r, \tau) r^2 dr \right) \frac{1}{r^3} dr. \quad (12)$$

Нахождение производной окружности компоненты напряжений выделяется аналогично и имеет вид [6]

$$\sigma_{\varphi}(r, \tau) = \dot{P}(\tau) \frac{r^{*2} (3R_n^2 - r^2)}{r^2 (R_n^2 - r^{*2})} + \frac{R_n^2 (r^2 - 3r^{*2})}{r^2 (R_n^2 - r^{*2})}. \quad (13)$$

$$\cdot \left( \dot{P}_1(\tau) - \int_r^{R_n} \dot{\chi}(r, \tau) r^2 dr \right) \frac{1}{r^3} dr - \int_r^{R_n} \dot{\chi}(r, \tau) r^2 dr \frac{1}{r^3} dr - \frac{1}{r^2} \int_r^{R_n} \dot{\chi}(r, \tau) r^2 dr.$$

Выражения (12) и (13) являются дифференциальными соотношениями для определения радиальной и окружной компонент напряжений. [7]

Далее зададим начальные условия  $\sigma_r(r, 0) = 0$  при  $R_{n+1} < r < R_0$  и  $\sigma_{\varphi}(r, 0) = 0$  при  $R_{n+1} < r < R_0$ .

Формулы (12) и (13) позволяют записать приближенные формулы для определения радиальной и окружной компонент напряжений по формулам [8]

$$\sigma_r(r, \tau + \Delta\tau) \approx \sigma_r(r, \tau) + \Delta\tau \dot{\sigma}_r(r, \tau); \quad (14)$$

$$\sigma_{\varphi}(r, \tau + \Delta\tau) \approx \sigma_{\varphi}(r, \tau) + \Delta\tau \dot{\sigma}_{\varphi}(r, \tau). \quad (15)$$

После определения  $\sigma_r$  и  $\sigma_{\varphi}$  остальные вязкоупругие компоненты находятся из следующих соотношений:

$$\varepsilon_r = \frac{1}{E} ((1 - \mu^2)\sigma_r - (1 + \mu)\mu\sigma_{\varphi}) + (1 + \mu)\alpha_u \cdot U; \quad (16)$$

$$\varepsilon_{\varphi} = \frac{1}{E} ((1 - \mu^2)\sigma_{\varphi} - (1 + \mu)\mu\sigma_r) + (1 + \mu)\alpha_u \cdot U. \quad (17)$$

### Список литературы

1. *Шарафутдинов А.М.* Использование операции прессования в современных автоматизированных производствах изготовления композиционных материалов / А. М. Шарафутдинов, А. И. Акимов, О. Г. Москалева // Вестник научных конференций. – 2015. – №2-2(2). – С. 158-159.
2. *Акимов А.И.* Теплофизические и энергетические явления, происходящие в процессе полимеризации в установках АВТП // Образовательная среда сегодня и завтра : Междунар. науч.-практ. конф. – М. : Изд. НОУ ВО Моск. техн. ин-т, 2015. - С. 163 - 166.
3. *Акимов А.И.* Применение метода изотермических поверхностей для решения задач теплообмена в многослойных конструкциях // Образовательная среда сегодня и завтра : Междунар. науч.-практ. конф. – М. : Изд. НОУ ВО Моск. техн. ин-т, 2013. - С. 311-313.
4. *Акимов А.И.* Задача об охлаждении полого многослойного цилиндрического тела из композиционных материалов от температуры полимеризации до температуры среды // Научно-технический вестник Поволжья. – Казань: Изд. Научно-технический вестник Поволжья, 2015. - № 5. - С. 108 – 111.
5. *Жумагазеев Т.И.* Исследование теплопередачи на втором этапе производства композиционных материалов методом полимеризации в установках автоматического ведения технологического процесса (АВТП) / Акимов И. А., Акимов А. И., Жумагазеев Т. И. // Научно-технический вестник Поволжья. – Казань: Изд. Научно-технический вестник Поволжья, 2015. - № 2. - С. 63 – 67.
6. *Каракулина Е.О.* Исследование массопереноса на втором этапе производства композиционных материалов методом полимеризации в установках автоматического ведения технологического процесса (АВТП) / Акимов И. А., Акимов А. И., Каракулина Е.О. // Научно-технический вестник Поволжья. - Казань: Изд. Научно-технический вестник Поволжья, 2015. - № 1. - С. 31 – 38.

7. *Каракулина Е.О.* Исследование и разработка математической модели на первом этапе производства некоторых типов композиционных материалов в установках Шольца / *Акимов И. А., Акимов А. И., Каракулина Е. О.* // *Научно-технический вестник Поволжья.* - Казань: Изд. Научно-технический вестник Поволжья, 2016. - № 1. - С. 54 – 57.
8. *Логина О.В.* Информационные технологии управления в современных автоматизированных производствах изготовления композиционных материалов / *О. В. Логина, А. И. Акимов* // *Вестник научных конференций.* – 2015. – №2-2(2). – С. 82-83.

05.13.18

**И.А. Акимов д.т.н., Б.К. Жумашева**

Оренбургский государственный педагогический университет,  
Физико-математический факультет,  
кафедра математического анализа и методики преподавания математики,  
Оренбург, akimov\_ia@mail.ru

Оренбургский государственный университет,  
Аэрокосмический институт,  
кафедра управления и информатики в технических системах,  
Оренбург, zhumasheva.bk@mail.ru

### **ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ТРЕТЬЕГО ЭТАПА ПРОИЗВОДСТВА КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ В УСТАНОВКАХ ШОЛЬЦА**

**DOI:10.24153/2079-5920-2017-7-2-63-67**

*В данной работе представлены результаты изучения теплопередачи в многослойных конструкциях с различными коэффициентами теплопроводности на этапе остывания композиционных материалов (КМ) в установках Шольца.*

*Ключевые слова: композиционные материалы, многослойные конструкции, установка Шольца, условия сопряжения, трехслойная стенка.*

В авиационной промышленности, для создания нормальных условий работы лётчиков и оборудования, ограждающие конструкции рабочего отсека летательных аппаратов делают многослойными. Каждый из слоев создается из материалов с качественно различными свойствами и преследуют свои цели.

Поверхностные слои создаются обычно из материалов, обладающих высокой теплотой фазового превращения, а другие же слои, более отдаленные от поверхности изделия – из материалов с низким коэффициентом теплопроводности. В результате, несмотря на большие тепловые потоки, образующиеся от трения летательного аппарата от окружающую среду, они не доходят до рабочих отсеков.

Рассмотрим производство композиционных материалов (КМ) в установках Шольца методом полимеризации.

Первый и второй этапы производства многослойных КМ рассмотрены в работах [1, 2].

На третьем этапе производства КМ, когда установка Шольца отключена от электрообеспечения, происходит естественное остывание изделия до температуры среды вместе с установкой Шольца. Давление внутри установки не отключается до достижения температуры  $60^{\circ}\text{C}$ . Допускаются дальнейшее остужение методом обдува со скоростью не более  $1^{\circ}\text{C} / \text{мин}$ . до температуры среды (цеха).

Изделие (обшивка пола вертолета) после второго этапа производства, можно рассматривать как одно сплошное тело, состоящее из трех слоев. Крайние слои состоят из стеклоткани, а средний слой состоит из сотового материала, который служит для изоляции от шума и температуры. Он изготовлен из материалов с низким коэффициентом теплопроводности. В результате, несмотря на большие тепловые потоки, теплота трения не доходит до отсеков где работают лётчики и расположены лётное оборудование (рис. 1).

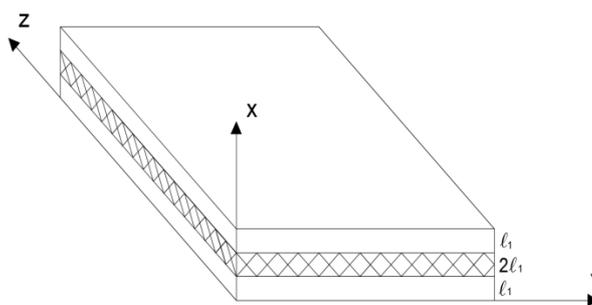


Рис. 1. Схема расположения слоев:  $l_1$  – стеклоткань, пропитанная связующими материалами;  
 $2l_2$  – соты из теплоизоляционных материалов

Учитывая, что длина и ширина изделия бесконечно велики по сравнению с толщиной, то изделие примем за неограниченную пластину. Решение проведем по одномерной схеме, т.е. по толщине изделия. Изменение температуры происходит только в одном направлении  $x$  (рис. 1), а в двух других направлениях  $y$  и  $z$  температура неизменна  $\frac{\partial U}{\partial x} = \frac{\partial U}{\partial y} = 0$ .

Следовательно, задача сводится к одномерной. Предположим, что система координат соответствует центру бесконечной пластины.

**Постановка задачи.** Дано распределение температуры по толщине пластины в виде некоторой функции  $f(x)$ . В начальный момент времени, ограничивающие поверхности мгновенно охлаждаются до некоторой температуры  $U_c$  (отключается электропитание) и изделие в  $165^{\circ}\text{C}$  (температура полимеризации) начинает охлаждаться до температуры среды  $U_c$ . Требуется найти распределение температуры по толщине пластины.

Сначала сформулируем задачу для одного слоя неограниченной пластины. Затем полученное решение распространим на решение задачи трехслойной неограниченной пластины.

Сначала решим следующую задачу. Дано распределение температуры по толщине в виде некоторой функции  $f(x)$ . В начальный момент времени, ограничивающие поверхности мгновенно охлаждаются до некоторой температуры  $U_c$ , которая поддерживается постоянной на протяжении всего процесса охлаждения. Найти распределение температуры по толщине пластины.

Условие задачи математически может быть сформулировано следующим образом. Имеем дифференциальное уравнение.

$$\frac{\partial U(x, \tau)}{\partial \tau} = a \frac{\partial^2 U(x, \tau)}{\partial x^2}, \quad 0 < x < R, \quad \tau > 0 \quad (1)$$

при краевых условиях

$$\text{с НУ: } U(x, 0) = f(x) = U_0 = \text{const} \quad (2)$$

$$\text{и ГУ: } U(0, \tau) = U_c = \text{const} \quad (3)$$

$$U(R, \tau) = U_c = \text{const} \quad (4)$$

В работе [3], методом разделения переменных получено решение данной задачи при температуре ограничивающих поверхностей равной нулю, в виде

$$\frac{U(x, \tau)}{U_0} = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2}{\mu_n} (-1)^{n+1} \cos \mu_n \cdot \frac{x}{R} \cdot e^{-\mu_n^2 \frac{a\tau}{R^2}}, \quad (5)$$

где  $U_0$  – температура изделия после отключения электрообеспечения ( $165^{\circ}\text{C}$ );

$U_c$  – температура среды;  $\mu_n = (2n-1)\frac{\pi}{2}$  ( $n=1, 2, \dots$ );

$\sqrt{a}$  – температуропроводность пластины;  $v(x, \tau)$  – решение задачи при температуре ограничивающих поверхностей равной нулю.

Если температура ограничивающих поверхностей не равно нулю, а равно  $U_c$ , как это следует из условия задачи, то решение исходной задачи можно переписать в виде

$$U(x, \tau) = \frac{v(x, \tau) - U_c}{U_0 - U_c} = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2}{\mu_n} (-1)^{n+1} \cdot \cos \mu_n \frac{x}{R} \cdot e^{-\mu_n^2 \cdot F_0}, \quad (6)$$

где  $F_0 = \frac{a\tau}{R^2}$ . В последующем мы используем этот результат.

Решение задачи операционным методом. Применяя интегральное преобразование Лапласа к задаче, получим обыкновенное дифференциальное уравнение относительно изображения искомого решения в виде

$$\frac{d^2 U(x, p)}{dx^2} - \frac{p}{a} U(x, p) + \frac{U_0}{a} = 0 \quad (7)$$

Начальное условие уже использовано,  $p$  – параметр преобразования Лапласа. Граничные условия для изображения будут иметь вид

$$\bar{U}(R, p) = \frac{U_c}{p}, \quad \frac{d\bar{U}(0, p)}{dx} = 0 \quad \text{т.к. } U_c = const \quad (8)$$

Решение обыкновенного дифференциального уравнения (7) имеет вид

$$\bar{U}(x, p) = \frac{U_0}{p} + C_1 ch \sqrt{\frac{p}{a}} x + C_2 sh \sqrt{\frac{p}{a}} x, \quad (9)$$

где  $C_1$  и  $C_2$  – постоянные, определяемые из граничных условий (8). По условию симметрии  $C_2 = 0$ , так как  $\frac{d\bar{U}(0, p)}{dx} = \left[ \sqrt{\frac{p}{a}} C_1 sh \sqrt{\frac{p}{a}} x + \sqrt{\frac{p}{a}} C_2 ch \sqrt{\frac{p}{a}} x \right]_{x=0} = \sqrt{\frac{p}{a}} C_2 = 0$

Постоянную  $C_1$  находим из первого граничного условия (8)

$$U(R, p) = \frac{U_0}{p} + C_1 ch \sqrt{\frac{p}{a}} R = \frac{U_c}{p},$$

$$\text{откуда } C_1 = -\frac{U_0 - U_c}{p ch \sqrt{\frac{p}{a}} R}.$$

Таким образом, решение в изображениях будет иметь вид

$$\frac{U_0}{p} - \bar{U}(x, p) = -\frac{(U_0 - U_c) ch \sqrt{\frac{p}{a}} x}{p ch \sqrt{\frac{p}{a}} R} \quad (10)$$

Далее, переходя к оригиналам, получим

$$U_0 - v(x, \tau) = (U_0 - U_c) - (U_0 - U_c) \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2}{\mu_n} (-1)^{n+1} \cos \mu_n \frac{x}{R} e^{-\mu_n^2 F_0},$$

где  $C_1 = \frac{2}{\mu_n} (-1)^{n+1}$  – начальная тепловая амплитуда;  $F_0 = \frac{a\tau}{R^2}$  – число Фурье;

$\mu_n = (2n - 1) \frac{\pi}{2}$ ,  $n = 1, 2, \dots$ ,  $v(x, \tau)$  – решение исходной задачи при температуре на границах равной нулю (см. предыдущую задачу).

Если температура ограничивающих поверхностей не равно нулю, а равно  $U_c$ , то решение искомого решения получим в виде

$$U(x, \tau) = \frac{v(x, \tau) - U_c}{U_0 - U_c} = \sum_{n=1}^{\infty} C_{1n} \cos \mu_n \frac{x}{R} e^{-\mu_n^2 F_0}, \quad (11)$$

где  $C_{1n} = \frac{2}{\mu_n} (-1)^{n+1}$ ,  $F_0 = \frac{a\tau}{R^2}$ , что совпадают с решением по методу разделения

переменных.

Процесс охлаждения состоит из процесса постепенного выравнивания температуры по толщине пластины (температура на ограничивающих поверхностях все время одинакова и равна  $U_c$ ), скорость протекания которого определяется коэффициентом теплопроводности.

Далее рассмотрим решение исходной задачи, состоящая из трех неограниченных пластин.

**Постановка задачи.** Дана пластина (сотовый слой) толщиной  $2l_2$ , соприкасающаяся с двумя пластинами, каждая из которых имеет толщину, равную  $l_1$ . Теплофизические свойства крайних пластин тождественны, но отличны от свойств средней пластины (рис.1). Требуется найти температурное поле системы трех соприкасающихся пластин.

Так как крайние пластины одинаковы, то рассмотрим изменение температуры только в первых двух пластинах, а изменение температуры на втором и третьем пластинах аналогично.

Система дифференциальных уравнений для двух пластин имеет вид

$$\frac{\partial U_1(x, \tau)}{\partial \tau} = a_1 \frac{\partial^2 U(x, \tau)}{\partial x^2}, \quad 0 < x < l_1, \quad \tau > 0 \quad (12)$$

$$\frac{\partial U_2(x, \tau)}{\partial \tau} = a_2 \frac{\partial^2 U(x, \tau)}{\partial x^2}, \quad l_1 < x < l_1 + l_2 = l, \quad \tau > 0 \quad (13)$$

с краевыми условиями:

$$\text{с НУ: } U_1(x, 0) = U_2(x, 0) = U_0 = \text{const}, \quad (14)$$

$$\text{и ГУ: } U_1(l_1, \tau) = U_2(l_1, \tau), \quad (15)$$

$$\lambda_1 \frac{\partial U_1(l_1, \tau)}{\partial x} = \lambda_1 \frac{\partial U_2(l_1, \tau)}{\partial x}, \quad (16)$$

$$\lambda_2 \frac{\partial U_2(l, \tau)}{\partial x} + \alpha [U_2(l, \tau) - U_c] = 0, \quad (17)$$

где  $\lambda_1$  – теплопроводность 1- слоя;  $\lambda_2$  – теплопроводность 2-го слоя;

$l = l_1 + l_2$ ,  $U(x, \tau)$  – температура пластин по координате  $x$  в момент времени  $\tau$ ;  $U_0$  – температура изделия до начала остывания;  $U_c$  – температура окружающей среды;  $l_1$  – толщина первой пластины;  $l_2$  – половина толщины второй пластины;  $\alpha$  – теплофизический коэффициент, характеризующий интенсивность теплообмена между изделием и окружающей средой.

Аналогично предыдущей задаче, применяя преобразования Лапласа к обоим уравнениям (12) и (13) и переходя к оригиналам, получим решения в виде

$$U_1(x, \tau) = \frac{U_0 - v_1(x, \tau)}{U_0 - U_c} = 1 - \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2}{\mu_n \psi_n} \cos \left( \frac{\mu_n x}{\sqrt{K_a} \cdot l_2} \right) \cdot e^{-\frac{\mu_n^2 K_l^2 F_{01}}{K_a}}, \quad (18)$$

$$U_2(x, \tau) = \frac{U_0 - v_2(x, \tau)}{U_0 - U_c} = 1 - \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2}{\mu_n \psi_n} \left[ \cos \mu_n \frac{x - l_1}{l_2} \cdot \cos \mu_n \frac{K_l}{\sqrt{K_a}} - K_{\xi} \sin \mu_n \frac{x - l_1}{l_2} \cdot \sin \frac{\mu_n K_l}{\sqrt{K_a}} \right] \times$$

$$\times e^{-\frac{\mu_n^2 K_l^2 F_{01}}{K_a}} \quad (19)$$

где

$$\psi_n = \left[ \left( 1 + \frac{K_\xi \cdot K_l}{\sqrt{K_a}} + \frac{1+K_l}{B_i} \right) \cdot \sin \mu_n + \mu_n \frac{1+K_l}{B_i} \left( 1 + \frac{K_\xi \cdot K_l}{\sqrt{K_a}} \right) \cdot \cos \mu_n \right] \cdot \cos \mu_n \frac{K_l}{\sqrt{K_a}} +$$

$$+ \left[ \left( 1 + \frac{K_l}{K_\xi \sqrt{K_a}} + \frac{1+K_l}{B_i} \right) \cdot \cos \mu_n - \mu_n \frac{1+K_l}{B_i} \left( 1 + \frac{K_l}{K_\xi \sqrt{K_a}} \right) \cdot \sin \mu_n \right] \cdot K_\xi \sin \mu_n \frac{K_l}{\sqrt{K_a}} \quad (20)$$

$\mu_n$  – корни характеристического уравнения,

$$K_\xi \frac{\mu}{B_i} (1+K_l) \operatorname{tg} \left( \frac{\mu K_l}{\sqrt{K_a}} \right) = 1 - \frac{\mu}{B_i} (1+K_l) \operatorname{tg} \mu - K_\xi \operatorname{tg} \mu \cdot \operatorname{tg} \left( \frac{\mu \cdot K_l}{\sqrt{K_a}} \right), \quad (21)$$

$$B_i = \frac{\alpha \cdot l}{\lambda}, \quad K_i = \frac{l_1}{l_2}, \quad F_{01} = \frac{a_1 \tau}{l_1^2}, \quad K_a = \frac{a_1}{a_2}, \quad 0 < K_\xi < 0,1, \quad K_\xi = \frac{\mu \operatorname{tg} \mu N}{\sqrt{1-\mu^2}}.$$

Если  $B_i = \infty$ , то граничное условие (17) примет вид

$$U_2(l, \tau) = U_c = \text{const}.$$

В этом случае общее решение сохраняется, но

$$\psi_n = \left( 1 + \frac{K_\xi \cdot K_l}{\sqrt{K_a}} \right) \cdot \sin \mu_n \cos \mu_n \frac{K_l}{\sqrt{K_a}} + K_\xi \left( 1 + \frac{K_l}{K_\xi \sqrt{K_a}} \right) \cdot \cos \mu_n \sin \mu_n \frac{K_l}{\sqrt{K_a}}, \quad (22)$$

$\mu_n$  определяется из уравнения

$$K_\xi \operatorname{tg} \mu \operatorname{tg} \left( \mu \frac{K_l}{\sqrt{K_a}} \right) = 1. \quad (23)$$

### Список литературы

1. Акимов И.А., Акимов А.И., Каракулина Е.О. Исследование и разработка математической модели на первом этапе производства некоторых типов композиционных материалов в установках Шольца // Научно-технический вестник Поволжья. № 1, 2016. – С.54-57.
2. Акимов И.А., Каракулина Е.О. Исследование и разработка математической модели на втором этапе производства композиционных материалов в установках Шольца // Научно-технический вестник Поволжья. № 2, 2016. – С.93-96.
3. Лыков А.В. Теория теплопроводности. М: «Высшая школа», 1967. – 599 с.

05.13.18

**А.И. Акимов<sup>1</sup>, В.Н. Козлов<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Московский технологический институт, филиал в г. Оренбурге,  
кафедра информатики и автоматизации,  
Оренбург, akimoff11@mail.ru

<sup>2</sup>Санкт-Петербургский государственный политехнический университет,  
Санкт-Петербург

### **МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕРМОНАПРЯЖЕНИЙ ПРИ ФРОНТАЛЬНОМ ОТВЕРЖДЕНИИ ПОЛЫХ ОСЕСИМЕТРИЧНЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ**

**DOI:10.24153/2079-5920-2017-7-2-68-70**

*В данной работе представлены результаты изучения термонапряжений и деформаций, возникающих в процессе производства многослойных композиционных материалах методом полимеризации в установках автоматического ведения технологического процесса (АВТП).*

*Ключевые слова: композиционные материалы, полимеризация, термонапряжения, деформация, химическая усадка, остаточные термонапряжения, термическое сопротивление.*

В настоящее время конструкции из многослойных композиционных материалов (КМ) все шире используется в авиационной промышленности, космической техники, судостроении, автомобилестроении, в медицине, в строительных целях и во многих других областях. Естественно, возрастают и требования к их прочностным характеристикам. Многочисленные области применения таких материалов требуют много понимания закономерностей формирования конечного продукта с требуемыми эксплуатационными характеристиками.

Температурный процесс полимеризации состоит из трех этапов.

На первом этапе происходит повышение температуры изделия от температуры среды до температуры полимеризации (это 160<sup>0</sup>С или 165<sup>0</sup>С в зависимости от типа связующего).

На втором этапе образуется фронт полимеризации, который продвигается с поверхности изделия до пресс камеры (до технологического мешка).

На третьем этапе происходит охлаждение готового изделия до температуры среды.

На первом этапе производства давление в технологическом мешке повышается по определенному режиму от одного до десяти атмосфер. Затем это давление постоянно поддерживается на втором и третьем этапах производства изделия.

Составим математическую модель термонапряжений и деформаций при фронтальном отверждении осесимметричных изделий, в частности лонжеронов лопастей вертолетов. [1]

Для процесса полимеризации характерным является высокая экзотермичность реакции и низкие значения коэффициентов теплопроводности мономерно-полимерной смеси. Такое соотношение теплофизических параметров полимеризационной смеси может приводить к неоднородному пространственно-временному распределению температуры и глубины реакции в образце [2]. Такие неоднородности в ходе полимеризации приводят к изменению теплового режима полимеризации, т. е. переходу фронтальной полимеризации к объемному и наоборот.

Если в системе действует источник теплоты, то выделенное тепло частично добавляется к теплоте источника, а частично накапливается на определенных участках полимеризации, что приводит к саморазогреву этого участка и усложняет процесс равномерного отверждения осесимметричных изделий (полого многослойного цилиндра).

Математическая модель описания таких процессов состоит из рассмотрения уравнения теплового баланса [3]

$$c\rho \frac{\partial U(r, \tau)}{\partial \tau} = \lambda \left( \frac{\partial^2 U(r, \tau)}{\partial \tau^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial U(r, \tau)}{\partial \tau} \right) + Q\omega, (k = 0, 1, 2, \dots, n) \quad (1)$$

и уравнения химической кинетики

$$\frac{\xi(r, \tau)}{\partial \tau} = \omega(r, \tau), \tag{2}$$

где  $U(r, \tau)$  – температура в данный момент времени  $\tau$  на глубине  $r$ ;  $\xi(r, \tau)$  – глубина полимеризации;  $\lambda \left( \frac{Bm}{M \cdot K} \right)$  – теплопроводность изделия,  $c$  – удельная теплоемкость,  $\rho$  – плотность вещества изделия,  $Q$  – тепловой эффект реакции полимеризации ( $Q\omega$  – плотность химического источника тепла),  $\omega$  – скорость химической реакции.

Скорость химической реакции задается формулой

$$\omega = K(\tau) \cdot \varphi(\xi), \tag{3}$$

где  $K(\tau)$  – описывается законом Аррениуса

$$K(\tau) = K_0 e^{\frac{E}{RU}},$$

где  $E$  – энергия активации,  $R$  – универсальная газовая постоянная,  $K_0$  – коэффициент при котором энергия активации равна нулю.

Функция  $\varphi(\xi)$  выражает закон протекания реакции в изотермических условиях [4]. Чаще всего полагают либо

$$\varphi(\xi) = (1 - \xi)^m, \tag{4}$$

реакция  $m$ -го порядка, либо

$$\varphi(\xi) = (\xi_0 + \xi)(1 - \xi), \tag{5}$$

автокаталическая реакция первого порядка.

В начальной момент времени температура совпадает с температурой активного начала полимеризации, а граничные условия можно принять I-го или III-го рода.

Рост вязкости в ходе полимеризации порождает целый ряд проблем, которые мало отражены в литературе. Зависимость вязкости  $\beta$  от температуры  $U$  и глубины полимеризации  $\xi$  задается в виде [6]

$$\beta(U, \xi) = \beta_0 e^{\frac{E^v}{RU} + A\xi}. \tag{6}$$

Здесь  $\beta_0$  – постоянная вязкости,  $R$  – универсальная газовая постоянная,  $E^v$  – энергия активации вязкого течения,  $A$  – постоянная, характеризующая рост вязкости в ходе реакции.

Таким образом, задача термонапряженности отверждаемого полимерного изделия описывается следующими определяющими уравнения равновесия совместности, теплопроводности и макрокинетики реакций полимеризации [7]

$$\frac{\partial \sigma_r}{\partial r} = \frac{\sigma_\varphi - \sigma_r}{r}, \tag{7}$$

$$\frac{\partial \varepsilon_\varphi}{\partial r} = \frac{\varepsilon_r - \varepsilon_\varphi}{r}, \tag{8}$$

$$c\rho \frac{\partial U(r, \tau)}{\partial \tau} = \lambda_0 \left( \frac{\partial^2 U(r, \tau)}{\partial \tau^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial U(r, \tau)}{\partial \tau} \right) + Q \frac{\partial \beta}{\partial \tau}, \tag{9}$$

$$\frac{\partial \beta}{\partial \tau} = K_\beta e^{\frac{E(1-\beta)(\beta_0+\beta)}{RU}}, \tag{10}$$

с начальным условием

$$\tau = 0 : \beta = 0; U|_{R=R_0} = U_0, \text{ где } R_n \leq r \leq R_0 \tag{11}$$

и граничными условиями

$$\frac{\partial U}{\partial r} - h(U - U_0)|_{r=R_0} = 0, U(r, \tau)|_{r=R_n} = \varphi(t). \tag{12}$$

В математической модели использованы обозначения:  $\sigma_r$  – нормальное напряжение в радиальном направлении;  $\sigma_\varphi$  – нормальное окружное напряжение;  $\varepsilon_\varphi$  – окружная деформация,  $\varepsilon_r$  – радиальная деформация;  $c$  – удельная теплоемкость материала,  $\rho$  – плотность;  $\lambda_0$  – теплопроводности материала;  $Q$  – тепловой эффект реакций полимеризации;  $K_\beta$  – скорость реакций полимеризации (отверждения);  $E$  – энергия активации реакции;  $R$  – универсальная газовая постоянная;  $\beta_0$  – некоторая «равновесная» степень структурирования, при которой при отсутствии силового воздействия, напряжения и деформации в среде равны нулю;  $U_0$  – начальная температура мономера и окружающей среды;  $h$  – коэффициент теплообмена с окружающей средой;  $\varphi(t)$  – заданный температурный режим.[8]

Полученная математическая модель дает возможность определять ряд физических параметров в процессе производства композиционных материалов методом полимеризации в установках АВТП.

### **Список литературы**

1. *Шарафутдинов А.М.* Использование операции прессования в современных автоматизированных производствах изготовления композиционных материалов / А. М. Шарафутдинов, А. И. Акимов, О. Г. Москалева // Вестник научных конференций. – 2015. – №2-2(2). – С. 158-159.
2. *Акимов А. И.* Теплофизические и энергетические явления, происходящие в процессе полимеризации в установках АВТП // Образовательная среда сегодня и завтра : Междунар. науч.-практ. конф. – М. : Изд. НОУ ВО Моск. техн. ин-т, 2015. - С. 163 - 166.
3. *Акимов А. И.* Применение метода изотермических поверхностей для решения задач теплообмена в многослойных конструкциях // Образовательная среда сегодня и завтра : Междунар. науч.-практ. конф. – М.: Изд. НОУ ВО Моск. техн. ин-т, 2013. - С. 311-313.
4. *Акимов А. И.* Задача об охлаждении полого многослойного цилиндрического тела из композиционных материалов от температуры полимеризации до температуры среды // Научно-технический вестник Поволжья. – Казань: Изд. Научно-технический вестник Поволжья, 2015. - № 5. - С. 108 – 111.
5. *Жумагазеев Т. И.* Исследование теплопередачи на втором этапе производства композиционных материалов методом полимеризации в установках автоматического ведения технологического процесса (АВТП) / Акимов И. А., Акимов А. И., Жумагазеев Т. И. // Научно-технический вестник Поволжья. – Казань: Изд. Научно-технический вестник Поволжья, 2015. - № 2. - С. 63 – 67.
6. *Каракулина Е.О.* Исследование массопереноса на втором этапе производства композиционных материалов методом полимеризации в установках автоматического ведения технологического процесса (АВТП) / Акимов И. А., Акимов А. И., Каракулина Е. О. // Научно-технический вестник Поволжья. - Казань: Изд. Научно-технический вестник Поволжья, 2015. - № 1. - С. 31 – 38.
7. *Каракулина Е.О.* Исследование и разработка математической модели на первом этапе производства некоторых типов композиционных материалов в установках Шольца / Акимов И. А., Акимов А. И., Каракулина Е. О. // Научно-технический вестник Поволжья. - Казань : Изд. Научно-технический вестник Поволжья, 2016. - № 1. - С. 54 – 57.
8. *Логина О.В.* Информационные технологии управления в современных автоматизированных производствах изготовления композиционных материалов / О.В. Логина, А.И. Акимов // Вестник научных конференций. – 2015. – №2-2(2). – С. 82-83.

05.13.10

<sup>1</sup>С.Б. Андреев, <sup>2</sup>В.В. Шведенко к.э.н.<sup>1</sup>Костромской государственной университет, кафедра защиты информации,  
Кострома, andrejevsvb@gmail.com<sup>2</sup>ООО «Регул+», г. Санкт-Петербург, vv\_shved@mail.ru**МОДЕЛИРОВАНИЕ ИНТЕГРАЛЬНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ОБЪЕКТНО-ПРОЦЕССНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЕМ****DOI:10.24153/2079-5920-2017-7-2-71-74**

*В статье представлена математическая модель преобразования показателей бизнес-процессов в их интегральные значения для объектно-процессного управления экономической системой предприятия.*

Ключевые слова: модель, предикаты, многономенклатурное производство, бизнес-процесс.

Использование и совершенствование системы мониторинга бизнес-процессов позволяет повысить эффективность управления социальными и экономическими системами. Применение средств автоматизации и информационных технологий обеспечивает управление отдельным элементом системы. Это дает возможность перейти к эффективному управлению многономенклатурным мелкосерийным производством. Поэтому актуальной становится задача совершенствования моделей и алгоритмов управления для экономических систем предприятий ориентированных на многономенклатурное производство [1-3].

Представленная в статье модель описана на основе теории предикатов и представляет собой алгебраическую систему  $A = \langle \Theta, \Sigma \rangle$  с основным множеством  $\Theta$  (множеством всех возможных объектных переменных системы) и сигнатурой  $\Sigma$  (множеством предикатов – P).

При построении модели с целью получения информации только об отклонениях нормативных показателей от фактических будем учитывать предикаты, которые принимают значения «истина». Поэтому при задании нового предиката будем определять множество значений его переменных, при которых предикат принимает только истинное значение.

Определим множества необходимые для построения предикатов.

$O = \{o_1, o_2, \dots, o_q\}$  – множество объектов системы, где  $o_i$  – код объекта,  $i = \overline{1, q}$ ,  $q$  – количество объектов.

$BP = \{bp_1, bp_2, \dots, bp_b\}$  – множество бизнес-процессов системы, где  $bp_i$  – код бизнес-процесса,  $i = \overline{1, b}$ ,  $b$  – количество бизнес-процессов.

$DV = \{dv_1, dv_2, \dots, dv_d\}$  – множество дат в формате дата+время (с точностью до секунды), где  $dv_i$  – конкретный момент времени,  $i = \overline{1, d}$ ,  $d$  – количество секунд за определенный период.

$TO = \{to_1, to_2, \dots, to_t\}$  – множество видов технологических операций (этапов бизнес-процессов) производства продукции (оказания услуг), где  $to_i$  – код технологической операции,  $i = \overline{1, t}$ ,  $t$  – количество технологических операций.

$SZ = \{sz_1, sz_2, \dots, sz_s\}$  – множество видов статей затрат производства продукции (оказания услуг), где  $sz_i$  – код статьи затрат,  $i = \overline{1, s}$ ,  $s$  – количество статей затрат производства.

$AR = \{ar_1, ar_2, \dots, ar_a\}$  – множество видов аналитических классификационных признаков производства продукции (оказания услуг), где  $ar_i$  – код аналитического классификационного признак,  $i = \overline{1, a}$ ,  $a$  – количество аналитических классификационных признаков.

$ON = \{on_1, on_2, \dots, on_n\}$  – множество объектов номенклатуры, где  $on_i$  – код объекта номенклатуры,  $i = \overline{1, n}$ ,  $n$  – количество объектов номенклатуры.

$OK = \{ok_1, ok_2, \dots, ok_k\}$  – множество объектов контроля, где  $ok_i$  – код объекта контроля,  $i = \overline{1, k}$ ,  $k$  – количество объектов контроля.

$OU = \{ou_1, ou_2, \dots, ou_u\}$  – множество объектов управления, где  $ou_i$  – код объекта управления,  $i = \overline{1, u}$ ,  $u$  – количество объектов управления.

$UV = \{uv_1, uv_2, \dots, uv_v\}$  – множество вариантов управленческих воздействий, где  $uv_i$  – код конкретного управленческого воздействия,  $i = \overline{1, v}$ ,  $v$  – количество различных вариантов управленческих воздействий.

$DO = \{do_1, do_2, \dots, do_o\}$  – множество диапазонов отклонений, где  $do_i$  – код конкретного диапазона отклонения,  $i = \overline{1, o}$ ,  $o$  – количество различных диапазонов отклонений.

Все заданные множества являются счетными, их мощность зависит от степени детализации модели.

Таким образом, модель мониторинга информации об отклонениях нормативных показателей бизнес-процессов от фактических представляет собой многоосновную алгебраическую систему  $A = \langle \Theta, \Sigma \rangle$  с основным множеством  $\Theta = O \cup BP \cup DV$  и сигнатурой  $\Sigma$ .

Множество объектов системы  $O$  представляет собой дизъюнктивное (несвязное) объединение множеств  $TO, SZ, AR, ON, OK, OU, UV$ .

$$O = TO + SZ + AR + ON + OK + OU + UV + DO$$

С течением времени значения свойств объектов предметной области будут меняться, поэтому необходимо использовать версионирование всех видов объектов системы. Введем предикат  $vers(O, DV)$ , который сопоставляет на момент времени  $dv_i$  из множества дат  $DV$  версию значений свойств объекта  $o_i$  из множества  $O$ .

Предикат определен на множестве:

$$M^{odv} = O \times DV \supset \{(o_i, dv_i) | o_i \in O, dv_i \in DV\}$$

$vers(o_i, dv_i)$  – версия определенного объекта системы на конкретный момент времени.

Объект контроля представляет собой комбинацию значений объекта номенклатуры, технологической операции, статьи затрат и всех аналитических классификационных признаков на конкретный момент времени. Для задания подобного соответствия введем предикат  $ok\_on(OK, ON, TO, SZ, AR, \dots, AR)$ .

Предикат определен на множестве:

$$M^{okon} = OK \times ON \times TO \times SZ \times AR \supset \{(ok_i, on_i, to_i, sz_i, ar_1, ar_2, \dots, ar_i) |$$

$$ok_i \in OK, on_i \in ON, to_i \in TO, sz_i \in SZ, ar_i \in AR, vers(o_i, dv_i)\}$$

$ok\_on(ok_i, on_i, to_i, sz_i, ar_1, ar_2, \dots, ar_i)$  – конкретные значения объекта номенклатуры, технологической операции, статьи затрат и всех аналитических классификационных признаков конкретного объекта контроля на определенный момент времени.

Для каждого объекта контроля должны быть заданы нормативные значения расхода ресурсов из множества действительных чисел  $R$ . Для определения подобного соответствия введем предикат  $norm(OK, R)$ .

Предикат определен на множестве:

$$M^{norm} = OK \times R \supset \{(ok_i, r) | ok_i \in OK, r \in R, ok\_on(ok_i, on_i, to_i, sz_i, ar_i)\}$$

$norm(ok_i, r)$  – определенное нормативное значение расхода ресурсов по конкретному объекту контроля.

Также для каждого объекта контроля необходимо задать для каждого варианта управленческого воздействия диапазон допустимого отклонения. Для этого введем предикат  $do\_uv(OK, DO, UV)$ .

Предикат определен на множестве:

$$M^{douv} = OK \times DO \times UV \supset \{(ok_i, do_i, uv_i) | ok_i \in OK, do_i \in DO,$$

$$uv_i \in UV, ok\_on(ok_i, on_i, to_i, sz_i, ar_i)\}$$

$do\_uv(ok_i, do_i, uv_i)$  – определенный диапазон отклонения для конкретного варианта управленческого воздействия по конкретному объекту контроля.

Первоначальное заполнение объекта управления происходит перед стартом бизнес-процесса. Определяется список технологических операций, необходимых для производства продукции (оказания услуги), нормативные значения показателей по статьям затрат и аналитическим классификационным признакам, величина допустимых отклонений

нормативных показателей от фактических на текущий момент времени. Для определения всех указанных параметров объекта управления необходимо сопоставить ему объект номенклатуры. Для этого введем предикат  $ou\_on(OU, ON)$ .

Предикат определен на множестве:

$$M^{ouon} = OU \times ON \supset \{(ou_i, on_i) | ou_i \in OU, on_i \in ON, vers(o_i, dv_i)\}$$

$ou\_on(ou_i, on_i)$  – соответствие объекта управления конкретной версии объекта номенклатуры.

Для сопоставления каждому объекту контроля определенного бизнес-процесса введем предикат  $bp\_ok(BP, OK)$ .

Предикат определен на множестве:

$$M^{bpok} = BP \times OK \supset \{(bp_i, ok_i) | bp_i \in BP, ok_i \in OK\}$$

$bp\_ok(bp_i, ok_i)$  – соответствие конкретного объекта контроля определенному бизнес-процессу.

Во время исполнения этапов бизнес-процесса происходит дозаполнение объекта управления фактическими значениями показателей расхода ресурсов из множества действительных чисел  $R$  по технологическим операциям, статьям затрат, всем аналитическим классификационным признакам. Для решения данной задачи введем предикат  $fact(BP, OU, OK, R)$ .

Предикат определен на множестве:

$$M^{fact} = BP \times OU \times OK \times R \supset \{(bp_i, ou_i, ok_i, r) | bp_i \in BP, ou_i \in OU, ok_i \in OK, r \in R, ou\_on(ou_i, on_i), bp\_ok(bp_i, ok_i)\}$$

$fact(bp_i, ou_i, ok_i, r)$  – полученное в результате исполнения бизнес-процесса фактическое значение расхода ресурсов по конкретному объекту контроля и объекту управления.

Происходит непрерывный анализ фактических и нормативных значений и их сопоставление с вариантами допустимых отклонений. Для определения соответствия полученного результата отклонения одному из элементов множества диапазонов отклонений введем предикат  $otkl(R, R, DO)$ .

Предикат определен на множестве:

$$M^{otkl} = R \times R \times DO \supset \{(r, r, do_i) | r \in R, r \in R, do_i \in DO\}$$

$otkl(r, r, do_i)$  – соответствие переданных значений нормативного и фактического расхода ресурсов конкретному диапазону отклонений.

В результате исполнения бизнес-процесса определяется вариант управленческого воздействия с учетом всех заданных ранее условий. Для решения данной задачи введем предикат  $uv(BP, OU, OK, UV)$ .

Предикат определен на множестве:

$$M^{uv} = BP \times OU \times OK \times UV \supset \{(bp_i, ou_i, ok_i, uv_i) | bp_i \in BP, ou_i \in OU, ok_i \in OK, uv_i \in UV, fact(bp_i, ou_i, ok_i, r), norm(ok_i, r), otkl(r, r, do_i), do\_uv(ok_i, do_i, uv_i), bp\_ok(bp_i, ok_i)\}$$

$uv(bp_i, ou_i, ok_i, uv_i)$  – конкретное управленческое воздействие на объект контроля, полученное в результате движения объекта управления по этапам бизнес-процесса.

Таким образом, во время исполнения бизнес-процесса для каждого варианта исполнения номенклатуры всегда существует вариант управленческого воздействия. В таблице представлена многоосновная алгебраическая система, позволяющая описывать с системных позиций процесс сбора, хранения и обработки показателей бизнес-процессов на основе объектно-процессного подхода к управлению.

Таблица – Описание многоосновной алгебраической системы

$A = \langle \Theta, \Sigma \rangle$	
$\Theta$	$\Sigma$
	P
O	vers <sup>(2)</sup>
BP	ok_on <sup>(5)</sup>
DV	norm <sup>(2)</sup>
TO	do_uv <sup>(3)</sup>
SZ	ou_on <sup>(2)</sup>
AR	bp_ok <sup>(2)</sup>
ON	fact <sup>(4)</sup>
OK	otkl <sup>(3)</sup>
OU	uv <sup>(4)</sup>
UV	
DO	

Таким образом, представленная модель позволяет определить в режиме регламента исполнения бизнес-процессов отклонения нормативных значений показателей от фактических по каждому объекту номенклатуры, технологической операции, статье затрат и аналитическим классификационным признакам.

#### **Список литературы**

1. *Андреев С.Б.* Системный подход к управлению многономенклатурным производством на основе анализа использованных ресурсов предприятия // *Научно-технический вестник Поволжья.* – 2015. – № 6. – с. 64-67.
2. *Андреев С.Б., Шведенко В.В., Шведенко В.Н.* Организация процесса динамического бюджетирования деятельности предприятия в объектно-процессной информационной среде // *XIX Международная конференция по мягким вычислениям и измерениям (SCM'2016).* – Санкт-Петербург: ЛЭТИ, 2016. – с. 355-358.
3. *Андреев С.Б.* Экономическое обоснование внедрения системы контроллинга в условиях многономенклатурного мелкосерийного производства // *Наука вчера, сегодня, завтра: сб. ст. по матер. XXXIII междунар. науч.-практ. конф. № 4(26).* – Новосибирск: СибАК, 2016. – С. 179-185.

05.13.17

**С.С. Буденков**

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева,  
Институт радиоэлектроники и информационных технологий,  
кафедра «Вычислительные системы и технологии»,  
Нижний Новгород, sbudenkov@gmail.com

## **СЕМАНТИЧЕСКИЕ ВЕКТОРНЫЕ МОДЕЛИ ТЕКСТОВ ДЛЯ АНАЛИЗА ТОНАЛЬНОСТИ**

**DOI:10.24153/2079-5920-2017-7-2-75-78**

*В работе предложен метод решения задачи анализа тональности коротких текстов на русском языке. Описывается модель семантических векторов слов на основе технологии word2vec и алгоритма кластеризации k-средних, позволяющая учитывать семантическую близость текстов и эффективно решать задачу без дополнительных словарей и ручной предобработки, что подтверждается результатами экспериментов.*

Ключевые слова: *дистрибутивная семантика, word2vec, кластеризация, k-средних, анализ тональности текстов.*

### **Введение**

Обработка текстовых данных на естественном языке (Natural Language Processing, NLP) приобретает все большую актуальность в связи с увеличением потока текстовых сообщений создаваемых в интернете. Появление различных социальных сетей, веб-порталов для людей объединенных схожими интересами, и интернет мессенджеров способствует формированию новых областей для приложения автоматического анализа текстов. Поэтому исследователи по всему миру продолжают совершенствовать модели и алгоритмы NLP.

Одной из актуальных задач обработки текстов является анализ тональности (sentiment analysis, тоновый анализ). Задачи тонового анализа могут быть разделены на две категории [1]:

- **Аспектно-ориентированный анализ** - нахождение слов и выражений, которые наиболее отчетливо выражают важные характеристики объекта анализа, и классификация их по тональности.
- **Объектно-ориентированный анализ** - оценка отзывов на основе качественных характеристик товаров, услуг или компании в целом.

Оценка качества работы организации и предоставляемых ею продуктов (услуг, товаров) стала возможна с помощью автоматического анализа отзывов, мнений пользователей. Этим пользуются многие организации: сотовые операторы, компании банковского сектора и д.р. Также проводятся соревнования по анализу тональности текстов для исследователей, самые известные из них SemEval и платформа Kaggle. В русскоязычном сегменте это SentiRuEval, проходящий в рамках конференции «Диалог». Данная статья описывает один из методов решения задачи объектно-ориентированного анализа отзывов о банках и операторах мобильной связи, на основе исходных данных с соревнования SentiRuEval (2015).

### **Базовая модель**

Основополагающей задачей NLP является изучение моделей представления отдельных слов и текстов в форме удобной для обработки с помощью компьютерных алгоритмов. Это диктует постоянное совершенствование моделей представления текстов, которые бы позволяли алгоритмам работать с данными на уровне приближенном к умственной деятельности человека [2]. Огромный шаг в этом направлении был сделан с появлением предсказательных моделей дистрибутивной семантики (Predictive Models) [3]. Инструмент word2vec, реализующий данные модели, получил большее распространение, и был выбран в данной работе для получения векторных представлений слов.

К достоинствам предсказательных моделей можно отнести небольшую размерность итоговых векторных представлений слов - сотни компонент, что в сравнении с классическими счетными моделями, много меньше. Модели способны учитывать семантику естественного языка, позволяя хорошо передавать смысловую составляющую, так как при их создании используется контекстная близость. Слова, которые встречаются в тексте рядом с одними и теми же словами, в схожем контексте, в полученном векторном представлении будут иметь большее сходство векторов слов. В рамках *word2vec*, эта модель реализована с помощью алгоритма Skip-gram (SG), задачей которого является предсказание набора близлежащих слов на основании текущего слова. В работе описывается методика построения семантических векторов на основе модели дистрибутивной семантики SG и алгоритма кластеризации k-средних. В работе предложено использовать описанную модель для решения задачи анализа тональности коротких текстов на русском языке.

#### **Методика**

Методика получения семантических векторов на основе моделей дистрибутивной семантики состоит из следующих шагов.

1. Предобработка текстов:

- Разбиение текста на отдельные слова.
- Приведение к строчному регистру.
- Лемматизация – приведение словоформ к нормальной форме.

2. Построение предсказательной модели дистрибутивной семантики, с помощью алгоритма SG со следующими параметрами:

1. Размер вектора - от 100 до 300 признаков.
2. Окно для предсказания - 5 слов.
3. Минимальная частота вхождения слов - 1 раз.
4. Метод обучения - *negative sampling*.
5. Число шумовых признаков - 5 слов.

Полученные вектора слов можно визуализировать на двумерной плоскости с помощью методов понижения размерности (рис. 1, слева).

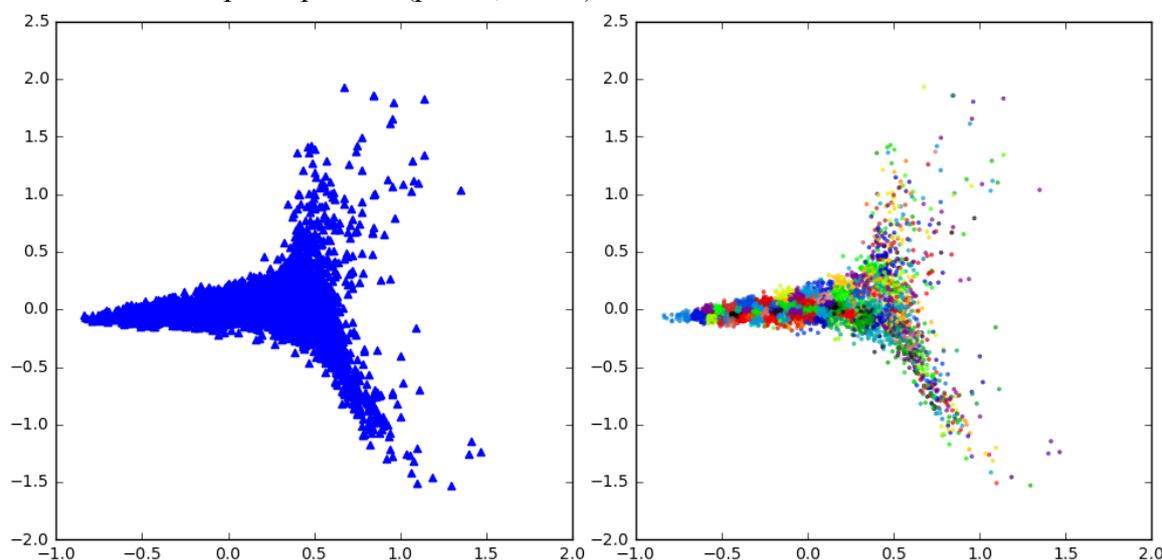


Рис. 1 - Положение слов модели дистрибутивной семантики Skip-gram (слева) и результат кластеризации (справа)

3. Кластеризация векторных представлений с помощью усовершенствованного алгоритма k-средних (*k-means++*). Кластерный анализ не требует априорных предположений об исходных данных [4], но ключевым вопросом является число кластеров, задаваемых алгоритму. Оно зависит от размера словаря и обычно колеблется от нескольких сотен, до нескольких тысяч. Пример результата кластеризации представлен на рисунке (рис. 1, справа), где точки на плоскости соответствуют словам модели, а цвета множеству кластеров.

4. Вычисление меры сходства для каждого слова относительно центров полученных кластеров. Результатом является вектор  $F = [f_1, \dots, f_n]$ , где  $n$  - число кластеров,  $f_n$  - косинусное расстояние между словом и центроидом  $n$ -ого кластера. Множество семантических векторов образует модифицированную предсказательную модель дистрибутивной семантики, тематическое сходство в которой выражается в виде косинусной меры.

5. Использование модифицированной модели для вычисления семантических векторов текстов, которые будут подаваться на вход одного из методов машинного обучения с учителем.

Предложенная модифицированная модель может быть использована для решения следующих задач: анализ тональности, классификация текстов, поиск ключевых слов, расширение поисковых запросов.

### Результаты эксперимента

Для доказательства эффективности предложенной модели было проведено тестирование на основе данных SentiRuEval конференции «Диалог» (2015), а результаты сравнивались с лучшими прогонами участников. Исходные данные представляют выборку сообщений для двух тематических категорий: отзывы о телекоммуникационных компаниях - ТТК (Билайн, Мегафон, МТС и др.) и отзывы о банках - Банки (Альфабанк, ВТБ, Сбербанк и др.).

Результаты участников тестирования оценивались двумя характеристиками. Макро усреднение (Macro F) – среднее значение между F-мерами для позитивного и негативного классов при классификации на три класса. Микро усреднение (Micro F) - среднее значение между F-мерами для позитивного и негативного классов при классификации на два класса. В таблице представлены результаты анализа тональности участников конференции [1] и результаты полученные авторами статьи.

Таблица – Результаты анализа тональности на данных SentiRuEval (2015)

Сфера	Метрика	Результат	Идентификатор участника
ТТК	Macro F	0.488	2
		0.483	2
		0.480	3
		<b>0.470</b>	<b>Предложенная методика</b>
	Micro F	0.536	2
		0.528	10
		0.510	3
		<b>0.744</b>	<b>Предложенная методика</b>
Банки	Macro F	0.360	4
		0.352	10
		0.335	2
		<b>0.379</b>	<b>Предложенная методика</b>
	Micro F	0.366	2
		0.364	2
		0.343	8
		<b>0.611</b>	<b>Предложенная методика</b>

По одной из метрик предложенный подход проигрывает и занимает лишь четвертое место, это можно объяснить небольшим размером обучающей выборки для векторных представлений слов.

### Заключение

В работе представлена методика построения семантических векторов слов на основе модифицированной модели дистрибутивной семантики. Она позволяет эффективно решать задачу объектно-ориентированного анализа тональности текстов на русском языке, применительно к коротким текстовым сообщениям, при этом, не требует дополнительных словарей и ручной предобработки исходных данных.

**Список литературы**

1. *Loukachevitch N. et al.* SentiRuEval: testing object-oriented sentiment analysis systems in Russian //Proceedings of International Conference Dialog. – 2015. – Т. 2. – С. 3-13.
2. *Суркова А.С., Буденков С.С., Булатов И.В.* Современные методы представления текстовых данных в задачах обработки текста на естественном языке //Международная научно-практическая конференция «Системный анализ в проектировании и управлении». – Санкт-Петербург – 2015. - С. 27-32.
3. *Mikolov T. et al.* Efficient estimation of word representations in vector space //arXiv preprint arXiv:1301.3781. – 2013.
4. *Суркова А.С., Буденков С.С.* Построение модели и алгоритма кластеризации в интеллектуальном анализе данных //Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. – 2012. – №. 2-1.

05.13.18

**Е.И. Васильева, В.О. Каледин, Е.В. Равковская**

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

**ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ДЛЯ РАСЧЁТА ДВИЖЕНИЯ ВОЗДУХА В ГИБКИХ ВОЗДУХОПРОВОДАХ ШАХТНОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ**

**DOI:10.24153/2079-5920-2017-7-2-79-83**

*Предложено решение задачи о движении воздуха в гибких воздухопроводах шахтной вентиляции. При численном моделировании была использована математическая модель вязкой сплошной среды. Рассчитанные местные аэродинамические сопротивления сопоставляются с расчётами по известной методике.*

*Ключевые слова: вязкая сплошная среда, конфузор, диффузор, коэффициент полноты удара, степень расширения, местные аэродинамические сопротивления.*

Модельная среда, рассмотренная в публикациях [1, 2], при различных значениях коэффициентов – параметров реологического уравнения может описывать ламинарное течение различных физических сред. Это позволило использовать её для расчета течения воздуха. Актуальной для практики задачей является расчет движения воздуха в гибких воздухопроводах шахтной вентиляции, для которых характерны сужения сечения в местах установки стягивающих хомутов. Для такого трубопровода необходим расчет местных аэродинамических сопротивлений.

Причинами появления местных аэродинамических сопротивлений движению воздуха по трубопроводу являются:

- наличие сужений и расширений потока при использовании комбинированных трубопроводов;
- уменьшение диаметра трубопровода в местах стыковых соединений из-за наличия наружного банджа в месте расположения стыка.

Фундаментальные исследования аэродинамики подобных ситуаций проведены И.Е. Идельчиком [3], однако они не полностью охватывают горную специфику и нуждаются в дополнительных исследованиях.

На рисунке 1 представлена схема фиксации концевых колец с помощью стяжного хомута («удавки»).

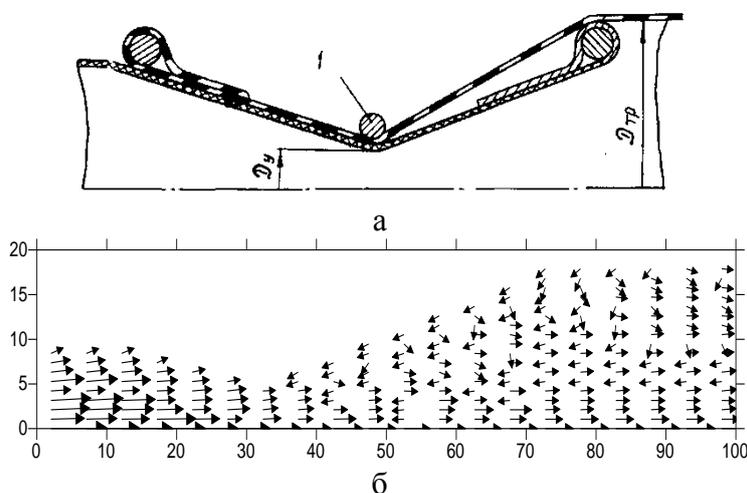


Рис. 1 – Схема фиксации концевых колец с помощью «удавки» (а), направления скоростей потока (б). Координаты выражены в процентах от длины расчетной области.

При численном моделировании обе части канала рассматривались совместно. Определялось дополнительное сопротивление в зависимости от отношения диаметров:

$$\bar{d} = \frac{D_y}{D_{mp}}, \quad (1)$$

где  $D_y$  - диаметр удавки,  $D_{mp}$  - диаметр трубопровода.

При этом диаметр трубопровода остаётся неизменным, а диаметр удавки – изменяющаяся величина.

Как показали результаты расчета, движение воздуха в конфузоре сопровождается постепенным увеличением скорости и одновременным снижением давления. При этом скорость в центральной части воздуховода резко возрастает. Вследствие этого в диффузоре возникает кольцевой вихрь. На рисунке 1б показано поле направлений скоростей потока.

Для оценки достоверности полученного результата сопоставим его с приближенной оценкой методами гидравлики как суммы потерь полного давления в сужающейся части и расширяющейся части, которые в этом случае будем считать коническими. Результаты численного моделирования сопоставлялись с расчетами по известной методике [4]. Задачу о движении воздуха в комбинированном трубопроводе по традиционной методике можно разделить на две части:

1. определение коэффициента сопротивления конфузора,
2. определение коэффициента сопротивления диффузора.

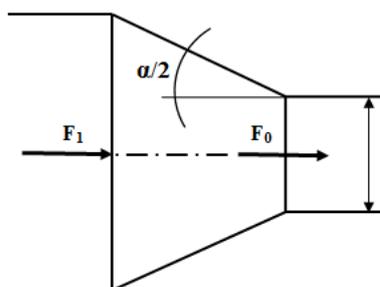


Рис. 2 – Конфузор круглого сечения

Коэффициент потерь в конфузоре (рисунок 2) определяется по следующей формуле [4]:

$$\zeta_k = \frac{\lambda}{8 \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)} \left(1 - \frac{1}{n^2}\right), \quad (2)$$

Этот коэффициент зависит от угла сужения  $\alpha$ , степени сужения  $n = \frac{F_1}{F_0}$  ( $F_0, F_1$  - площади

сечения на входе и на выходе) и числа Рейнольдса  $Re$ . Число Рейнольдса определяется следующим образом:

$$Re = \frac{\rho v_{cp} l}{\mu}, \quad (3)$$

где  $\rho = 0,125 \text{ кг/м}^3$  – плотность воздуха,  $\mu = 1,82 \cdot 10^{-6} \text{ Па}\cdot\text{с}$  – сдвиговая вязкость,  $v_{cp}$  – средняя скорость потока,  $l$  - длина трубопровода.

Учитывая, что режим течения ламинарный, коэффициент гидравлического трения равен [5]:

$$\lambda = \frac{64}{Re}. \quad (4)$$

Угол конусности  $\alpha$  рассчитывается по формуле:

$$\operatorname{tg}\left(\frac{\alpha}{2}\right) = \frac{h}{l} = \frac{D-d}{2l}. \quad (5)$$

В таблице 1 представлены коэффициенты сопротивления конфузора, полученные в результате расчёта:

Таблица 1 – Расчётные данные

$D_y$	$\nu_{cp}$	Re	$\lambda$	$\alpha/2$	$F_0$	$F_1$	$\zeta_\kappa$
11	0,000141	316,214	0,202	7,911°	94,985	314	0,167
12	0,000154	345,369	0,185	6,994°	113,04	314	0,165
13	0,000168	376,766	0,17	6,134°	132,665	314	0,163
14	0,000190	426,105	0,15	5,274°	153,86	314	0,155
15	0,000226	506,84	0,126	4,414°	176,625	314	0,140
16	0,000281	630,186	0,102	3,497°	200,96	314	0,123

Движение воздуха в диффузоре (рисунок 3) сопровождается уменьшением скорости и частичным восстановлением статического давления с потерями полного давления.

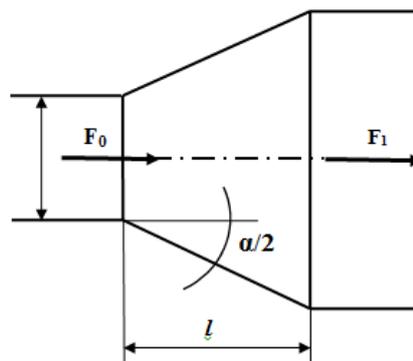


Рис. 3 – Диффузор круглого сечения

Потери энергии в диффузоре складываются из потерь на трение воздуха о стенки и на расширение потока. Коэффициент сопротивления диффузора можно определить по эмпирической зависимости, предложенной И.Е. Идельчиком [3]:

$$\zeta_\partial = \frac{\lambda}{8 \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)} \left(1 - \frac{1}{n^2}\right) + \varphi_{расш} \left(1 - \frac{1}{n}\right)^2, \tag{6}$$

где  $\varphi_{расш} = 3,2k_\partial \sqrt[4]{\operatorname{tg}^5\left(\frac{\alpha}{2}\right)}$  – коэффициент полноты удара,  $n = \frac{F_1}{F_0}$  – степень расширения.

Численное моделирование дает непосредственно суммарную величину потерь.

Для конических диффузоров  $k_\partial \approx 1$ . Угол конусности определяется по формуле (5). В таблице 2 представлены коэффициенты сопротивления диффузора, полученные в результате расчёта.

С ростом площади поперечного сечения средняя скорость потока при уменьшении угла расширения растёт. Значения коэффициентов  $\zeta_\partial$  и  $\zeta_\kappa$  падают с ростом Re.

Таблица 2 – Расчётные данные

$D_y$	$\nu_{cp}$	Re	$\lambda$	$\alpha/2$	$F_0$	$F_1$	$\zeta_\partial$
11	$2,38147 \cdot 10^{-5}$	110,154	0,581	12,153°	94,985	1256	0,744
12	$3,22247 \cdot 10^{-5}$	149,055	0,429	11,752°	113,04	1256	0,633
13	$4,27684 \cdot 10^{-5}$	197,824	0,324	11,293°	132,665	1256	0,547
14	$5,73476 \cdot 10^{-5}$	265,26	0,241	10,949°	153,86	1256	0,472
15	$7,95197 \cdot 10^{-5}$	367,817	0,174	10,548°	176,625	1256	0,405
16	0,000113182	523,521	0,122	10,089°	200,96	1256	0,346

В таблице 3 представлены коэффициенты сопротивления комбинированного трубопровода, полученные в результате суммирования коэффициентов конфузора и диффузора:

$$\zeta = \zeta_{\kappa} + \zeta_{\partial}, \quad (7)$$

Дальнейшее уменьшение диаметра удавки  $D_y$  ведёт к повышению коэффициента сопротивления ( $\zeta > 1$ ).

Таблица 3 – Местные сопротивления

$\bar{d} = \frac{D_y}{D_{mp}}, D_{mp} = 40$	$\zeta$
0,275	0,911
0,3	0,798
0,325	0,71
0,35	0,627
0,375	0,545
0,4	0,469

Зависимости коэффициента сопротивления от отношения диаметров удавки и трубопровода, рассчитанные по приведенному выше алгоритму и по зависимости (1), представлены на следующем рисунке.

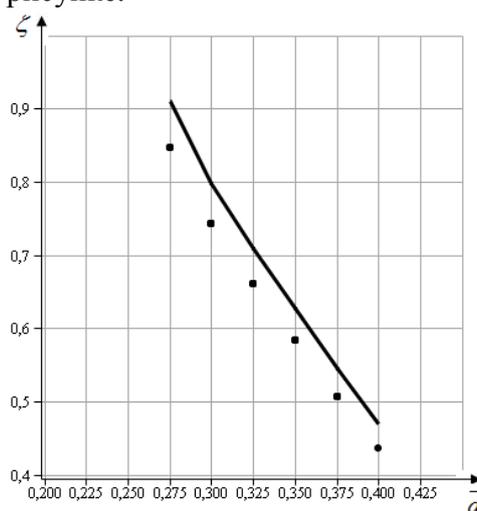


Рис. 4 – Зависимость сопротивления от  $\bar{d} = \frac{D_y}{D_{mp}}$ : точки – результат расчета по предлагаемой методике, кривая – по формуле (1)

Таким образом, коэффициенты местного сопротивления определены по двум методикам – численным моделированием по модели и алгоритмам главы 2 и суммированием потерь полного давления в конфузоре и диффузоре. Различие результатов не превосходит 10%, но численное моделирование позволяет более реально учесть фактический профиль трубопровода. Уменьшение диаметра в трубопроводе в месте стыкового соединения из-за наличия бандажа ведёт к увеличению скорости течения в центральной части канала в 4 раза.

*В рамках модели вязкой сплошной среды разработан алгоритм расчёта узловых значений скоростей, применение которого показано на решении задачи о движении воздуха в гибких воздухопроводах шахтной вентиляции. Коэффициенты местных сопротивлений, определённые по двум методикам, достаточно хорошо согласуются.*

**Список литературы**

1. 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.
2. Аульченко С.М., Васильева Е.И., Каледин В.О. Применение метода конечных элементов к решению задачи обтекания профиля крыла ламинарным потоком вязкой несжимаемой жидкости // Научно-технический вестник Поволжья – Казань, 2015. - №1. – С. 42-47.
3. Идельчик И.Е. Аэрогидродинамика технологических аппаратов / И.Е. Идельчик. – М.: Машиностроение, 1983. – 351 с.
4. Идельчик В.И. Справочник по гидравлическим сопротивлениям / В.И. Идельчик. – М.: Машиностроение, 1992. – 672 с.
5. Юрьев, А.С. Справочник по расчётам гидравлических и вентиляционных систем / А.С. Юрьев. – Спб.: Мир и семья, 2001. – 1154 с.

05.13.18

**Е.И. Васильева, Е.В. Равковская**

Новокузнецкий институт (филиал) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Кемеровский государственный университет», факультет информационных технологий, кафедра математики и математического моделирования, Новокузнецк, lenavas2003@mail.ru

### ТЕПЛОВОЙ ЭФФЕКТ ОБРАТИМОЙ И НЕОБРАТИМОЙ ДЕФОРМАЦИИ ПРИ КВАЗИСТАТИЧЕСКОМ НАГРУЖЕНИИ ОДНОНАПРАВЛЕННО АРМИРОВАННОГО КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА

DOI:10.24153/2079-5920-2017-7-2-84-86

В работе представлена математическая модель изменения механических и термодинамических параметров состояния однонаправленно армированного композиционного материала с учетом обратимой и необратимой составляющих деформаций. Проверка данной модели осуществлялась на образцах из углепластика путем одноосного растяжения с постоянной скоростью деформации до разрушения.

Ключевые слова: математическое моделирование, углепластик, обратимое деформирование, необратимое деформирование, тепловой эффект.

Квазистатическая деформация сетчатых конструкций, сопровождающаяся накоплением повреждений, приводит к изменению температуры материала. Работа приложенной силы тратится на обратимое и необратимое деформирование. В момент образования дефектов при постоянной деформации происходит сброс напряжения, и на диаграмме деформирования (рис. 1) образуются зубцы, которые могут быть зарегистрированы.

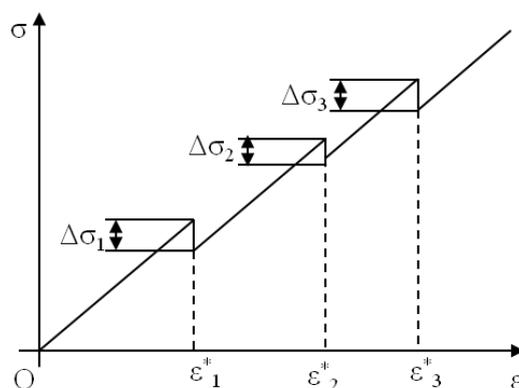


Рис. 1 – Диаграмма деформирования образца из углепластика

В работе [1] была получена математическая модель, в которой учитывается только необратимые деформации, а диаграмма деформирования считается гладкой кривой. Данная модель хорошо описывает деформирование пластин из органопластика, а также позволяет найти температурное поле в образце, согласующееся с экспериментальными данными, но не может быть непосредственно применена к углепластику. При нагружении в органопластике в первую очередь начинает разрушаться связующее. Однако эксперименты с образцами из углепластика дают иную картину деформирования, поскольку основное разрушение приходится на волокна и диаграмма деформирования углепластика является кусочно-линейной. Поэтому данная модель [1] была дополнена обратимой составляющей деформации, позволяющей описать мгновенный спад напряжений на диаграмме.

В области обратимых деформаций уравнение состояния материала, находящегося в одноосном напряженном состоянии, при постоянных модуле Юнга и коэффициенте линейного температурного расширения, имеет вид [2]:

$$\sigma = E_0(\varepsilon_e - \alpha T). \quad (1)$$

После интегрирования уравнения получим выражение для температуры:

$$T_{обp} = T_0 e^{-\alpha_f \frac{\sigma}{c\rho}} - T_0, \tag{2}$$

где  $T_0$  – начальная температура образца.

Отметим, что теплоемкость и коэффициент линейного температурного расширения, входящие в (2), должны определяться при постоянном напряжении и могут отличаться от справочных характеристик материала.

В силу того, что диаграмма деформирования (рис. 1) является кусочно-линейной, изменение обратимой составляющей температуры при возникновении дефектов может быть найдено интегрированием уравнения на малом интервале деформации в окрестности точки разрыва:

$$\Delta T_{обp} = T \left( e^{-\alpha_f \frac{\Delta\sigma}{c\rho}} - 1 \right) \tag{3}$$

В отличие от (2), это изменение температуры пропорционально температуре непосредственно перед образованием дефекта.

С учетом правила смесей найдена формула для коэффициента линейного температурного расширения материала:

$$\alpha = \frac{\alpha_a E_a \xi_a + \alpha_s E_s \xi_s}{E_a \xi_a + E_s \xi_s}. \tag{4}$$

Известные экспериментальные результаты показывают, что полимерные композиционные материалы имеют высокий коэффициент теплового эффекта, который отличается от данных измерений по обычной методике (4), и его необходимо определять путем идентификации модели.

Обратимая (термоупругая) деформация растяжения при положительном коэффициенте линейного температурного расширения приводит к снижению температуры [3], а необратимая, происходящая с накоплением микроструктурных повреждений, сопровождается нагревом материала.

Условия эксперимента не позволяют получить адиабатический процесс, так как испытываемый образец находится в условиях теплообмена с окружающей средой, и дополнительно необходимо учитывать потери на теплоотдачу в среду. Уравнение теплового баланса для тонкой пластины приводится к виду дифференциального уравнения:

$$\frac{d\tilde{T}(t)}{dt} + \frac{2h}{Hc\rho} \tilde{T}(t) = \frac{2h}{Hc\rho} \left[ T_\infty - (T_0 e^{-\alpha \frac{\sigma}{c\rho}} - T_0) - \frac{b}{c\rho} \cdot \frac{dW_{duc}(\varepsilon)}{d\varepsilon} \cdot \frac{d\varepsilon}{dt} \right], \tag{5}$$

с начальным условием  $T(0)=T_0$ .

Данное дифференциальное уравнение решается с помощью разностной схемы

$$\frac{\tilde{T}^k - \tilde{T}^{k-1}}{dt} + \frac{2h}{Hc\rho} \tilde{T}^k = \frac{2h}{Hc\rho} \left[ T_\infty - (T_0 e^{-\alpha \frac{\sigma}{c\rho}} - T_0) - \frac{b}{c\rho} \cdot \frac{dW_{duc}(\varepsilon^k)}{d\varepsilon} \cdot \frac{d\varepsilon}{dt} \right], \tag{6}$$

где  $\tau$  – шаг по времени,

$k$  – верхний индекс, означающий номер шага.

Последовательно решая систему уравнений (3.30), получим значения  $T^k$  при  $k = 1, 2, \dots$ , то есть решение на всем заданном интервале времени. Из начального условия следует,  $T^0 = T(0)$  при  $k=0$ .

Используя полученное решение (6), получим температуру образца:

$$T = \tilde{T} + T_{обp} + T_{необp}. \tag{7}$$

Таким образом, получены соотношения, позволяющие описать тепловой эффект обратимой и необратимой деформации при квазистатическом нагружении однонаправлено армированного композиционного материала. В построенной модели содержатся структурные

параметры: коэффициент теплового эффекта  $b$  и коэффициент линейного температурного расширения  $\alpha$ , подлежащие идентификации. Алгоритм идентификации представлен в работе [4].

Для идентификации модели использовались результаты экспериментов, выполненных на 10 однотипных плоских образцах из углепластика толщиной 4 мм и шириной 30 мм при расстоянии между захватами разрывной машины 155 мм путем их одноосного растяжения с постоянной скоростью деформации. В процессе нагружения записывалась диаграмма нагружения, а термографический комплекс регистрировал температуру на поверхности образца.

На рис. 2 представлены температурные профили в 10-ти равноотстоящих точках на оси образца. На первом этапе образец из углепластика остывает, что свидетельствует о наличии обратимого деформирования. Далее происходит появление глобального дефекта, на котором температура повышается скачком. На третьем этапе образец снова остывает.

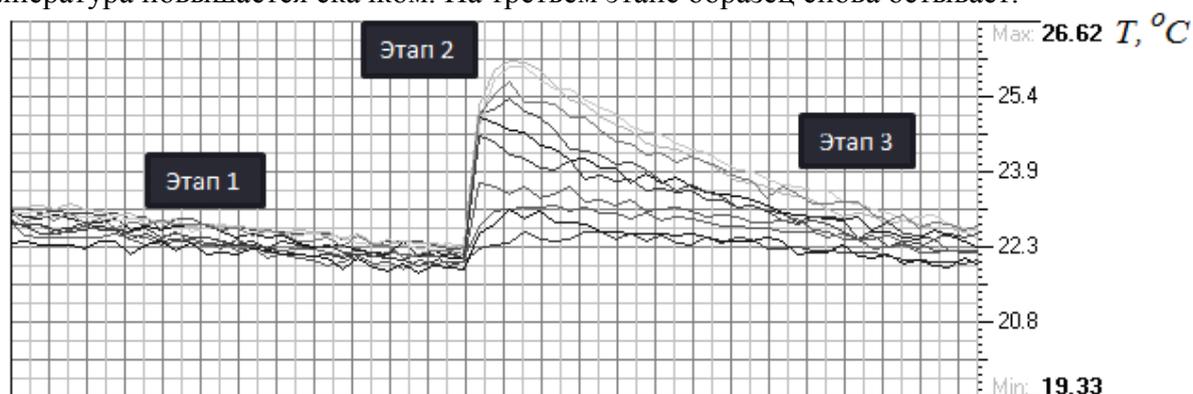


Рис. 2 – Термограмма образца из углепластика при нагружении

Обработка результатов идентификации показывает высокую повторяемость значений коэффициента теплового эффекта. В виду малого объема образцов в качестве обучающей выборки был взят образец №3, остальные образцы составили контрольную выборку. В результате получили, что отклонение результатов моделирования от данных контрольной выборки не превышает  $0,8^\circ$ . Изменение температуры в контрольной выборке отличается от модельного не более чем на 17%.

Таким образом, математическая модель изменения механических и термодинамических параметров состояния дополнена с учетом обратимой и необратимой деформации композиционного материала и наличия мгновенных спадов нагрузки на диаграмме деформирования, характерных для однонаправлено армированного углепластика. Данная модель может быть использована при диагностике сетчатых конструкций.

#### **Список литературы**

1. *Каледин, В.О.* Методика и программная реализация аппроксимации диаграммы деформирования органопластика при одноосном растяжении / В.О. Каледин, Н.В. Нагайцева // IX международная научно-практическая конференция «Научный потенциал мира». – Т. 18. Математика. – 2013 г., Бял ГРАД-БГ, г. София, Болгария – С. 19-24.
2. *Годовский, Ю.К.* Теплофизические методы исследования полимеров / Ю.К. Годовский. – Москва: Химия, 1976. – 216 с.
3. *Слуцкер, А.И.* Энергетика упругого нагружения ангармонического твердого тела / А.И. Слуцкер, Ю.И. Поликарпов, Д.Д. Каров и др. // Физика твердого тела. – 2013. – № 3 (55). – С. 610-616.
4. *Равковская Е.В.* Идентификация модели теплового эффекта обратимой и необратимой деформации при квазистатическом нагружении однонаправлено армированного композиционного материала / Е.В. Равковская // Краевые задачи и математическое моделирование: темат. сб. научных статей. – 2014. – С. 235-239.

05.13.00

**А.С. Викторов**

Костромской государственной университет,  
г. Кострома, alservictor@mail.ru

## **ХРАНИЛИЩЕ ГЕОПРОСТРАНСТВЕННЫХ ДАННЫХ ТРИАНГУЛЯЦИОННОЙ НЕРЕГУЛЯРНОЙ СЕТКИ**

**DOI:10.24153/2079-5920-2017-7-2-87-89**

*В статье рассматривается реализация хранилища геопространственных данных, для хранения которых используется структура данных триангуляционная нерегулярная сеть (TIN). Структура хранилища данных поддерживает хранение несколько видов данных таких, как пространственные данные, атрибутивные данные, нормативно-справочные данные, а также метаданные. В статье дается описание архитектуры хранилища и процедуры обработки TIN.*

Ключевые слова: *хранилище данных, кластеризация, триангуляционная нерегулярная сеть, геопространственная база данных, распределенные вычисления.*

### **1 Введение**

В статье рассмотрена реализация хранилища геопространственной информации, которая предназначена для обеспечения интеграции различных типов данных, с учетом взаимосвязей между ними. Для представления и хранения геопространственных данных используется структура данных TIN. Нерегулярная триангуляционная сеть TIN выбрана для представления поверхностей так, как является наиболее эффективным способом описания поверхностей. Для моделирования поверхностей используются также и растры, например DEM (digital elevation model), но TIN обладает тем преимуществом, что TIN модель меняет плотность данных в зависимости от пересеченности рельефа и таким образом для ее хранения требуется меньше пространства. При этом для представления участков поверхности с плавным рельефом используется меньшее число точек, по сравнению с представлением участков с многочисленными и резкими перепадами высот. Представление в виде TIN также предпочтительно с точки зрения точности отображения и возможности использовать различную детализацию на различных участках моделируемой поверхности. Сеть TIN является планарным графом, все внутренние области которого являются треугольниками, то есть для ее хранения и операций с ней можно использовать те же структуры данных, которые используются для хранения и проведения операций с графами. Хранилище пространственных данных также используется для хранения атрибутивных данных. При этом пространственные данные и атрибутивные данные хранятся в разных базах данных, взаимосвязь между различными типами данных, относящихся к одному и тому же пространственному объекту, осуществляется при помощи таблиц соответствий между глобальным идентификатором объекта и ключами в базах данных, которые содержат описание данного объекта. Хранилище данных организовано по схеме снежинка, которая описывает специальную организацию реляционных таблиц в многомерной базе данных, удобную для хранения многомерных показателей. В реализованном хранилище данных, таблица фактов содержит уникальный составной ключ, объединяющий первичные ключи таблиц измерений. В качестве показателей, используемых в хранилище данных, были выбраны следующие измерения: источник данных; время; ограничения по масштабу для объектов и слоев; информация о границах съемки, реквизиты организации-исполнителя и другая дополнительная информация, представленная в виде таблицы формуляра; метаданные, которые содержат описательные характеристики цифровой модели местности; информация о имеющих доступ к системе пользователях; информация о роли пользователя информационной системы; описание роли; элементы координатной сети, связанной с

описываемой цифровой моделью; перечень тематических слоев цифровой модели местности, которые объединяют пространственно и тематически однородные объекты цифровой модели; описание пространственных объектов, принадлежащих каждому из составляющих цифровую модель местности слоев. Для хранения TIN используется специальная структура данных Star [1], которая представлена координатами вершины TIN и упорядоченным списком идентификаторов вершин смежных с ней. Основным преимуществом использования данной структуры для представления TIN является то, что для ее индексации не требуется создания сложного пространственного индекса. Для индексации используется B-tree индекс. Структура Star в базе данных представлена набором записей (таблица 1), имеющих следующие поля: ID – уникальный целочисленный идентификатор узла TIN; x, y, z – координаты узла TIN, в заданной системе координат; link[] – список смежных с рассматриваемым узлом узлов; parameters[] – дополнительные параметры, определяющие взаимосвязи между узлами.

ID	x	y	z	link[]	parameters []
v	x <sub>v</sub>	y <sub>v</sub>	z <sub>v</sub>	[v <sub>1</sub> , v <sub>2</sub> , v <sub>3</sub> , v <sub>4</sub> , v <sub>5</sub> , v <sub>6</sub> ]	[p1, p2, p3, p4, p5, p6]

Таблица №1 – Набор полей для хранения структуры Star в базе данных

## 2 Реализация хранилища пространственных данных

Хранилище данных реализовано на основе NoSQL базы данных [2] Apache HBase, для работы с которой используется Hive (data warehouse infrastructure). Для загрузки TIN из источника данных в хранилище используется модуль ETL (extract, transform, load), который написан на языке Java с использованием модулей Spark SQL [3] и GraphX фреймворка Spark. На основе СУБД PostgreSQL с установленным расширением PostGIS организовано хранение исходных данных. Исходные данные представлены в виде TIN. При этом у TIN имеются узлы с идентификатором пространственного объекта, назначенным на основании сопоставления геотегов пространственных объектов и координат узлов TIN. Загрузка заранее подготовленной TIN в базу данных производится из csv файла. Далее, создается поле points\_column таблицы points\_table, в которую производилась загрузка исходных данных, командой: ALTER TABLE points\_table ADD COLUMN points\_column geometry(POINTZ, srid);, где srid — уникальный идентификатор пространственной привязки SRID (Spatial Reference System Identifier), который является целым числом, соответствующим определенной системе координат SRS (Spatial Referencing System). Для заполнения поля points\_column точками POINTZ, которые являются геометрическими примитивами типа точка в формате EWKT расширения PostGIS и соответствуют узлам TIN, их координаты сформировывают из значений полей x,y,z таблицы points\_table следующим запросом: UPDATE points\_table SET points\_column = ST\_SetSRID(ST\_MakePoint(x, y, z), srid). Индексация пространственных данных осуществляется PostGIS, которая поддерживает индекс GiST (Generalized Search Tree), структура данных являющаяся обобщенной разновидностью индекса и предоставляет стандартные методы навигации по дереву поиска и его обновления. Модуль ETL используется для кластеризации TIN, при этом каждый кластер соответствует определенному объекту и каждому узлу назначен один или несколько идентификаторов объектов. Модуль ETL служит для создания эффективной организации доступа к данным TIN и извлечения блоков TIN, содержащих заданное количество узлов, для чего производится декомпозиция TIN посредством алгоритма Дерево квадрантов. При этом используются функции ST\_Centroid и ST\_MakeEnvelope модуля PostGIS. Алгоритм Дерево квадрантов позволяет осуществлять рекурсивную декомпозицию TIN квадратной сеткой с разрешением, определяемым пространственной неоднородностью данных. Узлы Дерева квадрантов соответствуют определенной области, на которые разбивается пространство, которые могут иметь квадратную, прямоугольную или произвольную форму. В данной работе рассматривается алгоритм Дерева квадрантов, использующий для разбиения пространства квадратные области. При этом разбиение квадранта осуществляется в том случае, если количество узлов TIN, которое содержит квадрант, больше некоторого заданного максимального значения. Для кластеризации TIN используется алгоритм DBSCAN [4].

Принцип работы алгоритма DBSCAN заключается в итеративном обходе точек некоторого множества и соответствующих вычисления для каждой точки множества. На основании вычисления принимается решение принять точку за граничную точку или находящуюся внутри кластера. Данный алгоритм не учитывает особенности формирования TIN сети, заключающейся в том, что плотность распределения узлов TIN зависит от пересеченности поверхности. В статье предлагается усовершенствовать алгоритм DBSCAN путем вычисления расстояний от рассматриваемого узла до соседних узлов с учетом энтропии распределения геометрических (медианное расстояние до соседних узлов, высота) и негеометрических (цвет, температура и т.д.) параметров узлов формируемого кластера:

$$d_{i,j} = \sqrt{\sum_{k=0}^N \alpha(H(C|x_k)) \cdot (x_{i,k} - x_{j,k})^2}, \text{ где } k = 0, \dots, N - \text{размерность вектора параметров узла}$$

TIN;  $\alpha(H(C|x_k))$  – коэффициент пропорциональности, определяющий дискриминантность параметра и зависящий от относительной энтропии параметра для формируемого кластера  $C$ . Для реализации усовершенствованного DBSCAN алгоритма используется модуль GraphX фреймворка Spark, при помощи которого создается граф, являющийся представлением обрабатываемой TIN. Инициализация графа и извлечение исходных данных из PostgreSQL осуществляется при помощи модуля Spark SQL фреймворка Spark. Для проверки работоспособности алгоритма использовался кластер из 4 вычислительных машин. Для контроля распределенных вычислений использовался standalone cluster manager Spark запускаемый со следующими параметрами: --executor-memory 1G, --total-executor-core 4. Для тестирования использовалась TIN, состоящая из 2466408 узлов, обработка которой была произведена за 5,746 секунды.

### 3 Заключение

В результате проведенного исследования были внесены изменения в алгоритм DBSCAN с учетом особенностей TIN, разработано хранилище данных на основе NoSQL базы данных и реализован модуль ETL на основе фреймворка Spark. Результаты проведенного исследования показали работоспособность разработанного программного обеспечения. Результаты проведенного исследования будут полезны при реализации хранилища пространственных данных, входящий в состав геоинформационной системы с способностью автоматического формирования и обновления цифровых моделей местности.

### Список литературы

1. K. Kumar, H. Ledoux, J. Stoter COMPARATIVE ANALYSIS OF DATA STRUCTURES FOR STORING MASSIVE TINs IN A DBMS // The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. 2016. №Volume XLI-B2. С. 123-130.
2. Yasin N. Silva, Isadora Almeida, Michell Queiroz SQL: From Traditional Databases to Big Data // SIGCSE '16 Proceedings of the 47th ACM Technical Symposium on Computing Science Education . 2016. С. 413-418.
3. Michael Armbrust, Reynold S. Xin, Cheng Lian, Yin Huai, Matei Zaharia Spark SQL: Relational Data Processing in Spark // SIGMOD '15 Proceedings of the 2015 ACM SIGMOD International Conference on Management of Data. 2015. С. 1383-1394.
4. Alessandro Lulli, Matteo Dell'Amico, Pietro Michiardi, Laura Ricci NG-DBSCAN: scalable density-based clustering for arbitrary data // Proceedings of the VLDB Endowment. 2016. №Volume 10 Issue 3. С. 157-168.

05.13.00

**П.А. Воронцов, А.С. Смолярчук**

Санкт-Петербургский научный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, мегафакультет компьютерных технологий и управления, факультет информационной безопасности и компьютерных технологий, кафедра безопасных информационных технологий, Санкт-Петербург, [paха-3@yandex.ru](mailto:paха-3@yandex.ru), [ansmoll211@yandex.ru](mailto:ansmoll211@yandex.ru)

### **АНАЛИЗ ВЗАИМОЗАВИСИМОСТИ СИСТЕМЫ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ И СИСТЕМЫ МЕНЕДЖМЕНТА ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ИХ РЕАЛИЗАЦИИ В КРЕДИТНО-ФИНАНСОВОМ УЧРЕЖДЕНИИ**

**DOI:10.24153/2079-5920-2017-7-2-90-92**

*В работе рассмотрены особенности создания системы защиты информации и системы менеджмента информационной безопасности, выявлены и обобщены основные принципы их реализации в кредитно-финансовых учреждениях. На основании проведенного исследования осуществлен анализ взаимной зависимости рассматриваемых систем.*

*Ключевые слова: информационная безопасность, защита информации, система защиты информации, система менеджмента информационной безопасности, кредитно-финансовое учреждение.*

В век информационных технологий вопрос информационной безопасности и защиты информации стоит особенно остро. Его актуальность для кредитно-финансовых учреждений, ежедневно осуществляющих огромное количество денежных операций по электронно-цифровым каналам, едва ли можно переоценить.

Однако, несмотря на мнение, что проблемы информационной безопасности касаются исключительно данных, хранимых в электронном виде – на компьютерах, съемных носителях и серверах, – в любой организации вопрос защиты информации касается также процессов, не связанными с информационными технологиями (например, найм персонала или его обучение). В связи с этим, работу кредитно-финансового учреждения невозможно представить без создания и постоянного совершенствования комплексной системы защиты информации, которая позволила бы предотвратить несанкционированный доступ злоумышленников к активам организации.

В соответствии с определением ГОСТ Р 50922-2006, система защиты информации (далее – СЗИ) представляет собой совокупность органов и (или) исполнителей, используемой ими техники защиты информации, а также объектов защиты, организованная и функционирующая по правилам, установленным соответствующими правовыми, организационно-распорядительными и нормативными документами в области защиты информации[1].

Построение системы защиты информации организации, в том числе кредитно-финансовой, должно основываться на таких принципах, как:

1. *Комплексный подход.* Комплексность подхода должна достигаться одновременным применением организационных мер, программных, аппаратных и криптографических средств. Такой подход является залогом гибкости и надежности СЗИ.

2. *Персональная ответственность.* Пользователи СЗИ должны нести персональную ответственность за совершаемые ими действия в рамках этой системы. Это позволит сократить количество потенциальных нарушений безопасности и упростит расследование в случае их реализации.

3. *Разграничение доступа и минимизация предоставляемых прав доступа.* Каждому сотруднику должен предоставляться минимальный набор прав на доступ к информации, достаточный для выполнения его функциональных обязанностей.

4. *Контроль и противодействие попыткам несанкционированного доступа к информации.* Защищаемые данные должны охраняться на всех участках системы в каждый момент времени. Все попытки несанкционированного доступа к ним должны фиксироваться. Анализ таких попыток должен служить основой для совершенствования системы защиты организации.

5. *Экономическая обоснованность системы.* Стоимость разработки и эксплуатации мер защиты не должна превышать возможного ущерба при утечке защищаемой информации.

6. *Дифференцированность механизма защиты.* Виды и плотность задействованных мер и средств защиты на различных участках системы должно определяться ценностью защищаемой информации и серьезностью последствий при осуществлении несанкционированного доступа к этой информации.

7. *Документированность системы.* Все применяемые меры и установленный порядок допуска и доступа к информации должны быть четко регламентированы соответствующими нормативными документами организации. Все используемые программные и аппаратные средства также должны иметь документальное описание.

При построении СЗИ важно учитывать также основные составляющие деятельности кредитно-финансового учреждения, такие как:

1. структура (зачастую функциональная, дивизионная, проектная или матричная);
2. объем и характер выполняемых операций (так как большая часть операций представляет собой денежные переводы, при создании СЗИ важно учитывать требования Положения Банка России №382-П «О требованиях к обеспечению защиты информации при осуществлении переводов денежных средств и о порядке осуществления Банком России контроля за соблюдением требований к обеспечению защиты информации при осуществлении переводов денежных средств»);
3. количество сотрудников и их обязанности (с увеличением числа сотрудников возрастает значимость процессов контроля соблюдения ими установленных правил информационной безопасности);
4. количество и характер клиентов (клиентами таких учреждений, как правило, являются как физические, так и юридические лица);
5. график суточной нагрузки (во время максимальной нагрузки, приходящейся на часы работы структурных подразделений, особенно важно обеспечить бесперебойную работу серверов и каналов обслуживания).

Разработанная с учетом данных особенностей СЗИ будет включать в себя множество компонентов, таких как активы компании, ее ресурсы, документационное обеспечение, персонал, а также систему управления доступом.

В крупных компаниях с распределенной структурой и многочисленным кадровым составом, какими в большинстве своем являются кредитно-финансовые учреждения, на первый план выходит вопрос управления существующими задачами, активами, ресурсами и персоналом. Ввиду этого, в таких организациях целесообразно создание системы менеджмента информационной безопасности, являющейся частью общей системы менеджмента.

Согласно определению, приведенному в ГОСТ Р ИСО/МЭК 27001-2006, надежная система менеджмента информационной безопасности (СМИБ) должна основываться на оценке бизнес-рисков при создании, внедрении, функционировании, мониторинге, анализе, поддержке и улучшении информационной безопасности[2].

В основе функционирования СМИБ лежит процессный подход, предполагающий использование внутри организации системы процессов наряду с идентификацией и взаимодействием этих процессов, а также управление этими процессами. При этом, под процессом будет пониматься любая деятельность, использующая ресурсы и управляемая в целях преобразования входных данных в выходные[2].

Основой данного подхода является рассмотрение организации как совокупности бизнес-процессов и вспомогательных процессов, а не структурных подразделений. Основное

внимание уделяется процессам, которые объединяют отдельные функции в общие потоки и в целом направлены на достижение конечного результата всей организации, а не отдельного ее подразделения[3].

Построение СМИБ базируется на PDCA-модели (цикле Деминга), предполагающей прохождение всех процедур системы через этапы планирования, реализации, мониторинга и улучшения[4].

Задачами СМИБ являются: формирование системы обеспечения ИБ, расстановка приоритетов компании в области информационной безопасности, обеспечение соответствия системы безопасности существующим рискам. Создание СМИБ позволяет также обеспечить отслеживание изменений, вносимых в СЗИ, отслеживать процессы выполнения политики безопасности, эффективно управлять системой в критических ситуациях[3].

В рамках СМИБ необходимо разработать подход к оценке рисков организации, для чего требуется определить критерии принятия рисков и приемлемые уровни риска. Для идентификации рисков требуется провести детальный анализ активов компании, идентифицировать угрозы этим активам, а также их уязвимости.

Инициатива разработки СМИБ организации должна исходить от ее руководства и затрагивать весь кадровый состав организации. С этой целью в организации должны быть реализованы программы обучения сотрудников и повышения их компетентности в вопросах информационной безопасности. Такие программы должны функционировать на постоянной основе и включать в себя мероприятия по контролю усвоения сотрудниками освещаемых в них тем.

Также как и в случае с СЗИ, документационное обеспечение является неотъемлемой частью СМИБ. Для разработки, изменения, хранения и уничтожения документов СМИБ разрабатываются специализированные процедуры, закреплённые документально.

Для разработки, внедрения, функционирования и улучшения СМИБ организацией должны быть выделены ресурсы, которые позволили бы поддерживать процедурами информационной безопасности требования бизнеса, а также требований соответствующих законов, поддержания адекватности системы, анализа и, при необходимости, повышения ее результативности.

Учитывая все вышесказанное можно сделать вывод, что в кредитно-финансовых учреждениях, разделенных на многочисленные структурные подразделения, зачастую расположенные в различных городах, затруднено управление СЗИ. Поэтому в таких организациях необходимо также внедрение СМИБ, позволяющей реорганизовать подход к защите информации. Компоненты СЗИ будут являться источником исходных данных для процессов СМИБ. В свою очередь, СМИБ будет играть роль управляющего механизма для СЗИ и ее составляющих. Только при совместной реализации данных систем можно добиться эффективности работы механизмов управления рисками организации и ее устойчивости к нарастающему количеству информационных угроз.

#### **Список литературы**

1. Национальный стандарт Российской Федерации от 01.02.2008 ГОСТ Р 50922-2006 «Защита информации. Основные термины и определения»
2. Национальный стандарт РФ от 01.02.2008 ГОСТ Р ИСО/МЭК 27001-2006 «Информационная технология. Методы и средства обеспечения безопасности. Системы менеджмента информационной безопасности»
3. Рудай Ю.В. Применение процессного подхода в обеспечении управления информационной безопасностью организации // Труды СГА – М.: СГА, 2008 – С. 103-117
4. Куканова Н.А. Журнал "Information Security/ Информационная безопасность", 2007, №4

05.13.00

Е.С. Вячкин, С.М. Аульченко, В.О. Каледин, Е.А. Вячкина

НФИ КемГУ, Новокузнецк, ViachkinE@mail.ru

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕЧЕНИЯ ВЯЗКОЙ СЛОИСТОЙ СРЕДЫ ПРИ ПУЛТРУЗИОННОМ ФОРМОВАНИИ КОМПОЗИТНЫХ ТРУБ**

DOI:10.24153/2079-5920-2017-7-2-93-95

Рассматривается однопараметрическая модель течения вязкой несжимаемой среды применительно к задаче пултрузионного формования. Приводится расчет максимальных и минимальных скоростей для поставленной задачи. Проводится анализ сходимости решения при сгущении сетки.

Ключевые слова: математическая модель, объемно-несжимаемая среда, поля скоростей, пултрузия.

Пултрузионное формование является одним из наиболее часто используемых способов создания композитных монолитных и полых профилей с различной формой поперечного сечения – круглой, квадратной, треугольной, прямоугольной и т. д. Рациональный выбор параметров технологического процесса связан с определением полей скоростей и вязких напряжений, влияющих на сплошность получаемого изделия.

Для решения задачи течения при пултрузионном формовании композитных труб рассмотрим течение слоистой среды, содержащей объемно-несжимаемые вязкие слои, которое происходит в зазоре между двумя соосными поверхностями вращения - фильерами (рис 1).

В качестве определяющего соотношения для жидкости возьмем [1]:

$$\sigma_{ij} = -p\delta_{ij} + \xi\delta_{ij}\dot{e}_{kk} + 2\mu^* \dot{e}_{ij}, \tag{1}$$

где  $p$  – гидростатическое давление  $p = \frac{1}{3}\sigma_{ii}$ ;

$\dot{e}_0 = \frac{1}{3}\dot{e}_{kk}$  – скорость объемной деформации

$\xi$  – коэффициент объемной вязкости;

$\mu^*$  – коэффициент сдвиговой вязкости;

$\dot{e}_{ij}$  – тензор скоростей деформации.

При этом тензор скоростей определяется соотношением:

$$\dot{e}_{ij} = \frac{1}{2}(v_{i,j} + v_{j,i}), \tag{2}$$

где  $v$  – скорость.

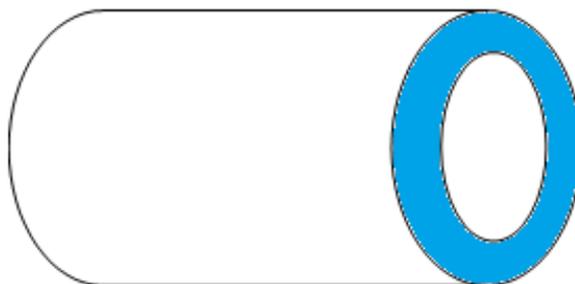


Рис. 1. Расчетная область

При рассмотрении течения жидкости со слабой объемной сжимаемостью на основе двухпараметрической модели необходимо задавать в качестве исходных данных коэффициенты сдвиговой и объемной вязкости. Между тем, коэффициент объемной вязкости для слабосжимаемой жидкости стремится к бесконечности, и он не измеряется с достаточной точностью [2].

Вместо того, чтобы считать давление реакцией внутренней кинематической связи, отождествим его с шаровой частью деформационного выражения [3]. Тогда (1) можно записать в виде:

$$\sigma_{ij} = \xi \delta_{ij} \dot{e}_{kk} + 2\mu^* \dot{e}_{ij}. \quad (3)$$

Полученное регуляризованное уравнение известным образом дискретизируется методом конечных элементов, причём задача течения с физическим законом (3) корректна при любом выборе граничных условий в скоростях и напряжениях, в отличие от классической постановки задачи о течении несжимаемой жидкости. Предел решения при устремлении объемной вязкости к бесконечности может быть вычислен по алгоритму [4].

Рассмотрим пример решения задачи о течении вязкой несжимаемой среды между двумя соосными цилиндрами при следующих параметрах: длина канала 0,1 м, радиус внутреннего цилиндра 0,01 м, радиус внешнего цилиндра 0,012 м. Вязкая несжимаемая среда имеет объемную вязкость  $\lambda \rightarrow \infty$  и сдвиговую динамическую вязкость 18 Па·С.

На левой границе расчётной области действует давление 0,6 МПа, на правой границе скорость постоянна по выходному сечению, а давление принималось равным последовательно 0, 0,3 и 0,6 МПа. На стенках трубы (наружной и внутренней) принимаются условия прилипания. Расчет полей скоростей и напряжений реализован в среде функционально-объектного программирования «Алгозит» [5] и выполнен при различных размерах конечных элементов, с последовательным удвоением сетки. В таблице 1 приведены максимальные и минимальные нормальные и меридиональные скорости.

Таблица 1

Максимальные и минимальные нормальные и меридиональные скорости при давлении на правой границе 0 МПа

	Число элементов сетки						
	2×10	4×20	8×40	16×80	32×160	64×320	128×640
$v_{s \max}$	402,04	288,265	211,295	162,74	132,319	111,216	95,774
$v_{s \min}$	402,04	197,197	83,159	33,168	12,873	5,072	2,068
$v_{n \max}$	4,3796	25,921	51,537	49,688	44,58	40,731	37,261
$v_{n \min}$	-4,3796	-21,543	-45,356	-47,58	-42,494	-39,304	-36,178

Как видно из таблицы, результаты, полученные на самой крупной сетке, сильно отличаются от остальных, т.к. размер конечного элемента слишком большой, поэтому они были исключены из дальнейшего анализа. Для полученных значений скоростей были построены графики их зависимости от длины стороны конечного элемента, найдена аппроксимирующая функция и получена оценка погрешности по правилу Рунге:

$$\Delta v \leq C a^p, \quad (4)$$

где  $p$  – порядок сходимости,

$a$  – длина стороны элемента,

$C$  – неизвестная постоянная,

$\Delta v$  – погрешность определения скорости.

Т.к. при расчете использовались четырехузловые конечные элементы с билинейной аппроксимацией скоростей, порядок сходимости решения будет равен 2. В связи с этим, приближённо приняв множитель  $C$  постоянным, аппроксимируем функцию  $v(a)$  полиномом второго порядка.

Зависимость максимальной осевой скорости  $v_{s \max}$  от длины стороны конечного элемента представлена на рисунке 2.

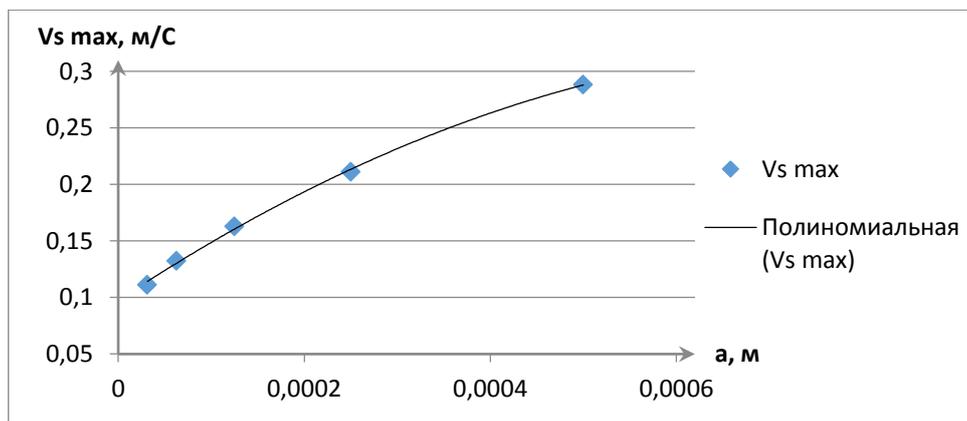


Рис. 2. Зависимость  $v_{s \max}$  от длины стороны конечного элемента  $a$

Как видно из рисунка 2, при уменьшении размеров конечного элемента величина скорости стремится к предельному значению. Аналогично были построены аппроксимирующие функции и получены оценки погрешности для радиальной скорости.

Для зависимости, показанной на рисунке 2, была получена следующая аппроксимирующая функция:

$$v_{s \max}(a) = -0,33172a^2 + 0,54726a + 0,097229 \quad (1)$$

с коэффициентом детерминации  $R^2 = 0,9989$ . С ее помощью было рассчитано предельное значение максимальной меридиональной скорости при  $a=0$ , равное  $v_{s \max}(0) = 0,097$  м/с.

Для остальных зависимостей были построены аппроксимирующие функции, коэффициенты детерминации которых получились близкими к единице. С помощью полученных функций вычислены предельные значения скоростей.

Для давления на правой границе в 0,3 и 0,6 МПа были так же вычислены значения максимальных и минимальных скоростей, построены аппроксимирующие функции и вычислены предельные значения скоростей.

Анализ полученных результатов показывает, что для всех проведенных расчетов при уменьшении конечного элемента скорость стремится к предельному значению, величину которого можно получить из аппроксимирующей функции.

При сравнении результатов решения задачи с различными давлениями можно сделать вывод, что скорость течения пропорциональна давлению на правой границе.

Полученное численное решение сходится к конечному пределу и чувствительно как к вариации давления во входном и выходном сечении, так и к вариации скорости на выходе из канала. Поэтому представляется возможным его использование для расчёта полей давлений в формуемом материале при непрерывной пултрузии.

#### Список литературы

1. Мейз Дж. Теория и задачи механики сплошных сред [Текст] / Дж. Мейз. – Москва : Мир. – 1974. – 319 с.
2. Вячкин Е.С. Однопараметрическая модель деформирования слоистых структур, содержащих объемно-несжимаемые слои [Текст] / Е.С. Вячкин, Е.В. Решетникова, С.М. Аульченко, А.П. Рябков, Е.А. Вячкина // Научно-технический вестник Поволжья. – 2016. – №6. С. 120-123.
3. Аульченко С.М. Моделирование ламинарного течения вязкой сжимаемой жидкости при малых скоростях / Аульченко С.М., Васильева Е.И., Каледин В.О. // Вестник Кемеровского государственного университета. 2013. № 2-1 (54). С. 170-173.
4. Каледин В.О. Модель деформирования многослойной упругой конструкции, содержащей податливые объемно-несжимаемые слои [Текст] / В.О. Каледин, Е.С. Вячкин // Моделирование и наукоемкие информационные технологии в технических и социально-экономических системах труды IV Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. 2016. С. 132-138.
5. Каледин В.О. Среда функционально-объектного программирования «Алгозит». РОСПАТЕНТ. Свидетельство №2017612895 от 06.03.2017.

05.13.06

**Л.А. Галиуллин**

Набережночелнинский институт (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Казанский (Приволжский) федеральный университет», кафедра информационных систем,  
Набережные Челны, galilenar@yandex.ru

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЖИМОВ ДИАГНОСТИКИ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ НА БАЗЕ НЕЙРОННОЙ СЕТИ**

**DOI:10.24153/2079-5920-2017-7-2-96-98**

*Показано использование нечеткой нейронной сети для автоматического построения нечетких правил управления режимами работы двигателей внутреннего сгорания при их диагностике. Сформирована структура нечеткой нейронной сети. Проведена оценка точности управления на базе сформированных нейронной сетью правил управления двигателем.*

*Ключевые слова: нечеткая нейронная сеть, двигатель внутреннего сгорания, автоматизированная система, диагностика двигателя.*

Объявленные мощность, экономичность, токсичность и другие оценочные показатели ДВС, а также его надежность и долговечность устанавливаются путем испытаний в стендовых и эксплуатационных условиях [1]. В настоящее время все вновь создаваемые, модернизируемые и серийные двигатели автомобилей и тракторов подвергаются различным видам испытаний, сущность, объем и содержание которых определяется их целью и оговариваются ГОСТом.

В настоящее время диагностика ДВС представляют собой сложный и трудоемкий технологический процесс, мало отличающийся от экспериментального исследования [2]. Поэтому создаются автоматизированные системы диагностики ДВС.

При изучении ДВС и построении его математической модели, как правило, возникает задача получения закона функционирования объекта в целом или некоторых его частей [3]. Чаще всего модель не может быть построена на основе известных закономерностей и неизвестен вид закона функционирования объекта. В таких случаях решение этой проблемы может сводиться к выделению в объекте значимых входных и выходных характеристик и проведению серии экспериментов, с целью получения данных о функционировании объекта в частных случаях.

Для решения данной проблемы предлагается использовать гибридные нейронные сети для настройки нечетких систем.

Нечеткая гибридная нейронная сеть представляет собой четкую нейронную сеть, которая построена на основе многослойного персептрона (рис. 1).

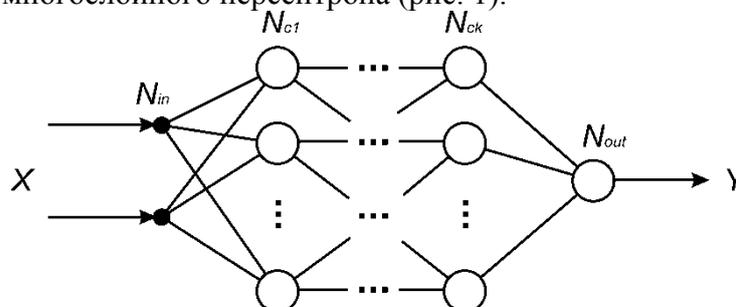


Рис. 1 - Многослойная структура гибридной сети

где  $X$  – вектор входных параметров;  
 $Y$  – вектор выходных параметров;  
 $N_{in}$ ,  $N_{out}$  – входной и выходной слой;  
 $N_{c1}$ ,  $N_{ck}$  – скрытые слои.

Гибридная сеть для настройки нечетких систем, в отличие от многослойного персептрона, включает адаптивный слой функций принадлежности; логические И-, ИЛИ-нейроны (логические нейроны, моделирующие логические связи). [4]

Сеть производит отображение входного вектора в выходной  $X \rightarrow Y$  по следующей формуле [5]:

$$y = \frac{\sum_{i=1}^M w_i}{\sum_{j=1}^N w_j} \left( p_{i0} + \sum_{j=1}^N p_{ij} x_j \right) \tag{1},$$

которую можно представить в виде

$$y(x) = \frac{1}{\sum_{k=1}^M w_k} \sum_{k=1}^M w_k y_k(x) \tag{2},$$

где  $y_k(x) = p_{k0} + \sum_{j=1}^N p_{kj} x_j$ ;

$N$  – количество входных переменных;

$w_k$  – веса различных связей нейронов;

$p_0, p_1, \dots, p_N$  – цифровые веса, подбираемые в процессе адаптации (обучения) сети.

Присутствующие в этом выражении веса  $w_k$  интерпретируются как значимость компонентов  $\mu_A^{(k)}(x)$  (степень принадлежности конкретного числового значения нечеткой метке  $A$ ) [6]. При этом условии формуле можно сопоставить многослойную структуру сети.

Если в (2) принять  $y_i(x) = c_i$ , то:

$$y(x) = \frac{\sum_{i=1}^M c_i w_i}{\sum_{i=1}^M w_i} = \frac{\sum_{i=1}^M c_i \cdot \prod_{j=1}^N \mu_{ij}(x_j)}{\sum_{i=1}^M \prod_{j=1}^N \mu_{ij}(x_j)} \tag{3},$$

где  $c_i$  – весовой коэффициент (с точки зрения нечетких систем это центр функции принадлежности правой части нечетких правил);

$\mu_{ij}()$  – функция Гаусса в экспоненциальном виде с параметрами центра  $c_{ij}$ , ширины  $\sigma_{ij}$  и формы  $b_{ij}$ . С точки зрения нечетких систем  $\mu_{ij}()$  – функция принадлежности к нечеткому множеству.

Режим работы двигателя во время диагностики представляется в виде вектора  $X$  желаемого изменения по времени входных параметров ДВС [7]. Время работы двигателя с заданными параметрами зависит от вида испытаний и задается в программе испытаний.

$x_1 = \{603; 73,4; 18,6\}$  – для момента времени 15 мин;

$x_2 = \{825; 99; 23,1\}$  – для момента времени 30 мин;

...

$x_n = \{2458; 110; 59,3\}$  – для момента времени 180 мин.

Входными параметрами выбраны частота вращения коленчатого вала  $n$ , об/мин; момент нагрузки на валу двигателя  $M_n$ , Нм; часовой расход топлива  $G_t$ , кг/час соответственно.

К достоинствам модели, построенной на основе нечеткой нейронной сети можно отнести возможность получения новой информации в форме некоторого прогноза. Например, прогноз вектора управления диагностики неизвестной модели ДВС.

Для создания базы знаний в виде нечетких правил управления выбрана гибридная сеть на основе многослойного персептрона, которая позволяет аппроксимировать параметры режима работы ДВС во всем диапазоне их значений [8].

Гибридная сеть содержит только два параметрических слоя (первый и третий), параметры которых уточняются в процессе обучения. Значения погрешностей в 4% соответствуют ГОСТ 15995-80 и обусловлены нелинейностью частоты вращения коленчатого вала в диапазоне 800-1500 об/мин.

**Список литературы**

1. *Galiullin L.A.* Automated test system of internal combustion engines. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering Ser. "International Scientific and Technical Conference "Innovative Mechanical Engineering Technologies, Equipment and Materials-2014", ISC IMETEM 2014" 2015. С. 012018.
2. *Галиуллин Л.А.* Моделирование работы дизелей на основе аппарата нейронных сетей. Итоговая научная конференция 2014 года Сборник докладов итоговой научной конференции профессорско-преподавательского состава, в 3-ех частях. Набережночелнинский институт (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования "Казанский (Приволжский) федеральный университет". 2014. С. 487-490.
3. *Галиуллин Л.А.* Информационная система диагностики двигателей внутреннего сгорания. Информационные технологии. Автоматизация. Актуализация и решение проблем подготовки высококвалифицированных кадров (ИТАП - 2014) Сборник материалов Международной научно-практической конференции (дистанционная форма). Набережночелнинский институт (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования "Казанский (Приволжский) федеральный университет"; Информационно-образовательный центр подготовки специалиста машиностроительного профиля. 2014. С. 66-69.
4. *Валиев Р.А., Хайруллин А.Х., Шибakov В.Г.* Модели и методы синтеза алгоритмов и программ систем автоматизированного проектирования технологических процессов в машиностроении // Вестник машиностроения. – 2015. – №6. – С.48–51.
5. *Зубков Е.В.* Подбор искусственной нейронной сетью параметров математической модели режимов работы дизельных двигателей при нестационарных нагрузках. Итоговая научная конференция 2015 года сборник докладов итоговой научной конференции профессорско-преподавательского состава: в 3 частях. ФГАОУ ВПО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», Набережночелнинский институт (филиал); Ответственный редактор Л.А. Симонова. 2015. С. 113-118.
6. *Y. Yu, J. Yang.* The development of fault diagnosis system for diesel engine based on fuzzy logic. Proceedings - 2011 8th International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery, FSKD 2011, 1, art. no. 6019556, 2011, pp. 472-475.
7. *Y. Shatnawi, M. Al-Khassaweneh.* Fault diagnosis in internal combustion engines using extension neural network. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 61 (3), art. no. 6511979, 2014, pp. 1434-1443.
8. *M. Tian.* Fuzzy neural network diagnose expert system of engine. ICICIP 2012 - 2012 3rd International Conference on Intelligent Control and Information Processing, art. no. 6391477, 2012, pp. 154-156.

05.13.19

**В.И. Зеленская, Е.А. Солдатова**

Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет  
информационных технологий механики и оптики,  
Факультет информационной безопасности и компьютерных технологий,  
Кафедра безопасных информационных технологий,  
Санкт-Петербург, v.i.zelenskaya@ya.ru, Elena\_Sold@bk.ru

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ PASSWORD-МЕНЕДЖЕРОВ В КОРПОРАТИВНЫХ СЕТЯХ****DOI:10.24153/2079-5920-2017-7-2-99-101**

*В статье рассмотрены вопросы использования password-менеджеров в корпоративных сетях. Было проанализировано программное обеспечение, обеспечивающее безопасное хранение учетных данных пользователей и даны рекомендации по защите информации от несанкционированного доступа путем кражи учетных данных пользователя.*

Ключевые слова: *авторизация, идентификация, шифрование, защита информации, информационная безопасность.*

Согласно нормативно-правовой документации, методических указаний и рекомендаций ФСТЭК по защите информационных систем максимальный срок службы пароля, применяемый для идентификации пользователей, составляет от 60 до 180 суток, в зависимости от степени защиты информационной среды компании. Однако, во многих компаниях различного масштаба можно столкнуться с еще более не комфортной политикой безопасности – где согласно требованием внутрикорпоративных нормативных документов смена пароля должна происходить не менее одного раза в течение 30 дней. Если же компании действительно есть что защищать, то использование ключ-карты и мониторинг сетевой активности являются нормой и обеспечивает необходимый уровень безопасности, но постоянная смена паролей — мероприятие весьма утомительное и способное привести ко взлому корпоративной информационной системы.

Данный факт подтверждается исследованием в области информационной безопасности проведенным сотрудниками Университета Северной Каролины (*University of North Carolina at Chapel Hill*): Инцянь Чжаном (*Yinqian Zhang*), Фабианом Монроуз (*Fabian Monroe*) и Майклом К. Райтер (*Michael K. Reiter*). По данным исследования одним из наиболее распространенных способов запоминания пароля является его шаблонизация. В своей работе сотрудники Университета имитировали генерацию паролей пользователями используя принципы шаблонизации, и после этого провели успешную «атаку», типа «brute force» с использованием базы данных вероятных паролей, до того, как система безопасности среагировала на происходящее. По условиям задачи, рассмотренной в исследовании, в руках злоумышленников была неактуальная база данных банковских пользователей на 7700 учетных записей. В ходе исследования сотрудникам Университета удалось получить доступ к 17% учетных записей используя не более 5 попыток, однако в ходе исследования были получены еще более убедительные цифры, так, например, еще к 41% аккаунтов был получен доступ примерно за 3 секунды «brute force». Это исследование подтверждает тот факт, что однажды созданный сложный пароль более эффективен, чем постоянная смена паролей.

Циклическая смена паролей не способна повысить уровень защищенности корпоративных информационных ресурсов компании и даже наоборот может оказать пагубное влияние на состояние защищенности предприятия. Повышать общий уровень защищенности корпоративных ресурсов необходимо за счет повышения уровня защиты всех ресурсов, а не создания политик безопасности эффективных только на бумаге. В подтверждение этого есть целый ряд разумных причин. Большая часть рядовых пользователей старается запоминать пароли необходимые для выполнения своих задач. Рекомендую своим знакомым или родным

циклическую смену пароля, вы оказываете им медвежью услугу, потому что постоянная смена пароля приводит к следующему:

- К упрощению пароля с точки зрения пользователя, ввиду сложности его запоминания;
- К упрощению словаря, используемого пользователем для его генерации, например, используются только цифры;
- К шаблонизации пароля, если политика безопасности системы требует определенной криптостойкости от пароля и как следствие требует использовать определенный алфавит для его генерации - символы с переменным регистром, цифры, спец. символами и т.д.;
- К сохранению паролей на бумажных носителях и т.д. Пароли начинают записывать на бумажках, хранить в кошельке и даже прямо на рабочем столе или приклеенными к монитору.

Наиболее известный пример успешной атаки на корпоративную сеть компании в результате кражи конфиденциальной связки логин-пароль был взлом корпоративной сети французского телеканала «TV5Monde», где в эфире была показана памятка с конфиденциальной информацией приклеенная к рабочему месту одного из сотрудников в ходе его интервью на рабочем месте.

В теории, или на бумаге, политика безопасности, требующая циклической замены паролей пользователя, выглядит более безопасно, чем использование гораздо более надежного пароля и на более длительный срок. Однако на практике требование постоянной смены паролей пользователей приводит минимум к торможению бизнес-процессов компании, ввиду частой авторизации пользователей в различных информационных ресурсах компании используя большое количество различных связок логин-пароль, и созданию инцидентов информационной безопасности, а как максимум способно привести к разглашению конфиденциальной информации компании, что в свою очередь может повлечь за собой серьезные финансовые потери предприятия.

Более продвинутые пользователи используют в своей работе pass-менеджеры, естественно если в политике безопасности компании нет запрета на установку стороннего программного обеспечения. Различные менеджеры паролей обеспечивают необходимый уровень криптостойкости генерируемых паролей и учетных данных пользователей и защищают их от шаблонизации, сохранения на бумажных носителях и последующей кражи или подбора. Циклическая смена паролей необходима в первую очередь для защиты от внешних угроз, использование pass-менеджеров обеспечивают такую защиту наилучшим способом, однако использование pass-менеджеров неприемлемо для защиты системных учетных записей или же в случае, когда необходимости использования RDP для подключения к рабочей станции пользователя. В подобных случаях необходимо повышать общий уровень защищенности системы в целом и систем авторизации и идентификации пользователей, в частности.

Защита любого аккаунта от несанкционированного доступа начинается с защиты учетных данных пользователей. Безопасное хранение учетных данных пользователя является одной из первостепенных задач в обеспечение информационной безопасности как со стороны поставщика приложения, так и со стороны пользователя. Поставщик приложений защищает свою базу учетных данных пользователей используя различные алгоритмы шифрования и многоуровневую систему защиты, однако в тоже самое время рядовой пользователь должен рассчитывать на свою память и фантазию. Для защиты учетных данных пользователя были созданы различные менеджеры паролей, различающиеся по своим особенностям, но общих по своей функции – хранения паролей в зашифрованном виде. Ярчайшим примером в пользу использования менеджеров паролей является то, что ПО «Lenovo Password - Vault» входит в стандартный комплект поставки бизнес-ноутбуков серии Lenovo ThinkPad.

В качестве примера в данной статье будут рассмотрено следующее программное обеспечение: **1Password**.

**1Password** — от компании AgileBits. Это популярное на Mac OS X решение для хранения паролей, другой персональной информации и лицензий на ПО.

Недавно была также выпущена версия под Windows. Стоимость ПО выше чем аналогов, рассмотренных в этой статье — версии под Windows и Mac OS X стоят \$39,99, или \$59,99 за кроссплатформенную; версия для iOS доступна в AppStore за \$14,99. Приложение Read-only для Android распространяется бесплатно.

Несомненным плюсом является то, что все версии 1Password обладают встроенной функцией синхронизации базы с помощью сервиса Dropbox. Эта функция не используется по умолчанию, база без предварительной настройки хранится локально. База данных зашифрована по алгоритму AES-128. Встроенные средства интеграции с операционной системой и браузерами исключают утечку паролей через вредоносные программы (например, keyLogger). 1Password for Mac интегрируется с Chrome, Firefox, Safari, и Camino. Версия для Windows интегрируется с Firefox, IE и Chrome. Обе версии 1Password предлагают комфортный пользовательский интерфейс для удобного использования хранимой информации в других приложениях (в том числе и похожую на KeePass функцию AutoType).

Кроме интеграции с различными платформами, 1Password предоставляет пользователю еще один нестандартный способ доступа к своей базе - agile keychain. Хранилище паролей (agile keychain) представляет из себя набор файлов, один из которых — HTML-файл с полноценным интерфейсом для работы с базой, который может быть открыт любым браузером на практически любом устройстве.

#### **Список литературы**

1. Вестник Московского университета «Право», №4 2000 г.; журнал «Государство и право», №2 2001 г.; ОБЖ №5 2002 г.; Копылов В.А. «Информационное право».
2. «The Security of Modern Password Expiration: An Algorithmic Framework and Empirical Analysis» // ACM, 2010г.
3. Приказ №17 ФСТЭК от 11 февраля 2013 г. «Об утверждении требований о защите информации, не составляющей государственную тайну, содержащейся в государственных информационных системах» //Гарант
4. Горбачев В.С. Концептуальные вопросы применения средств криптографической защиты информации в информационных системах. М. 2007.
5. Федеральный закон от 20 февраля 1995 г. № 24-ФЗ «Об информации, информатизации и защите информации» (принят Государственной Думой 25 января 1995г.).

05.13.19

**А.С. Исаев, Д.И. Муллағалиев, С.С. Павлов**

Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, факультет информационной безопасности и компьютерных технологий, кафедра безопасных информационных технологий,  
Санкт-Петербург, sp1311@mail.ru

### **ГРАНИЦЫ ПРИМЕНИМОСТИ ТЕОРИИ НЕЧЕТКИХ МНОЖЕСТВ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ АУДИТА ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ**

**DOI:10.24153/2079-5920-2017-7-2-102-104**

*Аудит информационной безопасности играет ключевую роль в процессе обеспечения информационной безопасности. Из-за высокой стоимости времени и трудоемкости человеческих ресурсов, оптимизация расходов на аудит выходит на первый план в управлении информационной безопасностью. В настоящей работе представлена возможность применимости теории нечетких множеств при проведении аудита информационной безопасности.*

*Ключевые слова: информационная безопасность, управление информационной безопасностью, теория нечетких множеств, неопределенность выбора.*

Аудит информационной безопасности играет ключевую роль в обеспечении должного уровня безопасности любой организации. Из-за высокой стоимости времени и трудоемкости человеческих ресурсов, оптимизация расходов на аудит выходит на первый план в управлении информационной безопасностью. Одним из решений данной проблемы может являться разработка программного обеспечения, которое позволяет сократить расходы, ускорить и облегчить процесс аудита информационной безопасности. Предполагается, что методы нечеткой экспертной системы могут дать значительные преимущества при применении к этой области.

Одним из лучших способов оценки, обеспечения и поддержания безопасности информации является аудит информационной безопасности. Аудит безопасности представляет собой сложный, многоступенчатый и трудоемкий процесс, в котором участвуют высококвалифицированные специалисты ИБ, что делает его довольно дорогостоящим. Существует много видов аудита, включая определенные стандарты безопасности (например, ISO 27K) проверки соответствия.

Как правило, аудит информационной безопасности проводится по следующим шагам: инициирование процедуры аудита; сбор информации; анализ данных аудита; выработка рекомендаций; подготовка аудиторского отчета.

Одна из мер при проведении аудита, заключается в использовании инструментов, помогающих выявить пробелы, существующих между определенным стандартом безопасности и безопасностью организации, такими как контрольные списки и вопросники. Например, ISO IEC 27002 2005 (17799)[1] инструмент аудита ИБ, предлагает несколько сотен вопросов аудита, изложенных в форме «да» или «нет» (например, «Уменьшили ли вы риск кражи, мошенничества или неправильного использования средств?»), указывая на практические меры безопасности, которые должны быть выполнены, и действия. Таким образом, аудит можно рассматривать как процесс опрашивания и анализа ответов.

Разумеется, эти инструменты полезны для аудиторов, но анкеты не дают полного представления об уровне безопасности, записи контрольных списков слишком общие (не конкретные, не связанные с конкретной политикой и т.д.). Такие недостатки не позволяют использовать их отдельно, без каких-либо дополнительных мер безопасности.

Еще одним шагом вперед в разработке эффективных инструментов аудита является база знаний, помогающая им обосновывать свои решения по управлению информационной

безопасностью. Ключевыми компонентами базы являются «Активы», «Источник» (стандарт или ГОСТ), «Уязвимость», «Этап» и другие. Каждый «Этап» связан с активом, который он защищает, типом уязвимости, против которого он направлен, а также перекрестными ссылками на другие рекомендации. Предлагаемый инструмент обеспечивает поиск в базе знаний руководящих принципов в стандартах с использованием их компонентов.

Предполагается, что значительные расходы, сопровождающие регулярный аудит безопасности, могут быть значительно уменьшены интеллектуальным программным обеспечением, способным заменить специалистов ИБ в проведении аудита.

Экспертная система (ES) - это компьютерная система, которая эмулирует способность человека-эксперта принимать решения.

Знания в экспертных системах, обычно представляемые в виде правил типа IF-THEN, могут быть либо экспертными знаниями, либо знаниями, которые обычно доступны из письменных источников. [3]

Рассматриваемое взаимодействие вопрос-ответ между пользователем и системой, аналогичный принципу контрольного списка и вопросника: ES берет ответы на вопросы пользователей, анализирует их и выводит результат в форме рекомендаций.

Некоторые из преимуществ использования экспертных систем, в частности, в области ИБ:

1. Снижение стоимости. Разработка экспертной системы относительно недорогая.
2. Повышение доступности. Знание эксперта становится доступным с любого подходящего устройства в любое время суток.
3. Многократная экспертиза. Использование знаний из нескольких источников повышает общий уровень знаний о системе.
4. Экономия временных ресурсов. Аудит является трудоемким процессом.
5. Постоянный, неэмоциональный и полный ответ. При использовании программ влияние человеческого фактора уменьшается.

Разработка веб-экспертной системы в области аудита информационной безопасности с первой, практической стороны позволит сэкономить время и деньги компаний, а со второй, теоретической стороны, это будет хороший фундаментальный опыт для дальнейшей разработки методологий применения методов искусственного интеллекта в области ИС.

Для повышения точности эмуляции человеческого мышления ES необходима возможность управления неопределенностью, то есть наличие нечеткой логики в экспертной системе при принятии решения. Эксплуатация толерантности к неопределенности лежит в основе замечательной способности человека принимать рациональные решения в условиях неточности.

Задача разработки ES требует методов, более сложных, чем классические экспертные системы. Они не охватывают все аспекты сложных процедур, таких как оценка безопасности, которая включает в себя очень много факторов.

Специалисты по информационной безопасности обычно работают с нечеткими терминами, такими как «чувствительность», «полнота» и т.д. Чтобы справиться с такими неопределенностями, применима другая техника искусственного интеллекта - нечетких множеств и логики.

В информационной безопасности, вероятно, во всех областях, где задействованы люди, происходят такие вещи, как восприятие. Например, аудитор задает вопрос пользователю: «Как часто вы меняете пароль?», в ответ получает «часто», «редко». Кроме того, у пользователя может быть искаженное представление об информационной безопасности. В данном случае восприятие аудитора более адекватно. Числовое значение (например, изменения пароля в месяц) будет абсолютным, независимым и, следовательно, более адекватным ответом. Нечеткое отображение выполняется на стороне эксперта (он решает, если это часто, редко и т.д.).

Разумеется, здесь выгодно использовать подход с нечеткой логикой и множествами.

Следующие термины играют ключевую роль в оценке ИБ организации [1, 2]: уязвимости - любые слабости в системе средств контроля; угрозы - как правило, люди, вещи или

ситуации, которые могут потенциально вызвать потерю; последствия - воздействия, если некоторые из этих угроз реально материализовались.

Поскольку вероятность чего-то произойти, особенно событие информационной безопасности, очень трудно оценить точно, то оно должно быть представлено в «нечетком» виде. Чтобы рассчитать общую вероятность, необходимо учитывать все факторы воздействия.

Воздействие уязвимости на конкретную угрозу отражается в правилах, которые имеют следующую структуру:

Если(IF) уязвимость очень серьезна, тогда(THEN) вероятность исполнения угрозы низкая / умеренная / высокая (нечеткое значение).

Если(IF) безопасность оборудования недостаточна, тогда(THEN) повреждение физического имущества или кража незначительно увеличивается.

Если(IF) физический контроль входа плохой, тогда(THEN) повреждение физического имущества или кража значительно увеличивается.

Согласно этому принципу будет столько же правил с одинаковыми последствиями, сколько уязвимостей влияет на эту угрозу. Для получения одного значения соответствующие нечеткие числа суммируются и делятся на их максимальное количество.

Подводя итог, можно сказать, что получение данных от пользователя возможно различными способами, в том числе прямым запросом точного значения, с использованием "контрольных списков" и тестов. Но в некоторых случаях использование нечетких множеств в качестве входных данных было бы более эффективным.

Хорошим примером может служить размер возможной потери организации в случае материализации конкретной угрозы. В качественном анализе риска воздействие в денежном эквиваленте обычно рассматривается как низкое, умеренное и высокое. Он может быть получен как построенный пользователем нечеткий набор, например, около 10 млн. руб.

Методология нечеткой логики обеспечивает способ характеристики неточно определенных переменных, определяет отношения между переменными, основанными на экспертных знаниях человека и использует их для вычисления результатов. Нечеткая экспертная система, используемая в области информационной безопасности, вполне применима для подражания способности специалиста принимать решения.

Кроме того, одним из преимуществ нечетких экспертных систем является то, что правила могут быть написаны на естественном языке, а не на компьютерном жаргоне. Как следствие, связь между экспертом в области и инженером знаний значительно упрощается.

В заключение необходимо подчеркнуть, что существует достаточно неисследованных областей при внедрении экспертных систем в области аудита безопасности, разработке базы знаний на основе нечетких правил для экспертных систем, интеграции нечетких коэффициентов в разработку рекомендаций для аудита безопасности и т.д.

#### **Список литературы**

1. Myler E., Broadbent G. ISO 17799: Standard for security //Information Management. – 2006. – Т. 40. – №. 6. – С. 43.
2. Mansiya K. et al. The Methodology of Expert Systems //International Journal of Computer Science and Network Security (IJCSNS). – 2014. – Т. 14. – №. 2. – С. 62.
3. Siler W., Buckley J.J. Fuzzy expert systems and fuzzy reasoning. – John Wiley & Sons, 2005.

05.13.19

**А.С. Исаев к.т.н., С.А. Носков, Е.А. Хлюпина**

Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, факультет информационной безопасности и компьютерных технологий, кафедра безопасных информационных технологий,  
Санкт-Петербург, a.s.isaev@yandex.ru

### **ПРИНЯТИЕ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ВОЗНИКНОВЕНИЯ УГРОЗ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ НА ОСНОВЕ ТЕОРИИ НЕЧЕТКИХ МНОЖЕСТВ**

**DOI:10.24153/2079-5920-2017-7-2-105-109**

*В настоящей работе представлены результаты исследований по определению порядка и границ применимости общего математического и идеологического аппарата теории нечетких множеств, для определения, обоснования и принятия управленческих решений в условиях неопределённости возникновения угроз информационной безопасности.*

Ключевые слова: *информационная безопасность, управление информационной безопасностью, теория нечетких множеств, неопределенность выбора, поддержка принятия решений.*

На современном этапе развития нашего общества информация становится одним из наиболее ценных и востребованных ресурсов, на сохранение и защиту которых выделяется все больше времени и средств. Процесс управления информационной безопасностью неразрывно связан с процессами защиты информации и принятием управленческих решений, ведь полнота и корректность их принятия во многом определяет эффективность системы защиты информации, однако в составе ядра типовой системы управления информационной безопасности отсутствует математический аппарат по снижению энтропии возникновения угроз и принятию обоснованных управленческих решений. Постоянно увеличивающееся количество средств и мер защиты информации увеличивают нагрузку на персонал организации, увеличивая таким образом время на принятие управленческих решений и снижая точность оперативного анализа, необходимого для идентификации угроз информационной безопасности и принятии соответствующих управленческих решений по их перекрытию. Помимо сложности операционного решения данной задачи, встает вопрос о порядке и возможности определения доверительных интервалов для получаемых результатов экспертной оценки. Одним из перспективных направлений при решении данной проблемы является использование математических обоснованных методов снижения энтропии при возникновении угроз, способных взять на себя большую часть аналитических функций и рутинных операций, выполняемых персоналом, что существенно снизит временные рамки при принятии управленческих решений.

Решение описанной ситуации достаточно подробно рассматривается в [1], данный подход достаточно эффективно снижает энтропию возникновения угроз, однако с учетом возможного наличия помех, возникающих в каналах сбора и передачи информации о возникновении угроз, а также размытости границ передаваемых параметров, результаты обобщения и выборки экспертных мнений при обосновании и применении конкретного управляющего воздействия не всегда могут быть описаны механизмами классической логики. Данная проблема является типичным случаем наличия нечетких информационных характеристик аномального поведения в системе защиты информации, на основе которого необходимо принять конкретное, логически обоснованное решение. Представим математическую интерпретацию рассматриваемой ситуации, изложенную в [1], дополнив её формализованные выражения математическим аппаратом теории нечетких множеств [2]. В результате наложения мы получим, что выводы о наличии угрозы и порядок её

идентификации в некоторых пограничных ситуациях могут являться ошибочными, ввиду отсутствия определенности границ доверительных интервалов при работе с общим множеством параметров искомой угрозы. В результате общее решение, представленное на рисунке 1, где  $i$  – количество равноправных процессов управления информационной безопасности,  $r$  – количество ресурсов, затрачиваемых на реализацию  $i$ -го процесса.

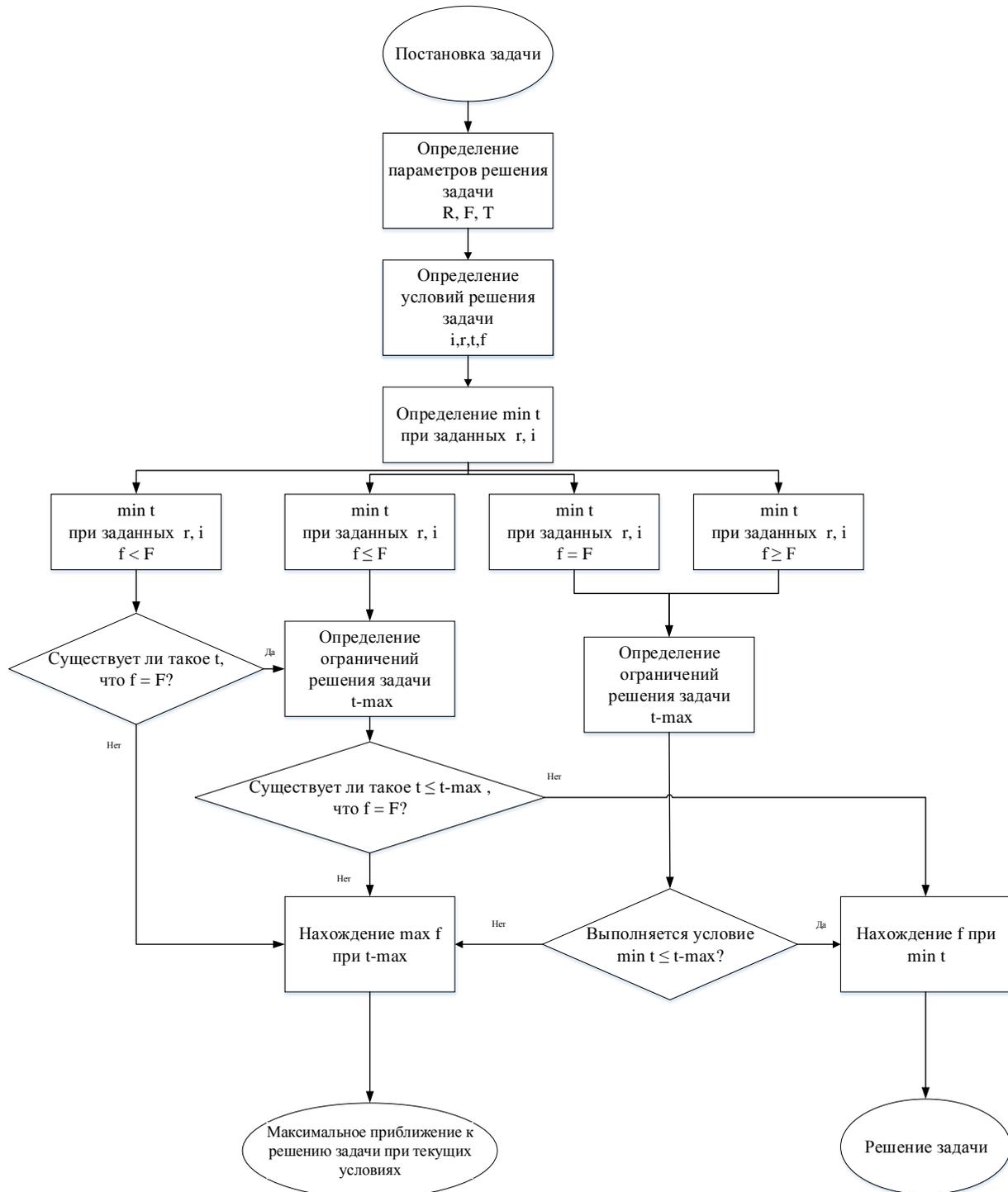


Рис 1. Общий алгоритм принятия управленческих решений.

При этом каждый из процессов  $i$  определяется параметрами:  $t_i(r_i)$  – время на получение информации в ходе выполнения процесса,  $f_i(x_i)$  – количество получаемой информации в ходе выполнения процесса, а  $R, T, F$  – являются имеющимися ресурсами, временем и количеством информации, необходимым для принятия конкретного управленческого решения, с учетом следующего отношения: 
$$\begin{cases} \sum_{i=1}^n f_i(x_i) \rightarrow \max_{x=(x_1, \dots, x_n) \in Z_+^n} \\ \sum_{i=1}^n t_i(r)x_i \leq t_{max} \end{cases}$$

Следует обратить особое внимание, что данное решение будет иметь равнозначную силу, как для случая с применением классической, так и для случая с применением нечеткой логики, ведь итоговый вектор, описывающий угрозу из общего древа параметров будет в результате получен с максимально возможной точностью при имеющихся временных и материальных условиях. Основным отличием будет являться порядок определения и идентификации угрозы из общего множества, с учетом нечеткого характера получения параметров её описания и последующего его перевода в древо угроз.

Пусть каждая из угроз  $Y$  будет описываться совокупной параметрической характеристикой  $\alpha_n$ , тогда энтропия  $H$  возникновения такой угрозы по Шеннону будет определяться как  $H(Y_x) = -\ln P(Y_x)$ . С учетом исходных условий решения задачи мы получаем, что искомая угроза будет входить в общее множество угроз  $Y_{\text{общ}}$ . Воспользовавшись свойством аддитивности энтропий мы получим  $H(Y_x) = \sum_{i=1}^m H(Y_i)$ . Теперь рассмотрим порядок снижения энтропии при переборе параметрических характеристик, описывающих угрозу, полученных в результате протекания основных процессов управления информационной безопасности в системе. Каждый из них предоставляет определенное количество информации, обработка которых позволят сформировать матрицу описания всех типовых, и не типовых угроз применяя экспертное мнение. Основываясь на данной логике, мы можем отсеивать угрозы, которые не подходят нам по значению получаемых параметров в результате их сравнения с эталонными таблицами. Таким образом, через определенное количество итераций подобных отсеиваний мы постепенно сужаем исходное множество угроз, снижая энтропию для каждой оставшейся. В теории мы можем продолжать данный процесс до момента полного исчезновения энтропии и однозначного выбора угрозы и принятия соответствующего решения для её перекрытия, однако на практике нам это не позволят имеющиеся временные рамки. Однако будет ли полученные значения, а значит и идентифицированные угрозы, искомой, зависит от следующих условий:

1. Наличия и характера воздействия помех и посторонних информационных сигналов.
2. Количества одновременно возникших угроз, а значит и соответствующих наложений их информационных сигнатур.

В результате мы имеем вероятность, когда при возникновении угроз, получаемые их информационные характеристики могут иметь не просто различные доверительные интервалы своих параметров, но и принципиальную неоднозначность в их трактовке. Таким образом, вышеприведенный алгоритм отсева угроз и снижения энтропии может привести к необоснованной потере значений из исходного множества угроз  $Y_{\text{общ}}$ . Решение данной проблемы заключается в применении вероятностных весовых коэффициентов при рассмотрении и отсева угроз, основанных на идея теории нечетких множеств, за счет первоначального описания угроз не только в виде классического множества  $Y(\alpha_1, \alpha_2 \dots, \alpha_n) \in (Y_{\text{общ}} - Y_{\text{отс}})$ , но и в виде нечеткого множества, вида  $Y'([A_1], [A_2] \dots [A_n])$ , где  $[A_n] = A = \int_x \frac{\mu_A(x)}{x} dx$ , - нечеткое множество значений параметра  $A_n$ , с учетом значений функции принадлежности  $\mu_{A(x)}$  искомому эталонному значению  $x$  классического множества описания угрозы  $Y$ . Рассмотрим пример применения данной логики для угроз  $Y_v$ , описываемой четырьмя параметрами  $\alpha_n$ , допустим что эти параметры имеют конечные числовые значения. Представление угрозы в виде классического множества:  $Y_v(1, 7, 6, 1)$ . Поскольку все значения  $\alpha_n$  являются действительными числами, то функция их принадлежности к искомому значению будет определяться как:  $\mu_{A(x)} = \frac{1}{1+(x-\alpha_n)^2}$ , получаем что  $Y'_v \left( \left[ \int_x \frac{1+(x-1)^2}{x} dx \right], \left[ \int_x \frac{1+(x-7)^2}{x} dx \right], \left[ \int_x \frac{1+(x-6)^2}{x} dx \right], \left[ \int_x \frac{1+(x-1)^2}{x} dx \right] \right)$ .

Введя допустимые доверительные интервалы получаемых значений равными от 0,6 до 1, в обоих направления от текущего  $\alpha_n$ , мы получим искомое нечеткое множество. С учетом имеющихся условий мы можем ввести корреляционные значения полученного информационного сигнала и интерпретировать его в рамках степени принадлежности его к

искомому нечеткому множеству и ввести вероятностный коэффициент исключения угрозы  $Y_v$  из общего множества  $Y_{\text{общ}}$ . Таким образом при прохождении итераций угроза будет отсеиваться вероятностно и постепенно, что даст возможность автоматического исправления результата в случае наличия ошибочного суждения на одной из предыдущих итераций, что существенно отразится на точности перебора общего множества.

Таким образом можно сделать следующий вывод: применение идеологии и математического аппарата теории нечетких множеств способно существенно увеличить эффективность принятий управленческих решений в условиях неопределённости возникновения угроз информационной безопасности за счет существенного увеличения точности идентификации угроз.

#### **Список литературы**

1. А.С. Исаев, Е.А.Хлюпина «Принятие управленческих решений в условиях неопределенности возникновения угроз информационной безопасности»: Научно-технический вестник Поволжья № 3, 2015, с – 145-148.
2. Рутковская Д., Пилиньский М., Рутковский Л. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы: Пер. с польск. И. Д. Рудинского. - М.: Горячая линия -Телеком, 2006. - 452 с.

05.13.18

**А.А. Козлов, И.Н. Боровик, Е.А. Строкач**

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет),  
кафедра 202 «Ракетные двигатели»,  
Москва, evgenij.strokatsch@yandex.ru

## **ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА В КАМЕРЕ СГОРАНИЯ РАКЕТНОГО ДВИГАТЕЛЯ МАЛОЙ ТЯГИ**

**DOI:10.24153/2079-5920-2017-7-2-109-112**

*Проводится численное моделирование рабочего процесса в камере сгорания ракетного двигателя малой тяги с центробежными форсунками с газообразным и жидким компонентами топлива. Проводится также численное исследование влияния параметров ввода компонентов топлива на эффективность рабочего процесса. Подтверждается возможность применения подхода Эйлера-Лагранжа для моделирования завесного охлаждения жидким компонентом топлива.*

**Ключевые слова:** численное моделирование, ракетный двигатель малой тяги, подход Эйлера-Лагранжа.

Использование численных методов для моделирования комплексных физических процессов (движение и взаимодействие разных фаз, испарение жидкой фазы, смешение, горение компонентов топлива) стало широко распространенным в настоящее время, в особенности в приложении к оценке процессов в изделиях аэрокосмической отрасли. Проблемы, с которыми сталкиваются разработчики при использовании методов численного моделирования, связаны, как правило, с применимостью подходов, расчетной сетки, частных моделей физических процессов для определенного типа задач. Например, неясным является выбор метода моделирования завесного охлаждения жидким компонентом, что является важным при разработке изделия. В данной работе предлагается исследовать возможность моделирования рабочего процесса в КС РДМТ (камера сгорания ракетного двигателя малой тяги) на Ж + Г компонентах (керосин – кислород) с учетом завесного охлаждения жидким компонентом на базе подхода Эйлера-Лагранжа, что может существенно увеличить скорость и устойчивость сходимости расчета с учетом допустимой точности результатов.

Исследование проводилось на примере двигателя малых тяг МАИ-ДМТ-200 номинальной тягой 200 Н (рисунок 1), разработанного на кафедре 202 МАИ и работающего на топливе керосин + газообразный кислород [1].

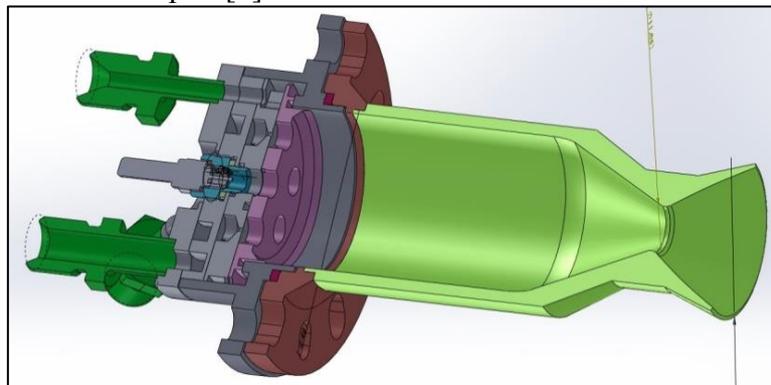


Рис. 1 - Экспериментальный двигатель (разрез) [1]

В качестве граничных условий ввода задавались параметры ввода компонентов топлива в ядро потока и на завесу. Для двигателя рассматриваемой конфигурации (учитывая двухкомпонентность и вид форсунок – центробежный) основными параметрами ввода являются компоненты скорости (осевая, радиальная и тангенциальная) и параметры

распределения капель жидкости по диаметру, используется вид распределения Росина-Раммлера [2], в котором форму определяют параметр размера и параметр ширины распределения. Для моделирования применялся метод конечных объемов, использующейся комплексом Ansys CFX для дискретизации расчетной области [3,4]. Использовалась аппроксимация второго порядка точности. При расчете течения основной фазы использовались осредненные по Фавру уравнения Навье – Стокса [3, 4]. Турбулентность потока учитывалась с помощью использования k-omega SST модели турбулентности [5]. Движение капель керосина в потоке моделировалось с помощью метода Лагранжа-Эйлера (газ + дискретные частицы). Модель учитывала двухстороннее взаимодействие жидкой и газообразной фаз, перенос импульса, энергии и массы [3, 6]. Общее уравнение для баланса сил, определяющее движение частицы, записывается как

$$\frac{du_p}{dt} = F_d(u_g - u_p) + \frac{\vec{g}(\rho_p - \rho_g)}{\rho_p} + \vec{F},$$

где  $F_d$  – сила лобового сопротивления;  $u_g$  – скорость несущего потока вблизи капли;  $u_p$  – скорость капли;  $\rho_g$  – плотность окружающей среды;  $\rho_p$  – плотность вещества капли,  $\vec{F}$  – составляющая внешних сил [3,6]. Дробление капель жидкости на основе предварительного исследования моделей и рекомендаций исследователей [7] проводилось с помощью модели каскадного дробления (CAB) [8]. Для моделирования столкновения и слияния капель применялась модель Sommerfeld [9]. Перенос тепла моделировался с помощью модели Ранца-Маршалла [10].

Перенос массы определялся в соответствии с моделью испарения жидкой фазы (Liquid evaporation model) [3]. Модель различает два режима переноса массы – в зависимости от того, находится давление насыщенных паров капли выше точки кипения или ниже. Точка кипения определяется уравнением Антуана, описывающим связь между давлением насыщенных паров и температурой для чистых компонентов, которое записывается как

$$p_{vap} = p_{scale} \exp\left(A - \frac{B}{T_p + C}\right),$$

где  $T_p$  – температура капли;  $p_{scale}$  – коэффициент размерности; А, В и С – коэффициенты, задаваемые пользователем. Для расчета процесса горения использовалась модель Flamelet (тонкого фронта пламени) [11]. Нужно отметить, что углеводород (декан) C10H22 представлял в расчете керосин, и коэффициенты Антуана были взяты из справочной литературы [12].

На основе предварительного исследования влияния параметров ввода и допущений, связанных с конструкцией, режимом подачи и свойствами, были выбраны величины параметров, задаваемых на вход (таблица).

Таблица - Параметры ввода

Средний Заутера диаметр капель	20 мкм
Параметр ширины распределения	18
Осевая компонента скорости (ядро потока)	1
Радиальная компонента скорости (ядро потока)	1
Тангенциальная компонента скорости (ядро потока)	1
Параметр размера распределения Росина-Раммлера (завеса)	750 мкм
Параметр ширины распределения Росина-Раммлера (завеса)	18
Скорость подачи охладителя на завесу	1 м/с

Расчетная область представляла область разворотом  $60^\circ$ , для нее была построена сетка (рисунок 2), на основе предварительного анализа сходимости имеющая около 300 000 гексаэдральных элементов. В расчетную область попадает, соответственно, 1/6 часть центральной форсунки и 1 периферийная форсунка.

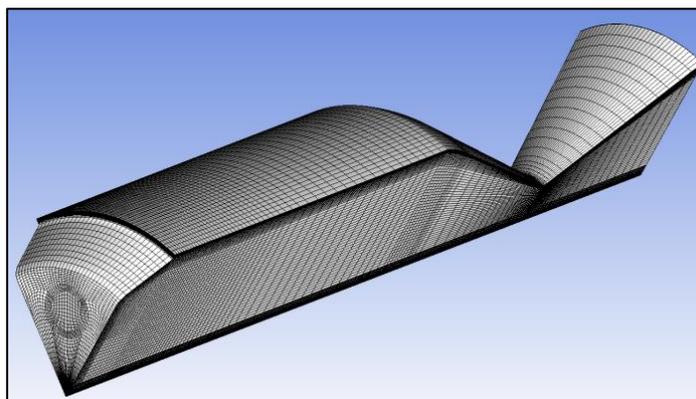


Рис. 2 - Расчетная сетка

Стенки расчетной области принимались адиабатическими, что является важным допущением исследования. Не учитывается также лучистый теплообмен, составляющий всего около 10 % общего теплового потока [13]. Сравнение результатов расчета и экспериментов проводилось на базе интегрального параметра полноты сгорания. Полнота сгорания определялась по формуле  $\varphi_\beta = \frac{\beta}{\beta_{ид}}$ , где  $\beta = \frac{F_{кр} * p_{кр}}{\dot{m}_\Sigma}$  – расходный комплекс,  $F_{кр}$  – площадь критического сечения,  $p_{кр}$ -давление в КС,  $\dot{m}_\Sigma$ -суммарный расход [14]. Результаты (полнота сгорания в зависимости от экспериментального соотношения компонентов топлива [1]) сравнения (рисунок 3) показывают хорошую сходимость данных (разница составляет не более 8 %), что говорит о возможности использования подхода Эйлера-Лагранжа, а также и тестируемой модели рабочего процесса.

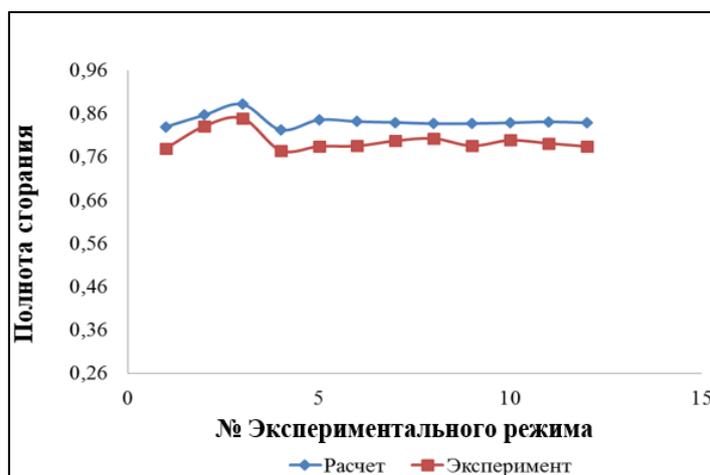


Рис. 3 - Сравнение значений полноты сгорания

На базе проведенной верификации были произведены дополнительные исследования влияния параметров ввода топлива в КС на эффективность рабочего процесса. При изменении параметров ввода (125 расчетов, средняя погрешность – 2 %) без учета завесного охлаждения увеличение осевой компоненты скорости приводит к снижению расходного комплекса (РК), рост радиальной и тангенциальной компонент увеличивает эффективность рабочего процесса, а влияние параметров распределения мало. При исследовании влияния параметров ввода топлива (160 расчетов, средняя погрешность – 2 %) с учетом завесного охлаждения жидким компонентом (на базе метода Эйлера-Лагранжа), было обнаружено, что увеличение тангенциальной и осевой составляющих скорости подачи топлива форсунками слабо влияет на эффективность рабочего процесса, как и варьирование размера капель завесного охлаждения (53-250 мкм) и скорости их подачи (0.3-2.4 м/с). Увеличение радиальной компоненты скорости приводит к снижению РК, наибольшие значения эффективности достигаются при значениях параметра ширины распределения 1-3.

Проведенная верификация использования подхода Эйлера-Лагранжа для моделирования завесного охлаждения жидким компонентом по критерию полноты сгорания позволяет более подробно исследовать работу изделия, полнее выявлять связь между параметрами ввода, увеличивать качество, скорость и устойчивость расчета. Полученные результаты о влиянии параметров ввода топлива на эффективность могут помочь разработчику изделия с подобными геометрическими, расходными параметрами и схемой смесеобразования обеспечить оптимальную картину процесса.

Кроме того, проведенное исследование рабочего процесса ведет к идее создания методики расчета рабочего процесса и оптимизации конструкции и других параметров форсунки. В такой методике должна производиться оценка течения в форсунке, результатом которой будут параметры распыливания, которые затем должны задаваться в виде граничных условий для трехмерного расчета рабочего процесса с помощью численных методов. Связью между этими двумя расчетами могут служить как эмпирические методы, так и комбинированные, экспериментальные методы определения параметров распыливания, и, кроме того, имплементированные в вычислительных пакетах модели дробления жидкости. Так или иначе, одним из основных элементов данной методики будет именно численное моделирование рабочего процесса в РДМТ/РД, и разобранный в данном исследовании модель станет его основой.

### **Список литературы**

1. *Ташев В.П.* Углеводородное горючее на основе керосина с присадками для повышения энергетической эффективности ЖРД. Дисс. ... канд. техн. наук. Москва, 2014, 115 с.
2. *Rosin P., Rammler E.* The laws governing the fineness of powdered coal // *Journal of the Institute of Fuel*, 1933, No. 7, PP. 29-36.
3. ANSYS (2015). CFX 16.1 Theory Guide. Ansys Inc., Canonsburg, PA.
4. *A. Yun.* Computational Fluid dynamics: from zero to guru. 594 pages. Create Space, USA. 2017.
5. *Белов И.А.* Модели турбулентности. Учебное пособие. Ленинград: Изд-во ЛМИ, 1982. 88с.
6. *А. Ю. Вараксин.* Гидрогазодинамика и теплофизика двухфазных потоков: проблемы и достижения (Обзор) // *Теплофизика высоких температур*, 2013, том 51, № 3, с. 421–455.
7. *Kumzerova, E., Esch, Th. and Menter, F.:* Spray simulations: application of various droplet breakup models. 6th International Conference on Multiphase Flow, ICMF 2007, Leipzig, Germany, July 9-13, 2007
8. *Tanner, F.,* "A Cascade Atomization and Drop Breakup Model for the Simulation of High-Pressure Liquid Jets," SAE Technical Paper 2003-01-1044, 2003, doi: 10.4271/2003-01-1044.
9. *Sommerfeld, M.,* "Validation of a stochastic Lagrangian modeling approach for inter-particle collision in homogeneous isotropic turbulence", *Int. J. Multiphase Flow*, Vol. 27, pp. 1829 – 1858, 2001.
10. *Ranz W.E., Marshal W.R., Jr.* Evaporation from Drops, Part I and Part II // *Chem. Eng. Prog.*, 1952, No. 48(4), PP. 173-180.
11. *Peters N.* Laminar diffusion flamelet models in non-premixed turbulent combustion. *Prog. Energy Combust. Sci.*, 1984, Vol. 10, PP. 319-339
12. *Рид Р., Праусниц Дж., Шервуд Т.* Свойства газов и жидкостей. Справочное пособие. Пер. с англ. под ред. Б. И. Соколова. — 3-е изд., перераб. и доп. — Л.: Химия, 1982. — 592 с.
13. *Васильев А.П., Кудрявцев В.М. и др.* Основы теории и расчета жидкостных ракетных двигателей. М.: Высшая школа, 1983. 703 с.
14. *Алемасов В.Е., Дрегаллин А.Ф., Тишин А.П.* Теория ракетных двигателей / Под ред. В.П. Глушко. М.: Машиностроение, 1980. 533 с.

05.13.19

**А.В. Куралесов, С.С. Павлов, Е.А. Хлюпина**

Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, факультет информационной безопасности и компьютерных технологий, кафедра безопасных информационных технологий,  
Санкт-Петербург, sp1311@mail.ru

### **ОСОБЕННОСТИ ПРАКТИЧЕСКОГО ПРИМЕНЕНИЯ ТЕОРИИ НЕЧЕТКИХ МНОЖЕСТВ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ АУДИТА ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В ТИПОВОЙ ОРГАНИЗАЦИИ**

**DOI:10.24153/2079-5920-2017-7-2-113-115**

*Аудит информационной безопасности является одной из важных частей процесса обеспечения информационной безопасности. Проблемы в сфере информационной безопасности должны решаться как можно быстрее. Данная работа дает представление об управлении информационной безопасностью и предлагает решения для развития экспертной системы. В работе описан процесс аудита с использованием экспертной системы и особенности применения теории нечетких множеств.*

*Ключевые слова: информационная безопасность, аудит информационной безопасностью, теория нечетких множеств, неопределенность выбора, поддержка принятия решений.*

Экспертная система представляет собой платформу, которая содержит в себе базу данных и автоматизированный сбор информации об объекте, анализирует с использованием нечеткой логики и выдает рекомендации, основанные на полученных результатах. Главной задачей экспертной системы является замена традиционного аудита, который обычно требует огромное количество времени. Использование экспертной системы позволяет не только сэкономить время, но и устраняет возможность ошибок в расчете результатов.

Архитектура экспертной системы довольно проста. Одним из её плюсов - отсутствие сложных коммуникаций и связей. Пользовательский интерфейс (UI) предназначен для аудиторов или сотрудников организации, предоставляющей услуги аудита ИБ. Через UI аудитор (работник) передает в приложение запрашиваемые данные, например, информацию о требованиях информационной безопасности, принятых в области защиты информации. Рисунок 1 иллюстрирует архитектуру экспертной системы.

Экспертная система состоит из нескольких частей: базы данных, интерфейс для экспертов информационной безопасности, интерфейсы для аналитики и для сотрудников информационной безопасности.

Для формирования общей картины необходимо начать с описания компонентов.

База данных содержит вопросы, список пользователей, ответы, вес вопросов, уровни риска, рекомендации, анализ результатов и инструменты. Это основной компонент экспертной системы, поскольку каждый другой компонент непосредственно взаимодействует с ним.

Интерфейс для эксперта информационной безопасности показан во втором компоненте. Эксперты проходят стадию авторизации, после чего определяют диапазоны для вопросов - набор лингвистических переменных, таких как Низкий, Средний и Высокий, которые имеют прямую связь с числовыми значениями и проводят оценку уровня риска.

Интерфейс аналитики позволяет рассчитывать результаты и генерировать выходные данные.

Интерфейс для предоставления рекомендаций на основе сформированных данных показан на четвертой части.

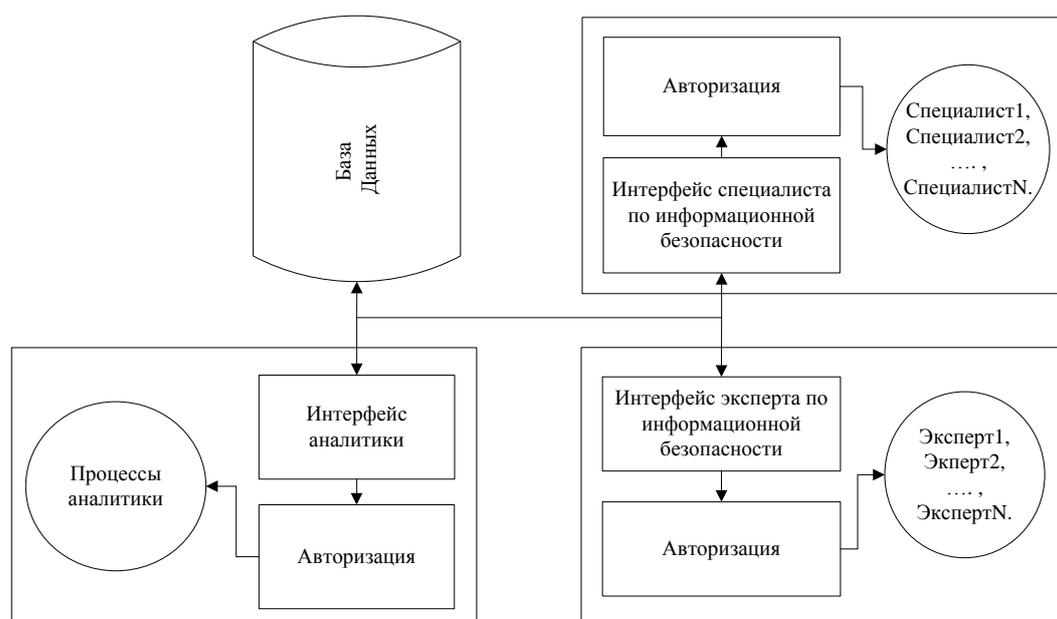


Рис 1. Архитектура экспертной системы.

Анкета создается на основе экспертных систем[1], которая состоит из следующих основных понятий:

1. Угроза как потенциально возможное событие, действие (воздействие), процесс или явление, которое может привести к нанесению ущерба чьим-либо интересам.
2. Уязвимость как свойство информационной системы, обуславливающее возможность реализации угроз безопасности обрабатываемой в ней информации.
3. Управление ИБ как концепция управления ресурсами организации входящие в информационную безопасность.
4. Активы - все, что имеет ценность для организации.

В части числового преобразования и вычисления значения ответов пользователей должны быть преобразованы с использованием их весов для каждого варианта. Например, некоторые вопросы анкеты имеют четыре варианта ответов: «никогда», «только когда публикуются», «один раз в год» и «один раз в два года». Вес ответа - 0, 50, 100 и 70 соответственно. Из этих весов и весов ответов разных категорий пользователей мы можем рассчитать средний вес ответа.

Одна из важных частей экспертной системы - «Анализ результатов ответов». Допустим, что уровень риска для данной конкретной проблемы равен 30 и представлен вертикальной черной линией на рисунке 2. Рисунок содержит визуальный график, показывающий уровень риска и показатель ИБ. Из этого рисунка видно, что уровень риска очень высок (по оценке менеджера по риску), тогда как показатель ИБ низкий. Показатель ИБ (EV) изменяется в зависимости от ответа диспетчера рисков, который в свою очередь использует информацию о величине рисков из документов проверяемой организации и находящуюся в табличном виде в базе данных. Показатель ИБ рассчитывается с использованием правил нечеткой логики. Таблица 1 представляет собой обобщение диапазонов ответов экспертов, представленных лингвистическими и числовыми переменными.

Таблица 1- Диапазон ответов экспертов, представленных лингвистическими и числовыми переменными.

Показатель ИБ \ Статус отсчета	Начало	Конец
Низкий показатель ИБ	Нзн (0)	Нзк (38)
Средний показатель ИБ	Срн (25)	Срк (86)
Высокий показатель ИБ	Всн (70)	Вск (100)

Зоны неопределенности рассчитываются ниже.

$$\text{Срк}' = \text{Срк} - \text{Всн} = 16$$

$$\text{Нзк}' = \text{Нзк} - \text{Срн} = 13$$

Следующая таблица 2 представляет правила «IF-> THEN», где результаты в лингвистических переменных (Низкий, Средний и Высокий) могут быть получены несколькими способами.

Таблица 2- Нечеткие правила для вычисления результата.

IF	AND	THEN
Риск	Процентная позиция (ПП)	Показатель ИБ
Очень низкий	ПП < Срн	Низкий
	Срн ≤ ПП < Всн	Средний
	Всн ≤ ПП	Высокий
Низкий	ПП < (Нзк-0.75*Нзк')	Низкий
	(Нзк-0.75*Нзк') ≤ ПП < (Срк-0.75*Срк')	Средний
	(Срк-0.75*Срк') ≤ ПП	Высокий
Средний	ПП < (Нзк-0.5*Нзк')	Низкий
	(Нзк-0.5*Нзк') ≤ ПП < (Срк-0.5*Срк')	Средний
	(Срк-0.5*Срк') ≤ ПП	Высокий
Высокий	ПП < (Нзк-0.25*Нзк')	Низкий
	(Нзк-0.25*Нзк') ≤ ПП < (Срк-0.25*Срк')	Средний
	(Срк-0.25*Срк') ≤ ПП	Высокий
Очень высокий	ПП < Срк	Низкий
	Срк ≤ ПП < Вск	Средний
	Вск ≤ ПП	Высокий

Для одного конкретного вопроса при определенном проценте безопасности из вопросника показатель ИБ может быть «Низкий» или «Средний», как показано на рисунке 2. Этот результат зависит от уровня риска, который получен из базы данных.

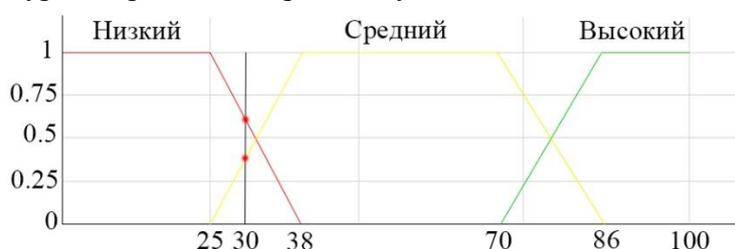


Рис 2. График, показывающий разные результаты для одной и той же проблемы.

Если процент находится вне смежных диапазонов, то результат будет постоянным независимо от уровня риска. Оценка группового показателя (EVM) вычисляется из оценок входящих в него частных показателей (EVi)[2] и параметра n(общее количество показателей):

$$EVM = \frac{\sum_{i=1}^n EV_i}{n}$$

По завершении всех исследований и расчетов результатов сотрудники службы информационной безопасности рассмотрят рекомендации для решения текущей проблемы.

В заключение можно сказать, что эта работа, являющаяся методом упрощения процесса принятия решений, может принести значительную практическую ценность при аудите информационной безопасности и разработке нечетких экспертных систем.

**Список литературы**

1. *Atymtayeva L.B. et al. Methodology and ontology of expert system for information security audit //Soft Computing and Intelligent Systems (SCIS) and 13th International Symposium on Advanced Intelligent Systems (ISIS). – IEEE, 2012. – С. 238-243.*
2. *СТО БР ИББС-1.1-2007 Обеспечение информационной безопасности организаций банковской системы Российской Федерации //Общие положения. – 2007.*

05.13.01

**А.О. Махорин к.т.н., А.М. Станкевич**

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет),  
кафедра прикладной информатики,  
Москва, mao@gnu.org, stan@inmas.ru

### **МОДЕЛЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РЕСУРСОВ ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧ АГРЕГИРОВАННОГО ПЛАНИРОВАНИЯ**

**DOI:10.24153/2079-5920-2017-7-2-116-120**

*В данной статье рассмотрена модель использования ресурсов, которая относится к классу потоковых моделей линейного программирования. Совместно с моделью движения материалов рассматриваемую модель можно использовать для решения задач долгосрочного агрегированного производственного планирования. Рассмотрены формальные описания основных компонент производственных процессов.*

Ключевые слова: *долгосрочное планирование производства, потоковая модель, линейное программирование.*

Применение количественных методов при решении задач, связанных с оптимизацией производственных планов предприятия, основано на использовании подходящей математической модели [1]. При этом для построения математической модели необходимо иметь представление о цели функционирования предприятия и располагать информацией об ограничениях, которые определяют область допустимых значений управляемых переменных. Как цель, так и ограничения должны быть представлены в виде функций от управляемых переменных.

Оптимизация производственных планов предусматривает определение оптимальных уровней производства при существующих ограничениях на фонд рабочей силы и производственное оборудование, имеющиеся на предприятии. В большинстве случаев критерием оптимальности в таких задачах является максимизация прибыли или минимизация затрат.

Модель затрат является основой для решения задач производственного планирования. Такая модель представляется в виде двух согласованно построенных математических моделей, а именно: *модели движения материалов* и *модели использования ресурсов*.

Модель использования ресурсов [2, 3] отражает потребление основных ресурсов, необходимых для осуществления производственной деятельности, к которым относятся производственные машины и оборудование, труд производственных рабочих, а также дополнительные ресурсы других видов (электроэнергия, топливо и т. п.).

Для формализации введем понятие *производственного процесса*. Производственный процесс – это процесс производства одного или нескольких выходных продуктов из исходных материалов. Исходными материалами могут быть сырье (покупные материалы) или полуфабрикаты, полученные в результате выполнения предшествующих производственных процессов. Выходные продукты представляют собой либо готовую продукцию, либо полуфабрикаты, предназначенные для последующих производственных процессов, либо побочные продукты (в частности, отходы). Кроме исходных материалов и выходных продуктов с производственным процессом связаны основные и дополнительные ресурсы, необходимые для его осуществления.

В рамках модели использования ресурсов предполагается, что каждый производственный процесс включает в себя линейную последовательность отдельных *производственных операций*. Это означает, что для осуществления некоторого процесса необходимо последовательно выполнить все операции, составляющие этот процесс. При этом потребление исходных материалов и производство выходных продуктов связывается с

процессом в целом, а потребление основных ресурсов связывается с отдельными операциями, составляющими процесс.

Модельное представление производственных процессов в виде линейных последовательностей производственных операций носит идеализированный характер и основано на следующих допущениях:

- все исходные материалы «смешиваются» перед выполнением первой операции;
- промежуточные материалы между отдельными производственными операциями не определяются;
- все выходные продукты «получаются» после выполнения последней операции;
- «обобщенная смесь» исходных материалов проходит последовательно через все операции.

В модели использования ресурсов допускается наличие нескольких вариантов одной и той же операции, что позволяет отражать возможность использования различного (отличающегося по своим характеристикам) производственного оборудования для выполнения одной и той же операции. При этом с формальной точки зрения наличие нескольких вариантов одной и той же операции означает, что «обобщенная смесь» исходных материалов перед выполнением такой многовариантной операции разделяется на несколько (по числу вариантов) частей, каждая из которых проходит через свой вариант операции, после чего все эти части снова «смешиваются» и поступают на вход следующей операции.

В качестве меры интенсивности «смеси», проходящей через операции процесса, используется величина обобщенного потока  $\lambda$  этого процесса. Поэтому условное разделение обобщенного потока («обобщенной смеси») можно записать в виде:

$$\lambda_i^1 + \lambda_i^2 + \dots + \lambda_i^k = \lambda, \quad (1)$$

где  $\lambda_i^1, \lambda_i^2, \dots, \lambda_i^k$  – интенсивности частей обобщенного потока, проходящие через отдельные варианты  $i$ -й операции.

В модели использования ресурсов предполагается, что расход ресурсов оборудования и труда рабочих, необходимых для осуществления отдельного варианта операции, пропорционален интенсивности части обобщенного потока, проходящего через соответствующий вариант операции:

$$\rho_1 = c_1\lambda, \rho_2 = c_2\lambda, \dots, \rho_m = c_m\lambda, \quad (2)$$

где  $\lambda$  – интенсивность части обобщенного потока, проходящего через конкретный вариант операции;  $\rho_1, \rho_2, \dots, \rho_m$  – расходы ресурсов оборудования и труда рабочих в варианте операции, измеряемые в часах (нормо-часах);  $c_1, c_2, \dots, c_m$  – заданные нормативные коэффициенты (нормы выработки).

В отличие от ресурсов оборудования и труда рабочих расход дополнительных ресурсов связывается не с интенсивностью потока, а с расходом ресурсов оборудования:

$$\tilde{\rho}_1 = \tilde{c}_1\rho, \tilde{\rho}_2 = \tilde{c}_2\rho, \dots, \tilde{\rho}_n = \tilde{c}_n\rho, \quad (3)$$

где  $\rho$  – суммарный расход ресурса оборудования конкретного вида;  $\tilde{\rho}_1, \tilde{\rho}_2, \dots, \tilde{\rho}_n$  – расходы дополнительных ресурсов;  $\tilde{c}_1, \tilde{c}_2, \dots, \tilde{c}_n$  – заданные нормативные коэффициенты (нормы потребления).

Ресурсы всех видов всегда ограничены. Формально ограничения на ресурсы можно записать в виде:

$$\rho_1 \leq \rho_{1\max}, \rho_2 \leq \rho_{2\max}, \dots, \rho_k \leq \rho_{k\max}, \quad (4)$$

где  $\rho_1, \rho_2, \dots, \rho_k$  – суммарное количество используемых ресурсов соответствующего вида;  $\rho_{1\max}, \rho_{2\max}, \dots, \rho_{k\max}$  – максимальное количество этих ресурсов (в выбранных единицах измерения), которое может быть израсходовано за промежуток времени, равный периоду планирования.

Использование любого ресурса требует определенных затрат. В рамках рассматриваемой модели затраты на конкретный ресурс характеризуются *коэффициентом затрат*  $z$ , который показывает затраты в рублях на единицу соответствующего ресурса. Если ресурс является материальным, то коэффициент затрат есть стоимость единицы данного материала. Если же ресурс связан с использованием труда рабочих, то коэффициентом затрат может быть, например, почасовая ставка. Общие затраты на ресурсы тогда определяются следующим образом:

$$z_1\rho_1 + z_2\rho_2 + \dots + z_k\rho_k = z_\rho, \quad (5)$$

где  $z_\rho$  – суммарные затраты на используемые ресурсы;  $z_i$  – коэффициент затрат для  $i$ -го ресурса ( $i = 1, 2, \dots, k$ );  $\rho_i$  – необходимое количество  $i$ -го ресурса ( $i = 1, 2, \dots, k$ ).

Предлагаемая модель использования ресурсов позволяет учесть возможность работы всех или некоторых производственных участков предприятия в несколько смен. Для различных рабочих смен характерно то, что в зависимости от смены может использоваться различное количество соответствующих ресурсов в каждом из доступных вариантов операции, а также может изменяться коэффициент затрат от смены к смене для определенных ресурсов (например, почасовая ставка) в соответствующей операции или варианте операции. В связи с этим, в модели потребления ресурсов допускается наличие *вариантов сменности* для каждой конкретной операции или варианта операции в случае многовариантной операции. Качественное различие между вариантами операции и вариантами сменности заключается в следующем:

– варианты операции определяют многовариантную операцию, а варианты сменности определяют конкретный вариант операции;

– варианты операции различаются по характеристикам используемых ресурсов (в частности, оборудования), а различия между вариантами сменности связаны с различием коэффициента затрат на один и тот же ресурс в разные смены и с различием доступных ресурсов.

Далее без ограничения общности будем использовать понятие операции.

С формальной точки зрения наличие нескольких вариантов сменности в одной и той же операции означает, что «обобщенная смесь» исходных материалов перед выполнением такой операции разделяется на несколько (по числу вариантов смен) частей, каждая из которых проходит через свой вариант сменности, после чего все эти части снова «смешиваются» и поступают на вход следующей операции. Каждый ресурс, характеристики которого зависят от смены, также разделяется на несколько (по числу вариантов смен) частей, для каждой из которых вводятся свои ограничения и/или коэффициенты затрат. Формально такие части определенного ресурса рассматриваются как ресурсы различных видов. Кроме того, в общем случае, для выполнения конкретной операции могут использоваться ресурсы, характеристики которых не зависят от сменности. Условное разделение обобщенного потока тогда можно записать в виде:

$$\lambda_i^1 + \lambda_i^2 + \dots + \lambda_i^n = \lambda_i, \quad (6)$$

где  $\lambda_i^1, \lambda_i^2, \dots, \lambda_i^n$  – интенсивности частей обобщенного потока, проходящие через отдельные варианты сменности  $i$ -й операции;  $\lambda_i$  – интенсивность обобщенного потока, проходящего через  $i$ -ю операцию.

Расход ресурсов вида 1, 2, ...,  $m$ , характеристики которых не зависят от сменности, представляется в виде:

$$\rho_{1i} = c_{1i}\lambda_i, \rho_{2i} = c_{2i}\lambda_i, \dots, \rho_{mi} = c_{mi}\lambda_i, \quad (7)$$

где  $\lambda_i$  – интенсивность обобщенного потока, проходящего через  $i$ -ю операцию;  $\rho_{1i}, \rho_{2i}, \dots, \rho_{mi}$  – расходы ресурсов вида 1, 2, ...,  $m$  при выполнении  $i$ -й операции;  $c_{1i}, c_{2i}, \dots,$

$c_{mi}$  – заданные нормативные коэффициенты для ресурсов вида 1, 2, ...,  $m$  при выполнении  $i$ -й операции.

Расход ресурсов вида  $(m+1)$ ,  $(m+2)$ , ...,  $(m+l)$ , характеристики которых зависят от сменности, для  $j$ -й смены ( $j = 1, 2, \dots, n$ ) представляется в виде:

$$\begin{aligned} \rho_{(m+1)i}^j &= c_{(m+1)i}^j \lambda_i^j \\ \rho_{(m+2)i}^j &= c_{(m+2)i}^j \lambda_i^j \\ &\dots \dots \dots \\ \rho_{(m+l)i}^j &= c_{(m+l)i}^j \lambda_i^j \end{aligned} \tag{8}$$

где  $\lambda_i^j$  – интенсивность части обобщенного потока, проходящего через  $j$ -й вариант сменности в  $i$ -й операции;  $\rho_{(m+1)i}^j, \rho_{(m+2)i}^j, \dots, \rho_{(m+l)i}^j$  – расходы ресурсов вида  $(m+1)$ ,  $(m+2)$ , ...,  $(m+l)$ , при выполнении  $j$ -го варианта сменности в  $i$ -й операции;  $c_{(m+1)i}^j, c_{(m+2)i}^j, \dots, c_{(m+l)i}^j$  – заданные нормативные коэффициенты для соответствующих ресурсов при выполнении  $j$ -го варианта сменности в  $i$ -й операции.

Ограничения на ресурсы, характеристики которых не зависят от сменности, записываются аналогично ограничениям (4).

Ограничения на ресурсы, характеристики которых зависят от сменности, представляются в следующем виде:

$$\begin{aligned} \rho_{(m+1)}^j &\leq \rho_{(m+1)\max}^j \\ \rho_{(m+2)}^j &\leq \rho_{(m+2)\max}^j \\ &\dots \dots \dots \\ \rho_{(m+l)}^j &\leq \rho_{(m+l)\max}^j \end{aligned} \tag{9}$$

где  $\rho_{(m+1)}^j, \rho_{(m+2)}^j, \dots, \rho_{(m+l)}^j$  – суммарное количество используемых в  $j$ -ю смену ресурсов видов  $(m+1)$ ,  $(m+2)$ , ...,  $(m+l)$ ;  $\rho_{(m+1)\max}^j, \rho_{(m+2)\max}^j, \dots, \rho_{(m+l)\max}^j$  – максимальное количество этих ресурсов, доступное в  $j$ -ю смену.

В том случае, когда требуется рассчитать общий расход какого-либо ресурса, зависящего от сменности, в модель необходимо добавить отношение следующего вида:

$$\rho_i^1 + \rho_i^2 + \dots + \rho_i^n = \rho_i, \tag{10}$$

где  $\rho_i^1, \rho_i^2, \dots, \rho_i^n$  – суммарное количество используемого ресурса вида  $i$  по сменам 1, 2, ...,  $n$  соответственно;  $\rho_i$  – общий расход ресурса вида  $i$ .

Затраты, связанные с использованием зависящих от сменности ресурсов, описываются следующим отношением:

$$z_i^1 \rho_i^1 + z_i^2 \rho_i^2 + \dots + z_i^n \rho_i^n = z_i, \tag{11}$$

где  $z_i$  – суммарные затраты, связанные с использованием  $i$ -го ресурса;  $z_i^1, z_i^2, \dots, z_i^n$  – коэффициенты затрат для  $i$ -го ресурса по сменам 1, 2, ...,  $n$  соответственно;  $\rho_i^1, \rho_i^2, \dots, \rho_i^n$  – суммарное количество используемого ресурса вида  $i$  по сменам 1, 2, ...,  $n$  соответственно.

В заключение необходимо отметить, что модель использования ресурсов в совокупности с моделью движения материалов представляют собой основную информацию, на базе которой решается достаточно широкий круг задач агрегированного планирования [4], в частности задач, связанных с оптимизацией производственных планов на определенный, достаточно длительный период.

#### **Список литературы**

1. *Voss S., Woodruff D. L.* Introduction to computational optimization models for production planning.– Springer-Verlag, New York, 2006.
2. *О'Лири Д.* ERP системы. Современное планирование и управление ресурсами предприятия.– М.: "Вершина", 2004.
3. *Новицкий Н. И., Пауто В. П.* Организация, планирование и управление производством.– М.: Финансы и статистика, 2008.
4. *Olhager J., Wikner J.* Advanced models and methods for production planning.– Springer-Verlag, Berlin, 1998.

05.13.01

**А.О. Махорин к.т.н., А.М. Станкевич**

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет),  
кафедра прикладной информатики,  
Москва, mao@gnu.org, stan@inmas.ru

### **ФОРМИРОВАНИЕ БАЗОВОЙ МОДЕЛИ ДАННЫХ ДЛЯ АГРЕГИРОВАННОГО ПЛАНИРОВАНИЯ**

**DOI:10.24153/2079-5920-2017-7-2-121-124**

*В данной статье рассмотрено формирование базовой модели данных, относящейся к классу потоковых моделей линейного программирования и предназначенной для решения широкого спектра задач агрегированного производственного планирования. Основу модели составляет двудольный граф, отражающий движение и преобразование материалов и других ресурсов. Показано, каким образом можно учесть основные производственные факторы в наиболее общих случаях.*

Ключевые слова. *планирование производства, потоковая модель, линейное программирование.*

Математическое моделирование играет важную роль в процессе принятия решений при агрегированном планировании производства. Модель выражает взаимосвязь между управляемыми переменными, неуправляемыми переменными, технологическими параметрами и показателями эффективности. В ходе построения модели выявляются факторы, имеющие отношение к задачам планирования, определяются способы количественной оценки показателей и формального описания технологии производства.

Производственное планирование предусматривает определение уровней производства и запасов, а также фонда рабочей силы, необходимых для удовлетворения меняющегося спроса [1]. Обычно для рассматриваемого периода планирования материальные ресурсы предприятия считаются заданными, и целью планирования является обеспечение наиболее эффективного использования этих ресурсов. Однако на практике возможны другие постановки задачи. Например, часто требуется просто оценить затраты материальных ресурсов для некоторых заданных уровней производства. В основе производственного планирования лежит модель затрат материальных ресурсов.

Наибольший практический интерес представляют случаи, когда затраты линейно зависят от управляющих переменных модели [2]. Это связано, прежде всего, с тем, что для решения задач на линейных моделях существуют эффективные вычислительные методы [3]. Кроме того, выпуклые нелинейные функции затрат могут быть с достаточной степенью точности аппроксимированы кусочно-линейными функциями.

В реальных случаях для широкого класса производственных систем можно сформировать общий и достаточно универсальный (с точки зрения решаемых задач) подход к построению модели затрат материальных ресурсов, учитывающий наиболее существенные факторы. Такой подход мог бы послужить основой для моделирования при построении оптимальных производственных планов.

В обычной практике планирования [4] учет затрат основан на системе норм расхода ресурсов на единицу готовой продукции. Такой подход позволяет достаточно просто оценить ресурсы, необходимые для реализации того или иного варианта плана, при этом могут рассматриваться только ассортимент и количество готовой продукции. Ориентированная на упрощенные вычисления, такая модель может оказаться слишком грубой для оценивания некоторых видов затрат.

Достоверное определение норм расхода ресурсов для достаточно сложных производств может оказаться объективно невозможным. Например, если для производства некоторого

продукта могут быть использованы несколько различных технологических процессов и на этапе планирования неизвестно, какие процессы и в какой пропорции будут производить этот продукт, то невозможно оценить и затраты ресурсов, так как потребление ресурсов различными процессами может существенно различаться. На практике такого рода особенности обычно не учитываются (используется некая обобщенная норма) или изначально определяются некоторые пропорции использования процессов. Однако когда решается задача оптимизации, решение определяет оптимальные пропорции использования процессов, а значит, в модели не должно быть подобных огрубляющих допущений.

Другая проблема, возникающая при вычислении норм расхода ресурсов, вызвана тем, что нормы вычисляются для каждого продукта изолированно. Часто бывает так, что в силу технологических особенностей производство продукта связано с производством других продуктов, при этом затраты распределяются на всю совокупность продуктов.

Трудности возникают также при вычислении затрат, которые не связаны непосредственно с конечной продукцией. Например, потребление таких ресурсов, как рабочая сила, электроэнергия, топливо и т. д. определяется технологическими операциями, значительная часть которых связана с производством полуфабрикатов, а не конечной продукции. На этапе планирования, исходя лишь из норм расхода ресурсов в расчете на единицу готовой продукции, нельзя определить объемы производства полуфабрикатов, а значит, нельзя достоверно определить затраты связанных с ними ресурсов.

Чтобы иметь возможность построить более подробную и точную модель затрат, необходимо использовать данные о тех элементах производства, где такие затраты возникают.

Можно определить производство как процесс преобразования сырья и полуфабрикатов в конечный продукт, при этом процесс сопровождается затратами некоторых дополнительных ресурсов (рабочей силы, топлива, электроэнергии и т. д.). Если процесс производства имеет сложную структуру, то его можно представить в виде совокупности производственных процессов, каждый из которых потребляет некоторые ресурсы (возможно, произведенные другими процессами) и производит другие ресурсы (которые могут потребляться другими процессами).

Процесс производства может быть представлен в виде ориентированного графа с помеченными дугами, где вершинам соответствуют производственные процессы, а дуги отражают перемещение ресурсов (с каждой дугой связан вид перемещаемого ресурса и его количество). Для замыкания графа необходимо ввести дополнительные вершины, которые обеспечивают движение внешних по отношению к производству ресурсов (закупки сырья, сбыт готовой продукции, утилизация отходов). Для обозначения вершин графа (производственных процессов и дополнительных вершин) будем использовать термин *блок*, а для обозначения дуги – *поток материала*, при этом к *материалам* относятся сырье, полуфабрикаты и готовая продукция. Часть модели затрат, которая описывает только движение материалов, называется *моделью движения материалов* (модель в целом должна учитывать использование рабочей силы, оборудования, различных дополнительных ресурсов).

Удобным способом представления модели движения материалов является двудольный граф

$$G = (M, B, E), \quad (1)$$

где  $M$  — вершины первой доли, соответствующие материалам;  $B$  — вершины второй доли, соответствующие блокам;  $E$  — дуги, соответствующие потокам. Дуга  $s(a, x)$  обозначает тот факт, что блок  $a$  производит материал  $x$  в количестве  $s$ , а дуга  $t(y, b)$  обозначает, что блок  $b$  потребляет материал  $y$  в количестве  $t$  (здесь  $a, b \in B$ ,  $x, y \in M$ ).

Связь вершины-блока с вершинами-материалами в общем случае означает, что на вход блока поступают материалы в количествах  $s_i (i=1, 2, \dots, m)$ , которые преобразуются блоком в материалы в количествах  $s_{m+j} (j=1, 2, \dots, n)$ .

Производственная активность блока характеризуется величинами  $s_i$ . Однако, принимая допущения о линейной зависимости потребления и производства материалов блоком, можно ввести понятие *обобщенного потока*  $\lambda$  и потребовать, чтобы величины всех потоков, инцидентных блоку, были пропорциональны величине обобщенного потока. Величина обобщенного потока будет являться в этом случае единственной характеристикой производственной активности блока.

Таким образом, для величины  $s_i$  произвольного потока, входящего или выходящего из блока, справедливо условие

$$s_i = \pi_i \lambda, \tag{2}$$

где  $\pi_i$  — коэффициент пропорциональности,  $\lambda$  — величина обобщенного потока через блок.

Могут существовать блоки, имеющие только входные или только выходные материальные потоки. На практике таким блокам будут соответствовать приобретение сырья и материалов, сбыт готовой продукции, утилизация отходов. В дальнейшем в зависимости от направления движения материального потока такие блоки будут называться источниками или стоками.

Когда речь идет о внешних закупках и сбыте, то обычно считается, что закупки или сбыт различных материалов независимы друг от друга. Таким образом, блок, соответствующий источнику или стоку, может иметь не более одного инцидентного ему материального потока. Однако каждый источник или сток имеет дополнительный инцидентный поток финансовых средств, которые связаны с получением или сбытом материала.

Технологические характеристики некоторого блока могут быть представлены в виде нормативных значений проходящих через блок потоков, что соответствует некоторой нормативной величине обобщенного потока:

$$\tilde{s}_i = \pi_i \tilde{\lambda}. \tag{3}$$

Нормативные значения обобщенных потоков могут выбираться произвольно, в частности, можно считать  $\tilde{\lambda} = 1$ . При этом нормативные соотношения модели будут иметь вид

$$s_i = \tilde{s}_i \lambda. \tag{4}$$

Другого рода соотношения, которые следуют из модели движения материалов, — уравнения материального баланса. Эти уравнения отражают тот факт, что весь произведенный материал должен быть потреблен. С учетом (4) уравнение баланса для некоторого материала имеет вид

$$\sum_{i=1}^m \tilde{s}_i \lambda_i = \sum_{j=1}^n \tilde{s}_{m+j} \lambda_{m+j}. \tag{5}$$

В данном случае  $\tilde{s}_i$  выражает нормативное количество данного материала, производимого  $i$ -м блоком;  $\lambda_i$  — величина обобщенного потока для  $i$ -го блока.

Соотношения (4) и (5) для каждого блока и каждого материала образуют множество *структурных ограничений* модели, которые определяют потенциальные технологически допустимые возможности производства. В конкретных условиях могут возникать дополнительные ограничения, связанные с возможностями сбыта, поставками сырья, хранением запасов, утилизацией отходов и т. п. Иными словами, ограничения на объемы производства и потребления материалов, вызванные внешними к производству причинами. Эти ограничения имеют вид

$$\bar{x} = v \text{ или } l \leq \bar{x} \leq u, \tag{6}$$

где  $\bar{x}$  — общее количество некоторого материала  $x \in M$ . При этом, исходя из (5), общее количество определяется как

$$\bar{x} = \sum_{i=1}^m \tilde{s}_i \lambda_i = \sum_{j=1}^n \tilde{s}_{m+j} \lambda_{m+j}. \quad (7)$$

Дополнительно можно ввести ограничения на структуру производства материала, указав, в какой пропорции материал производится или потребляется блоками. Эти ограничения могут быть как абсолютными, так и относительными. Абсолютные ограничения на материальные потоки аналогичны (6):

$$\tilde{s}_i \lambda_i = v_i \quad \text{или} \quad l_i \leq \tilde{s}_i \lambda_i \leq u_i. \quad (8)$$

Относительные ограничения на потоки выражают количество производимого блоком материала как долю от общего количества данного материала:

$$\frac{\tilde{s}_i \lambda_i}{\bar{x}} = v_i \quad \text{или} \quad l_i \leq \frac{\tilde{s}_i \lambda_i}{\bar{x}} \leq u_i. \quad (9)$$

Выражения (6)–(9) составляют множество *директивных ограничений* модели.

Структурные и директивные ограничения образуют систему линейных ограничений, которые могут быть положены в основу решения различных расчетных или оптимизационных задач.

#### **Список литературы**

1. *Voss S., Woodruff D. L.* Introduction to computational optimization models for production planning.– Springer, New York, 2006.
2. *Первозванский А. А.* Математические модели в управлении производством.– М.: Наука, 1975.
3. *Pochet Y., Wolsey L. A.* Production planning by mixed integer programming.– Springer, New York, 2006.
4. *Новицкий Н. И., Паушто В. П.* Организация, планирование и управление производством.– М.: Финансы и статистика, 2008.

05.13.19

**Я.И. Фальконе, Г.П. Жигулин к.т.н.**

Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий механики и оптики

Санкт-Петербург, slava.falcone@gmail.com, ikvo@grv.ifmo.ru

## **АНАЛИЗ МЕТОДОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ УГРОЗ В СОЦИАЛЬНЫХ СЕТЯХ**

**DOI:10.24153/2079-5920-2017-7-2-125-127**

*В настоящее время существует множество различных социальных сетей, количество которых постоянно увеличивается. Одновременно наблюдается увеличение числа информационных угроз в социальных сетях. В этой статье поставлена цель рассмотреть существующие методы моделирования распространения информационных угроз в социальных сетях, выявить их достоинства и недостатки.*

Ключевые слова: *Социальные сети, информационная безопасность, математическое моделирование.*

### **Введение**

С каждым днем социальные сети оказывают все большее влияние на общественное мнение о различных событиях, компаниях, политических деятелях, государственных органах, услугах и т.д. Вместе с этим наблюдается стремительный рост агрессивного информационного воздействия на пользователей и увеличение числа информационных угроз в социальных сетях. При этом, в отличие от зарегистрированных средств массовой информации, в предлагаемых форматах социальных медиа в большинстве случаев отсутствует цензура, любая запись, комментарий или сообщение, как позитивного, так и негативного содержания может быть мгновенно распространены. Количество социальных медиа, в которых публикуется деструктивная информация постоянно увеличивается. В связи с этим возникает необходимость в мониторинге и прогнозировании распространения информационных угроз в социальных сетях для своевременного принятия решений и нейтрализации угроз.

### **Анализ методов моделирования распространения информационных угроз в социальных сетях**

Информационная угроза – совокупность условий и факторов, создающих потенциальную или реально существующую опасность нарушения безопасности информации [1].

Под социальной сетью понимается структура, состоящая из набора узлов, пользователей, групп или сообществ и социальных взаимодействий, связей между ними.

В основе методов прогнозирования информационных угроз может быть положен полиморфизм. Некоторые авторы [2-4] адаптируют биологические модели для моделирования процесса распространения компьютерных вирусов или информационных угроз в социальных сетях.

Математические модели, использующие биологические подходы для описания процесса распространения вирусов, опираются на дифференциальные уравнения, и представление эпидемического процесса как изменение численности объектов, находящихся в одном из нескольких дискретных состояний.

### **Математическая модель SI (Susceptible-Infected)**

Одним из примеров является математическая модель SI (Susceptible-Infected), которая характеризуется наличием двух состояний объектов: зараженные (I) и не зараженные (S) [5].

Обобщенная структура социальной сети на основе модели SI может быть представлена с помощью выражения:

$$N = S(t) + I(t);$$

где (в интерпретации данной модели для применения к распространению информационных угроз в социальных сетях):  $N$  – общее количество пользователей в социальной сети;  $S(t)$  – количество пользователей, не получивших деструктивную информацию;  $I(t)$  – количество пользователей, которые позитивно восприняли деструктивную информацию и могут поделиться данной информацией в социальной сети с другими пользователями [4].

В данной модели не учитывается тот факт, что определенное количество ранее не проинформированных пользователей  $S(t)$  окажутся невосприимчивыми к деструктивной информации. В этом случае, с учетом невосприимчивости пользователя модель SI преобразуется в модель SIR (SI-Recovered).

#### **Математическая модель SIR (Susceptible-Infected-Recovered)**

Математическая модель SIR имеет три типа состояний объекта: зараженные (I), не зараженные (S) и вылеченные объекты, обладающие иммунитетом (R) [3].

Обобщенная структура социальной сети на основе модели SIR может быть представлена с помощью выражения:

$$N = S(t) + I(t) + R(t);$$

где (в интерпретации данной модели для применения к распространению информационных угроз в социальных сетях):  $N$  – общее количество пользователей в социальной сети;  $S(t)$  – количество восприимчивых пользователей;  $I(t)$  – количество пользователей, которые позитивно восприняли информационную угрозу и поспособствовали ее распространению в социальной сети;  $R(t)$  – количество пользователей, которые более не подвержены негативному информационному воздействию.

Ряд авторов [4] указывает, что

$$N = \text{Const} = S(t) + I(t) + R(t);$$

Данное утверждение верно, если действие (информирование) происходит в момент времени, однако, если информирование происходит в промежуток времени, то будет наблюдаться как прирост числа  $N$  за счет новых пользователей, так и уменьшение  $N$  за счет, например, блокировки или удаления аккаунтов.

В данной модели, перед тем, как стать невосприимчивым к деструктивной информации  $R(t)$ , пользователь должен был быть сначала восприимчивым  $S(t)$  и позитивно воспринимать деструктивную информацию («инфицирован»), а затем получить опровержение данной информации и стать невосприимчивым  $R(t)$ . Недостаток данной модели – пользователь может быть изначально невосприимчив к деструктивной информации. Кроме того, в данной модели игнорируется тот факт, что в будущем объект снова сможет перейти в состояние восприимчивости.

#### **Математическая модель SIRS (Susceptible-Infected-Recovered-Susceptible)**

Одним из недостатков модели SIR является пренебрежение тем фактом, что ранее невосприимчивые пользователи могут в будущем стать восприимчивыми к деструктивной информации. Данный недостаток устраняется путем преобразования модели SIR в модель SIRS (SIR-Susceptible), в которой ранее невосприимчивый пользователь становится восприимчивым через некоторое время и может стать одним из источников распространения информационной угрозы. Введение дополнительного типа объекта управления и учет возможных дискретных состояний, позволяет повысить также точность математической модели, однако, в реальных условиях существует необходимость идентификации пользователя и определение его текущего состояния, на которое может быть потрачено определенное время. Кроме того, даже после идентификации потенциальной информационной угрозы, средства информационной борьбы могут начать работать не сразу, а через определенной промежуток времени. Данные факторы в модели SIRS не учитываются, что снижает область применения модели. Достоинством данной модели является простота реализации, однако в реальных условиях информационного противоборства применение модели SIRS ограничено.

### Заключение

Использование биологических подходов в математических моделях, описывающих процесс распространения информации, позволяет выявить характерные особенности и получить математическую оценку скорости распространения. Модели SIR и SIRS наиболее точно описывают процесс распространения угроз.

Анализ существующих методов моделирования распространения информационных угроз показал ряд ключевых недостатков, связанных с пренебрежением учета особенностей функционирования социальных сетей:

- В существующих математических моделях, для упрощения расчетов, игнорируется тот факт, что определенный пользователь или группа пользователей могут быть изначально невосприимчивы к деструктивной информации;
- В реальных условиях существует необходимость идентификации пользователя и определение его текущего состояния, на которое может быть потрачено определенное время;
- После идентификации потенциальной информационной угрозы, средства информационной борьбы могут начать работать только через определенную промежуток времени. Данный факт не учитывается в рассмотренных методах моделирования распространения информационных угроз.

### Список литературы

1. ГОСТ Р 50922-2006;
2. Rohloff K. Stochastic Behavior of Random Constant Scanning Worms / K. Rohloff , T. Basar // Computer Communications and Networks, 2005. ICCCN 2005. – Proceedings. 14th International Conference on 17-19 Oct. 2005, – P. 339 – 344.
3. Jeffrey O. Directed-Graph Epidemiological Model of Computer Viruses / O. Jeffrey Kephart, R. Steve White // IEEE Symposium on Security and Privacy, 1991. – P. 343.
4. Д.А. Губанов, Д.А. Новиков, А.Г. Чхартишвили, “Модели информационного влияния и информационного управления в социальных сетях”, Пробл. управл., 2009, № 5, 28–35
5. BAILEY N. The Mathematical Theory of Infectious Diseases and Its Applications. – New York: Hafner Press, 1975.

05.13.19

**М.Б. Шевырев, Е.Г. Шевырева**

Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, кафедра мониторинга и прогнозирования информационных угроз, Санкт-Петербург, shevyrev.m@ya.ru

### **ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ УГРОЗ БЕЗОПАСНОСТИ ПЕРСОНАЛЬНЫХ ДАННЫХ МЕТОДОМ ВВЕДЕНИЯ ВЕСОВЫХ КОЭФФИЦИЕНТОВ**

**DOI:10.24153/2079-5920-2017-7-2-128-131**

*В данной работе описан процесс корректировки методики оценки угроз информационной безопасности за счет введения весовых коэффициентов, как количественной оценки ряда параметров. Приводится комплексный и универсальный подход оценки угроз.*

Ключевые слова: *безопасность персональных данных, моделирование угроз, экспертная оценка, метод введения весовых коэффициентов.*

Сегодня, в информационный век, особенно важной задачей является задача обеспечения информационной безопасности. Сложно представить себе, в какой отрасли она не имеет применения. В виду повышения значимости информации, повышается и ее ценность для государства, бизнеса, личности. Появляется возможность выгодоприобретения за счет операций с информацией, в том числе и неправомерных. Поэтому вместе с развитием информационных технологий развиваются и способы неправомерного получения информации или воздействия на нее, а значит постоянно растет и количество угроз безопасности информации (т.е. ее конфиденциальности, целостности, доступности). Это регулярно подтверждают результаты исследований [1]. Но злоумышленники не являются единственными источниками угроз. Угрозы безопасности информации также существуют по множеству других факторов и обстоятельств. Важным направлением, деятельности по защите информации является оценка этих самых угроз, позволяющая определить необходимость принятия тех или иных защитных мер и ранжировать их.

Так, например, одним из видов информации ограниченного доступа в Российской Федерации, подлежащей защите, и, следовательно, попадающей в область деятельности по обеспечению информационной безопасности, является информация, относящаяся к прямо или косвенно определенным, или определяемым физическим лицам – персональные данные.

В данной статье рассматривается проект документа ФСЭЖ России – методика определения угроз безопасности информации в информационных системах. В частном случае, цель применения методики – ранжирование и определение перечня актуальных угроз безопасности персональных данных при их обработке в информационных системах персональных данных. Данная оценка происходит, в основном, с применением экспертного метода, при непосредственной оценке некоторым количеством экспертов. При этом, угрозы оцениваются комплексно, вне зависимости от их этимологии.

В соответствии с данной методикой каждая угроза описывается следующим образом (1):

$$\text{УБИ}_j = [\text{Н}; \text{У}; \text{С}; \text{О}; \text{П}] \quad (1)$$

Где:

Н – нарушитель или источник угрозы;

У – уязвимости;

С – способы реализации угрозы;

О – объекты воздействия;

П – последствия от реализации угрозы.

При определении угрозы, как актуальной, данная угроза подлежит блокированию или нейтрализации.

Актуальность уразы определяется исходя из показателей возможности реализации угрозы и степени ущерба [2], который может быть причинен в результате ее реализации. Эти характеристики в свою очередь определяются на основании показателей исходной защищенности объекта информатизации и оценки потенциала нарушителя, а степень ущерба на основании последовательных предположений о последствиях нарушений каждого из свойств безопасности персональных данных, по ряду критериев, отраженных в табличной форме.

Стоит отметить, что данная методика носит аналитический характер, оценка производится экспертами на основе статистических и табличных данных. Данный подход не имеет в своем основании математического аппарата, необходимого для осуществления более точных расчетов, в сравнении с другими системными методами [3].

Если предположить, что оценка экспертной группой будет проводиться в несколько раундов или этапов, и в каждом будут оцениваться показатели, характеризующие нарушителей или источники, уязвимости, способы реализации, объект воздействия и последствия реализации угрозы, то актуальность  $j$ -той угрозы может рассчитываться следующим образом (4):

$$УБИ_j = A_j = \sum_{i=0}^n \frac{N^{ij} + M^{ij} + S^{ij} + B^{ij} + O^{ij}}{n} \quad (4)$$

В данном случае:

$A_j - j$  – ая угроза информационной безопасности;

$i$  – итерация экспертной оценки характеристик угроз;

$N^{ij}$  – коэффициент характеризующий нарушителя или источник угрозы;

$M^{ij}$  – коэффициент уязвимости;

$S^{ij}$  – коэффициент – характеристика способов реализации угрозы;

$B^{ij}$  – коэффициент – характеристика объекта воздействия;

$O^{ij}$  – коэффициент последствий от реализации угрозы.

Значения данных коэффициентов должны быть определены с учетом веса, который может быть установлен при оценке расчёта экспертами. Весом коэффициента является дополнительный параметр, характеризующий значимость коэффициента в результирующем расчете. Для характеристики нарушителя, он может быть определен, как (5):

$$N^j = \begin{cases} N^j * 1, & \text{в случае наличия нарушителя или источника угрозы;} \\ N^j * 0,7, & \text{в случае отсутствия возможности проведения оценки;} \\ N^j * 0, & \text{в случае отсутствия нарушителя или источника угрозы;} \end{cases} \quad (5)$$

Характеристика объекта воздействия, то есть коэффициент  $B^j$  должен быть дополнен весовым значением в зависимости от объекта воздействия. Данная зависимость может быть представлена таким образом: (8)

$$B^j = \begin{cases} B^j * 1, & \text{при реализации четырех воздействий;} \\ B^j * 0,8, & \text{при реализации трех воздействий;} \\ B^j * 0,6, & \text{при реализации двух воздействий;} \\ B^j * 0,3, & \text{при реализации одного воздействия;} \\ B^j * 0,1, & \text{в случае крайне малой вероятности} \\ & \text{реализации любого воздействия;} \end{cases} \quad (8)$$

Объекты воздействия при этом определены, как указано на Рисунке 1.

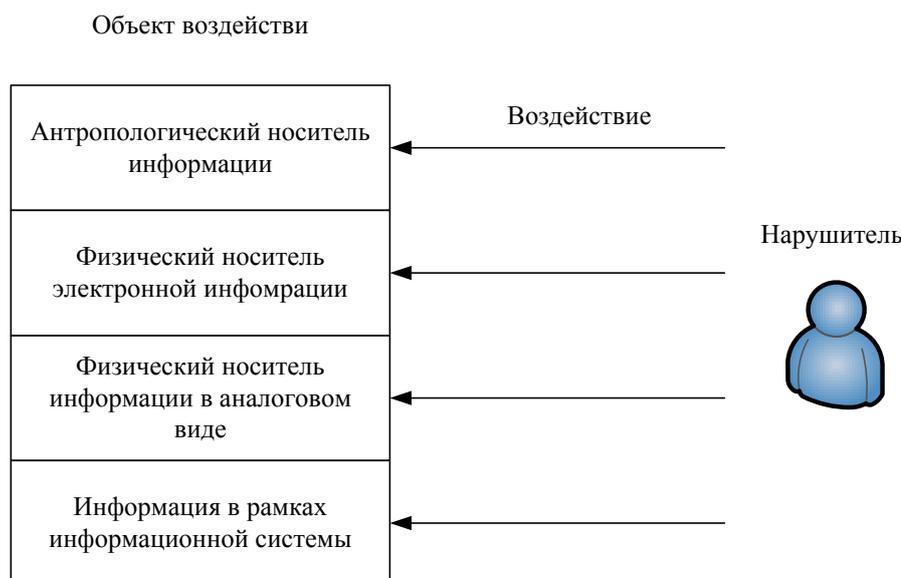


Рис. 1 - Объекты воздействия

Схожим образом оцениваются и остальные характеристики. Также опираясь на результаты исследований, предполагается, что точность экспертной оценки и эффективность моделирования в целом можно повысить путем введения весовых коэффициентов. Тогда результирующая формула расчета суммарного значения показателей актуальности угроз информационной безопасности, полученных в результате экспертной оценки проводимой экспертной группой в несколько раундов с учетом весовых поправок может выглядеть следующим образом: (10)

$$A_j = \sum_{i=0}^n \frac{\delta^{N^j} \cdot N^{ij} + \delta^{M^j} \cdot M^j + \delta^{S^j} \cdot S^{ij} + \delta^{B^j} \cdot B^{ij} + \delta^{O^j} \cdot O^{ij}}{n} \quad (10)$$

Где:

$\delta^{N^j}$  - весовая поправка  $N^j$ , то есть коэффициента характеризующего нарушителя или источник угрозы;

$\delta^{M^j}$  - весовая поправка  $M^j$ , то есть коэффициента уязвимости;

$\delta^{S^j}$  - весовая поправка  $S^j$ , то есть коэффициента – характеристики описания угрозы;

$\delta^{B^j}$  - весовая поправка  $B^j$ , то есть коэффициента – характеристики объекта воздействия;

$\delta^{O^j}$  - весовая поправка  $O^j$ , то есть коэффициента – характеристики последствий воздействия;

Оценка актуальности угрозы в соответствии с рассчитанным результирующим показателем может быть произведена так:

$A_j \in [0; 0,3)$  – угроза признается неактуальной;

$A_j \in [0,3; 0,6)$  – для определения актуальности угроз допускается оценка дополнительных факторов членами экспертной группы;

$A_j \geq 0,6$  – угроза признается актуальной.

В рамках данной статьи был рассмотрен вариант расширения или корректировки методики, предлагаемой в форме проекта руководящего документа ФСТЭК России, в качестве базовой при определении актуальных угроз безопасности персональных данных, обрабатываемых в информационных системах персональных данных. Аппробация данного метода и его дальнейшая конфигурация для повышения эффективности, а также адаптация и расширения для применения в рамках более узко поставленных задач, например, в конкретных отраслях, задающих специфику модели нарушителя, может быть интересом дальнейших исследований в данной области. Проведение корректировки методики имеет универсальный вид, который позволит применять ее для оценки угроз безопасности

различных видов информации ограниченного доступа. Предложенный подход основан на применении четких количественных критериев оценки, что значительно облегчает работу экспертной комиссии и повышает точность полученных оценок. При этом, базовую важность в расчете имеет правильность выбора коэффициентов.

#### ***Список литературы***

1. Глобальное исследование утечек конфиденциальной информации в I полугодии 2016 года // Аналитический центр infowatch URL: [http://www.infowatch.ru/report2016\\_half](http://www.infowatch.ru/report2016_half) (дата обращения: 20.03.2017).
2. Методический документ "Методика определения угроз безопасности информации в информационных системах" проект // Официальный сайт ФСТЭК России URL: <http://fstec.ru/component/attachments/download/812> (дата обращения: 20.03.2017).
3. *Домарев В.В.* «Безопасность информационных технологий. Методы создания систем защиты», Киев: ООО ТИД ДС, 2001.
4. *А.О. Киселевич, Е.А. Хлюпина, Г.П. Жигулин* «Определение ключевых параметров при построении апостериорной модели угроз безопасности информации»: Научно-технический вестник Поволжья №2, 2015, с - 134-137.

05.13.01

**О.В. Щекочихин, В.В. Шведенко, Д.Н. Тимофеев**

Костромской государственной университет,  
институт физико-математических и естественных наук, кафедра защиты информации,  
Кострома, slim700@yandex.ru

### **СНИЖЕНИЕ СЛОЖНОСТИ ЭКСПЕРТНОЙ ОЦЕНКИ АЛЬТЕРНАТИВ В МЕТОДЕ АНАЛИЗА ИЕРАРХИЙ**

**DOI:10.24153/2079-5920-2017-7-2-132-134**

*Обозначена проблема и показан вариант снижения сложности экспертной оценки в методе анализа иерархий. Предложен алгоритм выбора попарных сравнений, который обеспечивает поиск альтернативы и проверку ответов эксперта на согласованность.*

Ключевые слова: *метод анализа иерархий, снижение сложности системы, выбор альтернативы.*

При разрешении проблемных ситуаций, которые возникают в сложных материальных системах часто возникает необходимость экспертной оценки и поиск выхода из проблемной ситуации с минимальными издержками. Известные методы принятия управленческих решений связаны с проведением экспертизы и выборе на её основе альтернатив. Среди них можно выделить такие как: метод принятия решений на базе нечеткой логики, метод анализа иерархий (МАИ), метод замкнутых процедур у опорных ситуаций (ЗАПРОС), метод парной компенсации (ПАРК), метод ординальной классификации (ОРКЛАСС) и др. [1] Поскольку большинство методов принятия решений в условиях неопределенности основаны на бинарных отношениях, сложность экспертной оценки определяется количеством входных показателей, альтернатив и экспертов [2,3]. Наиболее распространенным методом является МАИ, основными этапами которого являются:

- построение иерархии рассматриваемой проблемы;
- парное сравнение компонентов иерархии;
- математическая обработка полученных суждений [4,5].

При его практическом применении используется трехуровневая доминантная иерархическая структура, где на верхнем уровне находится цель, на промежуточном уровне – показателя, на нижнем уровне – альтернативы. Парное сравнение компонентов иерархии включает в себя два этапа: ранжирование показателей, сравнение альтернатив отдельно по каждому показателю.

Для ранжирования показателей максимальное количество попарных сравнений предлагаемых эксперту определяется по формуле

$$\frac{n(n-1)}{2}, \text{ где } n - \text{ количество показателей}$$

Далее по каждому показателю проводится попарное сравнение альтернатив, количество которых определяется по формуле:

$$\frac{nm(m-1)}{2}, \text{ где } m - \text{ количество альтернатив.}$$

Следовательно, общее количество попарных сравнений, которые оценивает каждый эксперт равно:

$$\frac{n(n-1)}{2} + \frac{nm(m-1)}{2}$$

Целью настоящей статьи является совершенствование метода анализа иерархий в аспекте исключения попарных сравнений, которые не повлияют на выбор альтернативы.

Избыточность попарных сравнений можно оценить по значению энтропии системы.

Каждый ответ эксперта сообщает некоторый объем информации о состоянии системы и изменяет её энтропию. На этом основании можно оценить минимальное значение энтропии и минимальное количество вопросов для выбора альтернативы при условии согласованности ответов эксперта.

Пусть в системе имеется  $n$  показателей и  $m$  альтернатив. Следовательно, на этапе ранжирования показателей возможно  $n!$  возможных исходов, энтропия этого этапа равна:

$$H(\beta) = \log(n!)$$

Ранжирование показателей  $A_k = \alpha_1 \alpha_2 \dots \alpha_k$  состоит в том, что система задает эксперту  $k$  вопросов. Ответ эксперта представляет собой попарное сравнение показателей  $P_l, P_r$  по шкале из  $q$  состояний, где  $l, r$  – номера показателей. Попарное сравнение является доминантным, следовательно,  $H(\alpha_j) \leq \log 2$  бит, где  $j$  – номер попарного сравнения. С другой стороны, по свойству энтропии:

$$H(A_k) = H(\alpha_1 \alpha_2 \dots \alpha_k) \leq H(\alpha_1) + H(\alpha_2) + \dots + H(\alpha_k) \leq k \text{ и } \log(n!) \leq I(A_k) \leq k$$

Получили, что  $k \geq \log(n!)$ , где  $k, n \in N$ .

Минимальное количество попарных сравнений, которые выполняет эксперт равно  $\log(n!) + n \log(m!)$ , где  $n, m \in N$

В таблице приведено общее количество попарных сравнений, предлагаемых эксперту в классическом варианте для выбора альтернативы и минимальное количество попарных сравнений, которое может привести к такому же результату.

Таблица - Количество попарных сравнений при использовании метода анализа иерархий

Количество альтернатив (m)	Количество показателей (n)								
	2	3	5	7	10	15	20	30	50
2	3	6	15	28	55	120	210	465	1275
	3	6	12	20	32	56	82	138	265
3	7	12	25	42	75	150	250	525	1375
	7	12	22	34	52	86	122	198	365
4	13	21	40	63	105	195	310	615	1525
	11	18	32	40	72	116	162	258	465
5	21	33	60	91	145	255	390	735	1725
	15	24	42	62	92	146	202	318	565

Для представления системы экспертной оценки вводится три графа:

$G_1$  – полносвязный граф, отражающий все возможные попарные сравнения для оценки альтернатив;

$G_2$  – отражает минимальную траекторию поиска альтернативы;

$G_3$  – граф избыточности, в нем отражаются избыточные траектории, которые можно использовать для проверки согласованности ответов эксперта.

Количество связей в графе  $G_3$  вычисляется следующим образом:

$$\frac{n(n-1)}{2} - \log(n!).$$

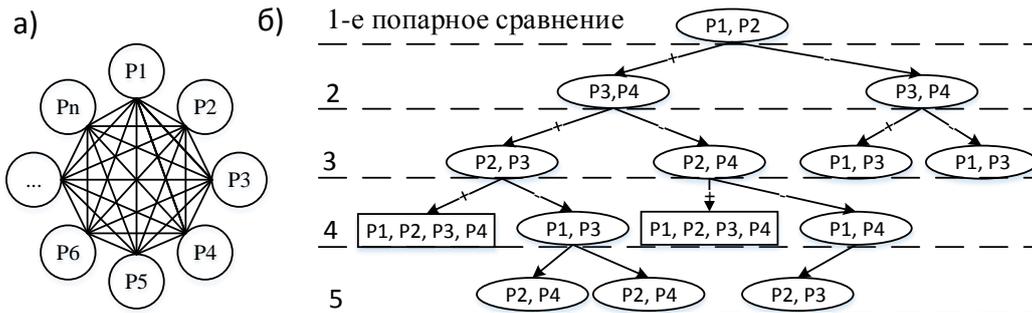


Рис. Графы попарных сравнений: а) полносвязный граф  $G_1$ ;  $n$  – количество показателей б) фрагмент графа  $G_2$  для четырех показателей

При использовании минимального количества попарных сравнений граф является иерархическим и содержит кратчайшую траекторию экспертизы. Таких траекторий может быть несколько. Можно задать правило формирования минимальной траектории экспертизы, например, используя метод планирования эксперимента.

Полносвязный граф дает все возможные варианты попарных сравнений. Исключив из этого графа минимальную траекторию экспертизы, получаем граф, в котором содержатся попарные сравнения, не участвовавшие в минимальной траектории экспертизы и являются избыточными. На основании этого графа эксперту можно предлагать дополнительные попарные сравнения для проверки согласованности его ответов. Можно включить режим выбора вопросов случайным образом либо по заранее определенному правилу. При чем одна траектория предъявления попарных сравнений участвует в экспертизе однократно.

Таким образом процесс проведения экспертизы разделяется на две части – минимальная траектория экспертизы и дополнительная проверка согласованности ответов эксперта по заданному условию.

На основе предложенных теоретических положений предложен алгоритм выбора попарных сравнений, который состоит из следующих шагов:

Шаг 1. В начале работы эксперту предлагаются вопросы из графа  $G_1$  в соответствии с минимальной траекторией экспертизы.

Шаг 2. Проводится расчет альтернативы, аналогично тому как это делается в классическом варианте МАИ.

Шаг 3. Если в результате экспертизы получаются альтернативы с разбросом меньше заданного порога, то из графа  $G_3$  выбираются дополнительные попарные сравнения до тех пор, пока не выявится преимущество одной из альтернатив. Лидирующая альтернатива должна опережать ближайшую на величину заданного порога.

Шаг 4. Точкой выхода из алгоритма является достижение указанного критерия или отработка всех возможных вариантов попарных сравнений.

Таким образом предложено математическое обоснование уменьшения количества попарных сравнений в методе анализа иерархий. Полученное решение дает ответ на вопрос о возможности получения согласованного выбора эксперта без указания порядка предъявления попарных сравнений. Предложен обобщенный алгоритм выбора попарных сравнений, обеспечивающий поиск альтернативы и проверку ответов эксперта на согласованность. Критерии выбора минимальной траектории экспертизы и дополнительных вопросов могут корректироваться самими экспертами.

### **Список литературы**

1. Блюмин С.Л., Шуйкова И.А. Модели методы принятия решений в условиях неопределенности [текст] – Липецк. ЛЭГИ, 2001. – с. 60.
2. Огурцов А.Н., Староверова Н.А. Алгоритм повышения согласованности экспертных оценок в методе анализа иерархий [текст] // Вестник ивановского государственного энергетического университета, 2013. - № 5. – с. 81-84.
3. Коробов В.Б., Тутыгин А.Г. Преимущества и недостатки метода анализа иерархий [текст] // Известия российского государственного педагогического университета им. А.И. Герцена. 2010. - № 122. с. 108-115.
4. Волокобинский М.Ю., Пекарская О.А., Рази Д.А. Принятие решений на основе метода анализа иерархий [текст] // Вестник Финансового университета - № 2. С-Пб – 2016. с. 33-42.
5. Гинзбург А.В., Скиба А.А. Применение метода нечеткой логики для решения проблем связанных с формированием градостроительной политики и развитием территориального планирования [текст] // Научно-технический вестник Поволжья, 2013. – № 6. – с. 223-225.

АННОТАЦИИ  
ABSTRACTS

А.Г. Мясников

О КОМПОНЕНТАХ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ АМЕНАБЕЛЬНОСТИ  
В  $L^1(G)$ -МОДУЛЯХ

*Ключевые слова:*  $C^*$ -алгебра, инвариантное среднее, компонента относительной аменабельности, локально компактная группа,  $L^1(G)$ -модуль.

*Рассматривается теория аменабельности применительно к банаховым  $L^1(G)$ -модулям. Вводится понятие компоненты относительной аменабельности, рассматривается связь с компонентами аменабельности и инвариантными средними. Указана возможность приложений к  $C^*$ -алгебрам.*

A.G. Myasnikov

ON RELATIVE AMENABILITY COMPONENTS IN  
 $L^1(G)$ -MODULES

*Keywords:*  $C^*$ -algebra, invariant mean, relative amenability component, locally compact group,  $L^1(G)$ -module.

*Amenability theory for Banach  $L^1(G)$ -modules is considered. The notion of relative amenability component is introduced, its connection with amenability components and invariant means is studied. The applications to  $C^*$ -algebras are presented.*

А.Ю. Барыкин, Р.Р. Басыров, М.М. Мухаметдинов  
ОСНОВНЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ  
ТРЕБОВАНИЙ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ  
ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

*Ключевые слова:* экологическая безопасность, автомобиль, вредные вещества, современные требования.

*В работе представлены результаты изучения требований по экологической безопасности транспортных средств. Обоснованы основные направления мероприятий по снижению выбросов вредных веществ автомобилями, позволяющих соответствовать нормативам экологических показателей энергетических установок транспортного назначения.*

A.Yu. Barykin, R.R. Basyrov, M.M. Mukhametdinov  
KEY EVENTS FOR THE REQUIREMENTS OF  
ENVIRONMENTAL PERFORMANCE VEHICLES

*Keywords:* ecological safety, car, harmful substances, the modern requirements.

*In work presents the results of a study of requirements for environmental safety of vehicles. The basic directions of activities to reduce emissions in cars, allowing comply with the standards of environmental performance of power plants transport purposes.*

А.П. Буйносов

БЕСКОНТАКТНОЕ ИЗМЕРЕНИЕ БАНДАЖЕЙ КОЛЕСНЫХ  
ПАР ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

*Ключевые слова:* железнодорожный транспорт, подвижной состав, движение, колесная пара, бандаж, измерение, бесконтактное, структура.

*В статье представлена структура бесконтактного измерения параметров бандажей колесных пар подвижного состава, как часть системы контроля колесных пар, созданной УрГУПС в рамках отраслевой комплексной автоматизированной системы управления железнодорожным транспортом.*

A.P. Buinosov

CONTACTLESS MEASUREMENT OF BANDAGES OF  
WHEELPAIRS OF THE ROLLING STOCK

*Keywords:* railway transport, rolling stock, movement, wheelpair, bandage, measurement, contactless, structure. The structure of contactless measurement of parameters of bandages of wheelpairs of the rolling stock as part of the control system of wheelpairs created by URGUPS within a branch complex automated control system for railway transport is presented in article.

Н.С. Галимов, Р.Т. Насибуллин, Л.Р. Саримов, А.Н. Сущикова  
ВОЗМОЖНОСТИ МОДУЛЬНОЙ КОНСТРУКЦИИ  
АЭРОЭЛЕКТРОГЕНЕРАТОРНЫХ УСТАНОВОК ДЛЯ  
АВТОРЕФРИЖЕРАТОРОВ

*Ключевые слова:* авторефрижератор, аэроэлектрогенератор, модульный генератор.

*В работе представлена разработка конструкции аэрогенераторной установки для авторефрижератора. Модульная конструкция аэроэлектрогенератора располагается по периметру корпуса авторефрижератора. Использование встречного потока воздуха для энергоснабжения рефрижератора позволяет экономить топливо.*

N.S. Galimov, R.T. Nasibullin, L.R. Sarimov, A.N. Sushchikova

THE POSSIBILITY OF MODULAR CONSTRUCTION  
OF AERO-ELECTRIC GENERATOR FOR  
REFRIGERATOR TRUCK

*Keywords:* refrigerator truck, aero-electric generator, modular generator.

*This paper presents the designing of aero-electric generator for refrigerator truck. Modular construction of aero-electric generator is located on the perimeter of the refrigerator truck. Use of a counter flow of air for power supply of the refrigerator allows to save fuel.*

А.О. Карелин, Э.А. Петровский, В.Б. Ясинский  
ОЦЕНКА ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ КОНСТРУКЦИИ  
ФИЛЬТРОЭЛЕМЕНТА СКВАЖЕННЫХ ФИЛЬТРОВ ДЛЯ  
НЕФТЕДОБЫЧИ

*Ключевые слова:* фильтры скважинные, фильтроэлемент, тонкость фильтрации, технологичность конструкции, пористый фильтроэлемент.

*Для любой конструкции фильтров, существует набор свойств, многие из которых относятся непосредственно к конструкции фильтроэлемента, такие как тонкость фильтрации, коэффициент сепарации, регенерируемость, фильтруемость, грязеемкость, ресурс работы. Это позволяет подойти к решению вопросов, связанных с оценкой технологичности конструкции фильтров скважинных и выбора относительных показателей с учетом трудоемкости, стоимости и материалоемкости. В работе предлагаются фильтроэлементы из полимеров обеспечивающие высокую степень очистки от загрязнений.*

A.O. Karelin, E.A. Petrovskiy, V.B. Yasinskiy

ASSESSMENT OF TECHNOLOGICAL  
EFFECTIVENESS OF THE DESIGN OF THE FILTER  
ELEMENT OF BOREHOLE FILTERS FOR OIL  
PRODUCTION

*Keywords:* filters are borehole, a filter element, a filtration subtlety, technological effectiveness of a design, a porous filter element.

*For any design of filters, there is a set of properties, many of which treat directly a filter element design, such as filtration subtlety, separation coefficient, regenerated, filterability, contaminant capacity, work resource. It allows to approach the solution of the questions connected with an assessment of technological effectiveness of a design of filters borehole and the choice of relative indicators taking into account labor input, cost and a material capacity. In work filter elements from polymers the cleanings of pollution providing high degree are offered.*

И.И. Некрасов, А.П. Карамышев, А.А. Федулов,  
В.С. Паршин, А.И. Дронов, В.А. Хорев  
ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСИЛИЯ ОБРАТНОГО ХОДА ПУАНСОНА  
ПРИ НАРУЖНОЙ ВЫСАДКЕ КОНЦОВ НАСОСНО-  
КОМПРЕССОРНЫХ ТРУБ

*Ключевые слова:* насосно-компрессорные трубы, высадка, пуансон, усилие обратного хода, математическая модель.

*В статье представлены результаты по определению величины усилия обратного хода пуансона в процессе наружной высадки насосно-компрессорных труб в зависимости от времени выдержки пуансона в контакте с трубной заготовкой после окончания прямого хода. Проведен анализ полученных величин, а также даны рекомендации по уменьшению величины усилия обратного хода и повышению стойкости инструмента.*

И.Н. Сидоров, А.В. Горелов, Д.А. Булашов  
ВЫЧИСЛЕНИЕ И СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ  
КОЭФФИЦИЕНТОВ ЖЕСТКОСТИ ПЛАСТИНЧАТЫХ И  
МЕМБРАННЫХ СОЕДИНЕНИЙ МУФТ  
ГАЗОПЕРЕКАЧИВАЮЩИХ АГРЕГАТОВ

*Ключевые слова:* пластинчатые и мембранные соединения муфты, коэффициенты жесткости, метод конечных элементов, критические частоты роторной системы.

*В работе приводится методика расчета радиальной и изгибной жесткостей соединений муфты газоперекачивающих агрегатов в виде пакета упругих элементов, анализируется изменение жесткостей при варьировании состава пакетов, проводится сравнение коэффициентов жесткости пластинчатых и мембранных соединений по критерию близости критических частот роторной системы.*

А.Р. Фардеев, А.А. Фардеев, А.М. Абдуллина  
АНАЛИЗ СОВМЕСТНОЙ РАБОТЫ НАСОСА  
МАНИПУЛЯТОРА И ТРУБОПРОВОДА

*Ключевые слова:* гидроприводы манипулятора, рабочий объем насоса, потребный напор, характеристика насоса, рабочая точка.

*В статье рассмотрена работа насоса гидроприводов манипулятора с тремя поступательными степенями подвижности, используемого для переноса заготовок в технологическом процессековки или горячей штамповки. Рабочий объем насоса является переменным. Путем построения кривой потребного напора и характеристики насоса найдена рабочая точка. Исследованы различные положения этой точки при перемене режима работы манипулятора. Показано, что при этом происходит небольшое изменение давления в трубопроводе, а затем оно возвращается к прежнему значению.*

Н.Н. Беспалов, Ю.В. Горячкин, Д.В. Тундыков  
УСТРОЙСТВО ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВОЛЬТ-АМПЕРНОЙ  
ХАРАКТЕРИСТИКИ СИЛОВЫХ ДИОДОВ В СОСТОЯНИИ  
ВЫСОКОЙ ПРОВОДИМОСТИ

*Ключевые слова:* аппаратно-программный комплекс, диод, вольт-амперная характеристика, состояние высокой проводимости, управляемый источник тока.

*В статье рассматривается устройство для определения вольт-амперных характеристик и контроля параметров диодов в состоянии высокой проводимости. В устройстве применён импульсный метод формирования измерительного тока, что обеспечивает минимальный дополнительный перегрев структур диодов при испытании. Устройство разработано на базе отладочной платы NI Digital Electronics FPGA Board. Использовано специализированное программное обеспечение Xilinx WebPACK ISE и NI LabVIEW. Приведены результаты определения вольт-амперных характеристик некоторых типов диодов на основе кремния и карбида кремния.*

I.I. Nekrasov, A.P. Karamyshev, A.A. Fedulov,  
V.S. Parshin, A.I. Dronov, V.A. Khorev  
THE DEFINITION OF THE PLUNGER BACKSTROKE  
FORCE DURING THE OUTER UPSET PROCESS OF  
TUBING PIPES ENDS

*Keywords:* tubing pipes, the upset process, plunger, backstroke force, mathematical model.

*Results of the definition of the backstroke force value during the outer upset process of tubing pipes are presented in the article. During the definition different values of the holding period of the plunger in contact with the pipe after the end of direct stroke were considered. The analysis of the data obtained was conducted. The list of recommendations to decrease the backstroke force value and to increase the endurance of dies is given.*

I.N. Sidorov, A.V. Gorelov, D.A. Bulashov  
THE CALCULATION AND COMPARATIVE  
ANALYSIS COEFFICIENTS OF STIFFNESSES OF  
PLATE AND MEMBRANE CONNECTIONS OF  
COUPLINGS OF GAS-PUMPING UNITS

*Keywords:* plate and membrane coupling couplings, stiffness coefficients, finite element method, critical frequencies of the rotor system.

*The paper provides a procedure for calculating the radial and flexural stiffnesses of couplings of a coupling of gas-pumping aggregates in the form of a package of elastic elements, the variation of the stiffnesses with variation in the composition of the packets is analyzed, the stiffness coefficients of the plate and membrane compounds are compared by the criterion of closeness of the critical frequencies of the rotor system.*

A.R. Fardeyev, A.A. Fardeyev, A.M. Abdullina  
THE ANALYSIS OF THE COOPERATION OF PUMP  
MANIPULATOR AND THE PUMPLINE

*Keywords:* manipulator hydrodrives, the pump working volume, the required pressure, pump characteristic, operating point.

*The work of manipulator hydrodrives of the pump with the three progressive degrees of mobility, used for transition of workpieces in the technological process of forging and hot stamping is considered in the article. The pump working volume is variable. With the construction of the required pressure curve and the pump characteristic the operating point is found. Different positions of this point at the change of the manipulator work mode are researched. It is shown that at this a slight change in the pressure of the pipeline takes place and then it comes back to the previous mark.*

N.N. Bespalov, Y.V. Goryachkin, D.V. Tundykov  
DEVICE FOR DETERMINING THE VOLT-AMPPER  
CHARACTERISTICS OF POWER DIODES IN THE  
CONDITION OF HIGH CONDUCTIVITY

*Keywords:* hardware-software complex, diode, current-voltage characteristic, high conductivity state, controlled current source.

*The article considers a device for determining the current-voltage characteristics and controlling the parameters of diodes in a state of high conductivity. The device uses a pulse method of forming a measuring current, which provides a minimum additional overheating of the structures of the diodes during the test. The device is developed on the basis of the debug board NI Digital Electronics FPGA Board. The specialized software Xilinx WebPACK ISE and NI LabVIEW is used. The results of the determination of the current-voltage characteristics of some types of diodes based on silicon and silicon carbide are given.*

Н.Н. Беспалов, С.С. Капитонов, М.В. Ильин,  
А.В. Евишев, А.В. Зорькин

#### ВЫЯВЛЕНИЕ ИНФОРМАТИВНОГО ПАРАМЕТРА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОТЕНЦИАЛЬНО НЕНАДЁЖНОГО ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО ПРИБОРА В ГРУППОВОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЙ ЦЕПИ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ

*Ключевые слова:* контроль, информативный параметр, силовой полупроводниковый прибор, потенциально ненадёжный прибор, групповое последовательное соединение, состояние низкой проводимости, электрический преобразователь.

*В статье рассматриваются результаты моделирования электрических переходных процессов в выпрямительных цепях электрических преобразователей на основе групповых последовательных соединений силовых полупроводниковых приборов. Исследовались режимы контроля последовательно соединённых приборов в состоянии низкой проводимости без шунтирующих снабберных RC-цепей. Моделирование осуществлялось в программной среде Multisim. Получены временные зависимости распределения контрольного напряжения на приборах, на базе которых определены информативные параметры, по изменению которых в ходе контрольных операций можно определять потенциально ненадёжные приборы в групповой последовательной цепи преобразователя без её разбора.*

Х.М. Гукетлов, М.И. Бжахов, Т.З. Карданов, А.Н. Шогенов  
К РАСЧЕТУ ОТРАЖЕННОГО СВЕТА ОТ ФАСАДОВ  
ПРОТИВОСТОЯЩИХ ЗДАНИЙ

*Ключевые слова:* количество освещения, наружная вертикальная естественная освещённость, коэффициент ориентации световых проёмов, прямая освещённость от Солнца, вероятность солнечного сияния.

*В статье приводится математическая модель светового режима в годовом цикле с помощью, которой был найден поправочный коэффициент, позволяющий учитывать изменение яркости противостоящих зданий не только от ориентации по сторонам горизонта, но и от особенностей светового климата места строительства.*

Г.М. Мучкаева, М.Б. Нахаев, Д.В. Федельский, Н.М. Кикеев  
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ ПОВЫШЕНИЯ  
ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ ПРИ НАЛИЧИИ СЛУЧАЙНЫХ  
ПОГРЕШНОСТЕЙ

*Ключевые слова:* точность измерения, погрешность, метод измерений, способ измерений, среднее квадратическое отклонение, достоверная вероятность.

*Рассматриваются различные методы и способы повышения точности измерений. Приведены методы повышения точности измерений при наличии случайных погрешностей.*

Т.Р. Сахбиев, О.Г. Морозов, И.И. Нуреев,  
А.Ж. Сахабутдинов, Д.И. Касимова  
ПОЛИГАРМОНИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ТОЛЩИНЫ  
ТОНКИХ ПЛЕНОК

*Ключевые слова:* тонкие пленки, фильтр, монохроматический мониторинг, полигармоническое зондирование.

*Прямой монохроматический мониторинг в прерывистом режиме широко используется в производстве оптических покрытий с 2005 года. Спектр применения широк как для классических камер напыления, так и камер с высокоточным напылением для изготовления одно- и многослойных структур, таких как: диэлектрические зеркала, антиотражающие покрытия, сложные краевые фильтры, поляризационные покрытия, сплиттеры, многополосные полосовые и режекторные фильтры. В статье рассмотрены пути развития монохроматического мониторинга с расширением числа зондирующих длин волн до двух, трех и более. Разработанный метод предназначен как для исследования узкополосных*

N.N. Bespalov, S.S. Kapitonov, M.V. Ilyin,  
A.V. Evishev, A.V. Zorkin

#### DETECTION OF INFORMATIVE PARAMETER FOR DETERMINATION OF POTENTIALLY UNRELIABLE SEMICONDUCTOR DEVICE IN GROUP SEQUENCING CHAIN OF CONVERTER

*Keywords:* control, informative parameter, power semiconductor device, potentially unreliable device, group serial connection, low conductivity state, electrical converter.

*The article considers the results of modeling electric transients in rectifying circuits electrical converters based on group serial connections of power semiconductor devices. The modes monitoring of series-connected devices in a state of low conductivity without shunt snubber RC-circuits were investigated. The simulation was carried out in the Multisim software environment. Time dependences distribution control voltage on devices on the basis of which informative parameters are determined, on the change of which during the control operations it is possible to determine potentially unreliable devices in the group series circuit of the converter without analyzing it are obtained.*

H.M. Gouketlov, M.I. Bzhakhov, T.Z. Kardanov,  
A.N. Shoggenov

#### TO CALCULATION OF REFLECTED LIGHT FROM THE FACADES OF ANTIBUILDING BUILDINGS

*Keywords:* amount of illumination, external vertical natural illumination, orientation coefficient of light apertures, direct illumination from the Sun, probability of sunshine.

*The article presents a mathematical model of the light regime in the annual cycle with the help of which a correction coefficient has been found allowing to take into account the change in the brightness of the opposing buildings not only from the orientation along the horizon, but also from the light climate of the construction site.*

G.M. Muchkaeva, M.B. Nahaev, D.V. Fegelski,  
N.M. Kikeev

#### IMPROVING METHODS INCREASE THE PRECISION OF MEASUREMENTS SUBJECT TO RANDOM ERRORS

*Keywords:* measurement accuracy, measurement error, method of measurement, method of measurement, standard deviation, confidence probability.

*Discusses the various methods and ways of increase of accuracy of measurements. The methods increase the precision of measurements subject to random errors.*

T.R. Sakhbiev, O.G. Morozov, I.I. Nureev,  
A.J. Sakhabutdinov, D.I. Kasimova

#### POLY HARMONIC MONITORING OF THIN FILM THICKNESS

*Keywords:* thin films, filter, monochromatic monitoring in intermittent mode, poly harmonic probing.

*Direct monochromatic monitoring in intermittent mode is widely used in the production of optical coatings since 2005. The range of applications is wide for both conventional sputtering chambers and high-precision chambers for the manufacture of single- and multilayer structures, such as: dielectric mirrors, antireflection coatings, complex edge filters, polarization coatings, splitters, multiband bandpass and rejection filters. In the article ways of development of monochromatic monitoring with an expansion of the number of probing wavelengths up to two, three or more are considered. The developed method is designed for both studying narrow-band*

структур для систем связи с волновым уплотнением или интерференционных фильтров, так и широкополосных полосовых фильтров для оптико-электронных систем.

Ю.И. Шакиров, Л.Н. Кашафутдинова, Р.И. Валиев  
РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА АВТОМАТИЧЕСКОЙ  
КОМПЕНСАЦИИ ПОГРЕШНОСТЕЙ ТРАНСФОРМАТОРОВ  
НАПРЯЖЕНИЯ

*Ключевые слова:* трансформатор напряжения; устройства компенсации погрешностей; вольтодобавочный трансформатор.

Работа посвящена исследованию и разработке устройств автоматической компенсации погрешностей измерительных трансформаторов напряжения. Отличительной особенностью предлагаемой схемы является формирования напряжения компенсации на вольтодобавочном трансформаторе. Это обеспечивает решение вопроса надежной работы компенсированного трансформатора напряжения.

structures for WDM communication systems or interference filters, and for broadband bandpass filters for optoelectronic systems.

Yu.I. Shakirov, L.N. Kashafutdinova, R.I. Valiev  
MAKING OF THE DEVICES FOR ERRORS  
AUTOMATIC COMPENSATION IN THE VOLTAGE  
TRANSFORMERS

*Keywords:* voltage transformer, error compensation devices, booster transformer.

The article is about research of automatic error compensation devices for the measuring voltage transformers. The main difference of the developed scheme from the well-known models is in creating of the compensation voltage on the booster transformer. It provides reliable operation of the compensated voltage transformer.

А.И. Акимов

ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕРМОНАПРЯЖЕНИЙ И ДЕФОРМАЦИЙ  
ПРИ ФРОНТАЛЬНОМ ОТВЕРЖДЕНИИ  
ОСЕСИММЕТРИЧНЫХ ПОЛЫХ ИЗДЕЛИЙ  
ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ФОРМЫ

*Ключевые слова:* термонапряжения, деформация, полимеризация, фронтальное отверждение, осесимметричные формы, химическая усадка, напряженное состояние.

В данной работе представлены результаты изучения и определения радиальной и окружной компонент и деформаций, возникающих в производстве композиционных материалов (КМ) методом полимеризации в установках автоматического ведения технологического процесса (АВТП).

A.I. Akimov

RESEARCH THERMAL STRESSES AND  
DEFORMATION IN THE FRONTAL OTVREZHDENII  
AXISYMMETRIC HOLLOW BODIES OF  
CYLINDRICAL SHAPE

*Keywords:* thermal stresses, deformation, curing, curing frontal, axially symmetric shape, chemical shrinkage, stress state.

This paper presents the results of the study and to determine the radial and circumferential component and deformations arising in the production of composite materials (CM) polymerization method in the automatic installations of the technological process (AVTP).

И.А. Акимов, Б.К. Жумашева

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ  
МОДЕЛИ ТРЕТЬЕГО ЭТАПА ПРОИЗВОДСТВА  
КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ В УСТАНОВКАХ  
ШОЛЬЦА

*Ключевые слова:* композиционные материалы, многослойные конструкции, установка Шольца, условия сопряжения, трехслойная стенка.

В данной работе представлены результаты изучения теплопередачи в многослойных конструкция с различными коэффициентами теплопроводности на этапе остывания композиционных материалов (КМ) в установках Шольца.

I.A. Akimov, B.K. Jumasheva

RESEARCH AND DEVELOPMENT OF  
MATHEMATICAL MODEL OF THE THIRD STAGE OF  
KOMPOSITIONAL MATERIALS IN PLANTS SCHOLZ

*Keywords:* composite materials, multi-layer construction, plant Scholz, the transmission conditions, the three-layer wall.

In this paper we present the results of the study of heat transfer in a multilayer structure with different coefficients of thermal conductivity during the cooling of composite materials (CM) in plants Scholz.

А.И. Акимов, В.Н. Козлов

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕРМОНАПРЯЖЕНИЙ ПРИ  
ФРОНТАЛЬНОМ ОТВЕРЖДЕНИИ ПОЛЫХ  
ОСЕСИММЕТРИЧНЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ

*Ключевые слова:* композиционные материалы, полимеризация, термонапряжения, деформация, химическая усадка, остаточные термонапряжения, термическое сопротивление.

В данной работе представлены результаты изучения термонапряжений и деформаций, возникающих в процессе производства многослойных композиционных материалах методом полимеризации в установках автоматического ведения технологического процесса (АВТП).

A.I. Akimov, V.N. Kozlov

SIMULATION OF THERMAL STRESSES IN THE  
FRONTAL CURING HOLLOW OSESIMETRICHNYH  
CYLINDRICAL PRODUCTS

*Keywords:* composite materials, polymerization, thermal stresses, deformation, chemical shrinkage, residual thermal stresses, thermal resistance.

This paper presents the results of a study of thermal stresses and strains that arise during the production of multi-layer composite materials polymerization method in the automatic installations of the technological process (AVTP).

С.Б. Андреев, В.В. Шведенко

МОДЕЛИРОВАНИЕ ИНТЕГРАЛЬНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ  
ОБЪЕКТНО-ПРОЦЕССНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ  
ПРЕДПРИЯТИЕМ

*Ключевые слова:* модель, предикаты, многономенклатурное производство, бизнес-процесс.

В статье представлена математическая модель преобразования показателей бизнес-процессов в их интегральные значения для объектно-процессного управления экономической системой предприятия.

S.B. Andreev, V.V. Shvedenko

INTEGRATED INDICATORS MODELING OF OBJECT-  
PROCESS ENTERPRISE MANAGEMENT SYSTEM

*Keywords:* model, predicates, multiproduct manufacturing, business-process.

This article presents a mathematical model for description of conversion of business-process indicators into their integrated values for object-process management of enterprise economic system.

С.С. Буденков

## СЕМАНТИЧЕСКИЕ ВЕКТОРНЫЕ МОДЕЛИ ТЕКСТОВ ДЛЯ АНАЛИЗА ТОНАЛЬНОСТИ

*Ключевые слова:* дистрибутивная семантика, word2vec, кластеризация, k-средних, анализ тональности текстов.

*В работе предложен метод решения задачи анализа тональности коротких текстов на русском языке. Описывается модель семантических векторов слов на основе технологии word2vec и алгоритма кластеризации k-средних, позволяющая учитывать семантическую близость текстов и эффективно решать задачу без дополнительных словарей и ручной предобработки, что подтверждается результатами экспериментов.*

S.S. Budenkov

## SEMANTIC WORD VECTOR MODELS FOR SENTIMENT ANALYSIS

*Keywords:* distributional semantics, word2vec, clustering, k-means, sentiment analysis.

*The research paper describes another one approach of solving the task of sentiment analysis. Small articles in Russian language are classified using modified word embedding model. We used word2vec model and k-means clustering algorithm to create semantic vectors which can consider dependencies between words. The experiment shows that good results for sentiment classification can be achieved without additional dictionaries and knowing linguistic features of Russian language.*

Е.И. Васильева, В.О. Каледин, Е.В. Равковская

## ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ДЛЯ РАСЧЁТА ДВИЖЕНИЯ ВОЗДУХА В ГИБКИХ ВОЗДУХОПРОВОДАХ ШАХТНОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ

*Ключевые слова:* вязкая сплошная среда, конфузор, диффузор, коэффициент полноты удара, степень расширения, местные аэродинамические сопротивления.

*Предложено решение задачи о движении воздуха в гибких воздухопроводах шахтной вентиляции. При численном моделировании была использована математическая модель вязкой сплошной среды. Рассчитанные местные аэродинамические сопротивления сопоставляются с расчётами по известной методике.*

E.I. Vasileva, V.O. Kaledin, E.V. Ravkovskaya

## APPLICATION OF FINITE ELEMENT METHOD FOR CALCULATION OF AIR MOTION IN FLEXIBLE AIR VEHICLES OF MINE VENTILATION

*Keywords:* viscous solid medium, confuser, diffuser, coefficient of fullness of impact, degree of expansion, local aerodynamic resistance.

*The solution of the problem of air movement in flexible air ducts of mine ventilation is proposed. In numerical modeling, a mathematical model of a viscous continuous medium was used. The calculated local aerodynamic drags are compared with calculations by a known technique.*

Е.И. Васильева, Е.В. Равковская

## ТЕПЛОЙ ЭФФЕКТ ОБРАТИМОЙ И НЕОБРАТИМОЙ ДЕФОРМАЦИИ ПРИ КВАЗИСТАТИЧЕСКОМ НАГРУЖЕНИИ ОДНОНАПРАВЛЕННО АРМИРОВАННОГО КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА

*Ключевые слова:* математическое моделирование, углепластик, обратимое деформирование, необратимое деформирование, тепловой эффект.

*В работе представлена математическая модель изменения механических и термодинамических параметров состояния однонаправленно армированного композиционного материала с учетом обратимой и необратимой составляющих деформаций. Проверка данной модели осуществлялась на образцах из углепластика путем одноосного растяжения с постоянной скоростью деформации до разрушения.*

E.I. Vasileva, E.V. Ravkovskaya

## THERMAL EFFECT OF REVERSE AND NON-RISE DEFORMATION IN QUASISTATIC LOADING OF ONE-REGULATED REINFORCED COMPOSITE MATERIAL

*Keywords:* mathematical modeling, carbon, reversible deformation, irreversible deformation, thermal effect.

*This paper presents a mathematical model of changes in the mechanical and thermodynamic state parameters directional reinforced composite material taking into account reversible and irreversible components of the deformation. Validation of the model was carried out on samples of carbon fibre by uniaxial tension with a constant strain rate to failure.*

А.С. Викторов

## ХРАНИЛИЩЕ ГЕОПРОСТРАНСТВЕННЫХ ДАННЫХ ТРИАНГУЛЯЦИОННОЙ НЕРЕГУЛЯРНОЙ СЕТКИ

*Ключевые слова:* хранилище данных, кластеризация, триангуляционная нерегулярная сеть, геопространственная база данных, распределенные вычисления.

*В статье рассматривается реализация хранилища геопространственных данных, для хранения которых используется структура данных триангуляционная нерегулярная сеть (TIN). Структура хранилища данных поддерживает хранение несколько видов данных таких, как пространственные данные, атрибутивные данные, нормативно-справочные данные, а также метаданные. В статье дается описание архитектуры хранилища и процедуры обработки TIN.*

A.S. Viktorov

## IMPLEMENTATION OF DATA WAREHOUSE PURPOSED FOR STORING GEOSPATIAL DATA, REPRESENTED AS A TRIANGULATED IRREGULAR NET TIN

*Keywords:* data warehouse, clusterization, triangulated irregular net, geospatial database, distributed computing. *In this article considered a implementation of geospatial data warehouse. Geospatial data are represented as a triangulated irregular net TIN. The data warehouse support storing different data types such as spatial, attributive, normative-reference data and also metadata. In article are given a data warehouse architecture and TIN processing procedures description.*

П.А. Воронцов, А.С. Смолярчук

## АНАЛИЗ ВЗАИМОЗАВИСИМОСТИ СИСТЕМЫ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ И СИСТЕМЫ МЕНЕДЖМЕНТА ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ИХ РЕАЛИЗАЦИИ В КРЕДИТНО-ФИНАНСОВОМ УЧРЕЖДЕНИИ

*Ключевые слова:* информационная безопасность, защита информации, система защиты информации, система менеджмента информационной безопасности, кредитно-финансовое учреждение.

## P.A. Vorontsov, A.S. Smolyarchuk ANALYSIS OF THE INTERDEPENDENCE OF THE INFORMATION PROTECTION SYSTEM AND THE INFORMATION SECURITY MANAGEMENT SYSTEM IN THEIR IMPLEMENTATION IN THE FINANCIAL INSTITUTION

*Keywords:* information security, information protection system, information security management system, data protection, financial institution *The article provides features of information protection*



А.С. Исаев, С.А. Носков, Е.А. Хлюпина  
ПРИНЯТИЕ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ В УСЛОВИЯХ  
НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ВОЗНИКНОВЕНИЯ УГРОЗ  
ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ НА ОСНОВЕ  
ТЕОРИИ НЕЧЕТКИХ МНОЖЕСТВ

*Ключевые слова: информационная безопасность, управление информационной безопасностью, теория нечетких множеств, неопределенность выбора, поддержка принятия решений.*  
В настоящей работе представлены результаты исследований по определению порядка и границ применимости общего математического и идеологического аппарата теории нечетких множеств, для определения, обоснования и принятия управленческих решений в условиях неопределенности возникновения угроз информационной безопасности.

А.А. Козлов, И.Н. Боровик, Е.А. Строкач  
ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА В  
КАМЕРЕ СГОРАНИЯ РАКЕТНОГО ДВИГАТЕЛЯ МАЛОЙ  
ТЯГИ

*Ключевые слова: численное моделирование, ракетный двигатель малой тяги, подход Эйлера-Лагранжа.*  
Проводится численное моделирование рабочего процесса в камере сгорания ракетного двигателя малой тяги с центробежными форсунками с газообразным и жидким компонентами топлива. Проводится также численное исследование влияния параметров ввода компонентов топлива на эффективность рабочего процесса. Подтверждается возможность применения подхода Эйлера-Лагранжа для моделирования завесного охлаждения жидким компонентом топлива.

А.В. Куралесов, С.С. Павлов, Е.А. Хлюпина  
ОСОБЕННОСТИ ПРАКТИЧЕСКОГО ПРИМЕНЕНИЯ ТЕОРИИ  
НЕЧЕТКИХ МНОЖЕСТВ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ АУДИТА  
ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В ТИПОВОЙ  
ОРГАНИЗАЦИИ

*Ключевые слова: информационная безопасность, аудит информационной безопасностью, теория нечетких множеств, неопределенность выбора, поддержка принятия решений.*  
Аудит информационной безопасности является одной из важных частей процесса обеспечения информационной безопасности. Проблемы в сфере информационной безопасности должны решаться как можно быстрее. Данная работа дает представление об управлении информационной безопасностью и предлагает решения для развития экспертной системы. В работе описан процесс аудита с использованием экспертной системы и особенности применения теории нечетких множеств.

А.О. Махорин, А.М. Станкевич  
МОДЕЛЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РЕСУРСОВ ПРИ РЕШЕНИИ  
ЗАДАЧ АГРЕГИРОВАННОГО ПЛАНИРОВАНИЯ

*Ключевые слова: долгосрочное планирование производства, потоковая модель, линейное программирование.*  
В данной статье рассмотрена модель использования ресурсов, которая относится к классу потоковых моделей линейного программирования. Совместно с моделью движения материалов рассматриваемую модель можно использовать для решения задач долгосрочного агрегированного производственного планирования. Рассмотрены формальные описания основных компонент производственных процессов.

A.S. Isaev, S.A. Noskov, E.A. Khlyupina  
MAKING MANAGEMENT DECISIONS UNDER  
UNCERTAINTY OF INFORMATION SECURITY  
THREAT BASED ON FUZZY SET THEORY

*Keywords: information security, information security management, fuzzy sets theory, uncertainty of choice, decision support.*

In this paper, we present the results of studies on determining the order and limits of the applicability of the general mathematical and ideological apparatus of the theory of fuzzy sets, for determining, substantiating and making managerial decisions in the context of the uncertainty of the emergence of threats to information security.

A. Kozlov, I. Borovik, E. Strokach  
NUMERICAL MODELING OF WORKING PROCESS  
IN THE SMALL THRUST LIQUID ENGINE  
COMBUSTION CHAMBER

*Keywords: numerical modeling, RPE ST, Euler-Lagrange method*

Numerical modeling of working process inside a rocket engine of small thrust with swirl atomizers and liquid-gas fuel components is provided. Numerical study of fuel feed parameters efficiency influence is also proposed. The possibility of Euler-Lagrange approach usage for liquid film cooling modeling is confirmed.

A.V. Kuralesov, S.S.Pavlov, E.A. Khlyupina  
FEATURES OF PRACTICAL APPLICATION OF THE  
THEORY OF FUZZY SETS IN INFORMATION  
SECURITY AUDIT IN A MODEL ORGANIZATION

*Keywords: information security, information security audit, fuzzy sets theory, uncertainty of choice, decision support.*  
Auditing of information security is one of the important parts of the process of ensuring information security. Problems in the field of information security should be resolved as quickly as possible. This article gives an idea of the management of information security and offers solutions for the development of the expert system. The article describes the process of auditing using the expert system and the particular application of the theory of fuzzy sets.

A.O. Mahorin, A.M. Stankevich  
A RESOURCE CONSUMPTION MODEL FOR  
SOLUTION OF AGGREGATED PLANNING  
PROBLEMS

*Keywords. long-term production planning, flow network model, linear programming.*

This article considers a formulation of a resource consumption model based on a generalized flow network model of linear programming. Together with a material transformation model this model can be used for solution of long-term aggregated production planning problems. Formalized description of basic components of manufacturing processes is proposed.

А.О. Махорин, А.М. Станкевич  
ФОРМИРОВАНИЕ БАЗОВОЙ МОДЕЛИ ДАННЫХ ДЛЯ  
АГРЕГИРОВАННОГО ПЛАНИРОВАНИЯ

*Ключевые слова:* планирование производства, потоковая модель, линейное программирование.

*В данной статье рассмотрено формирование базовой модели данных, относящейся к классу потоковых моделей линейного программирования и предназначенной для решения широкого спектра задач агрегированного производственного планирования. Основу модели составляет двудольный граф, отражающий движение и преобразование материалов и других ресурсов. Показано, каким образом можно учесть основные производственные факторы в наиболее общих случаях.*

Я.И. Фальконе, Г.П. Жигулин  
АНАЛИЗ МЕТОДОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ  
РАСПРОСТРАНЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ УГРОЗ В  
СОЦИАЛЬНЫХ СЕТЯХ

*Ключевые слова:* Социальные сети, информационная безопасность, математическое моделирование.

*В настоящее время существует множество различных социальных сетей, количество которых постоянно увеличивается. Одновременно наблюдается увеличение числа информационных угроз в социальных сетях. В этой статье поставлена цель рассмотреть существующие методы моделирования распространения информационных угроз в социальных сетях, выявить их достоинства и недостатки.*

М.Б. Шевырев, Е.Г. Шевырева  
ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ  
УГРОЗ БЕЗОПАСНОСТИ ПЕРСОНАЛЬНЫХ ДАННЫХ  
МЕТОДОМ ВВЕДЕНИЯ ВЕСОВЫХ КОЭФФИЦИЕНТОВ

*Ключевые слова:* безопасность персональных данных, моделирование угроз, экспертная оценка, метод введения весовых коэффициентов.

*В данной работе описан процесс корректировки методики оценки угроз информационной безопасности за счет введения весовых коэффициентов, как количественной оценки ряда параметров. Приводится комплексный и универсальный подход оценки угроз.*

О.В. Шекочихин, В.В. Шведенко, Д.Н. Тимофеев  
СНИЖЕНИЕ СЛОЖНОСТИ ЭКСПЕРТНОЙ ОЦЕНКИ  
АЛЬТЕРНАТИВ В МЕТОДЕ АНАЛИЗА ИЕРАРХИЙ

*Ключевые слова:* метод анализа иерархий, снижение сложности системы, выбор альтернативы.

*Обозначена проблема и показан вариант снижения сложности экспертной оценки в методе анализа иерархий. Предложен алгоритм выбора попарных сравнений, который обеспечивает поиск альтернативы и проверку ответов эксперта на согласованность.*

A.O. Mahorin, A.M. Stankevich  
FORMULATION OF A BASIC DATA MODEL FOR  
AGGREGATED PLANNING

*Keywords:* production planning, flow network model, linear programming.

*This article proposes a formulation of a basic data model, which is a generalized flow network model of linear programming and intended for solution of a wide set of production planning problems. The proposed model is based on a bipartite graph that reflects movement and transformation of materials and other resources. It is shown how to model main factors in most general cases.*

Ya.I. Falcone, G.P. Jigulin  
ANALYSIS OF METHODS FOR MODELING THE  
SPREAD OF INFORMATION THREATS IN SOCIAL  
NETWORKS

*Keywords:* Social networking, information security, mathematical modeling.

*Nowadays there are many different social networks, the number of which is constantly increasing. At the same time there is an increase of the number of IT threats in social networks. The purpose of this article – to consider existing methods of modeling the spread of information threats in social networks, identify their strengths and weaknesses.*

M.B. Shevyrev, E.G. Shevyreva  
CORRECTION OF THE METHODOLOGY OF  
ESTIMATION OF THREATS OF INFORMATION  
SECURITY BY METHOD OF INTRODUCTION OF  
WEIGHT CONVENTIONS

*Keywords:* security of personal data, modeling threats, expert evaluation, the method of weighting coefficients.

*In this paper, we describe the process of adjusting the methodology for assessing threats to information security through the introduction of weighting factors, as a quantitative assessment of a number of parameters. A comprehensive and universal approach to threat assessment is presented.*

O.V. Schekochikhin, V.V. Shvedenko, D.N. Timofeev  
REDUCING THE COMPLEXITY OF THE EXPERT  
EVALUATION OF ALTERNATIVES IN THE  
ANALYTIC HIERARCHY PROCESS

*Keywords:* analytic hierarchy process, reducing the complexity of the system, the choice of alternatives

*The problems and shows an embodiment of reducing the complexity of peer review in the analytic hierarchy process. The algorithm of choice paired comparisons, which provides search options and check the consistency of the responses to the expert.*

**Для заметок**

## **Публичный лицензионный договор-оферта о правах на статью**

Редакция журнала «Научно-технический вестник Поволжья» предлагает Вам присылать свои статьи для публикации на страницах журнала, а также на сайте Научной электронной библиотеки (НЭБ). Предоставление Автором своего произведения является полным и безоговорочным акцептом, т.е. данный договор считается заключенным с соблюдением письменной формы. Присылая для публикации произведение, Автор также предоставляет Редакции журнала права на использование произведения и гарантирует, что он обладает достаточным объемом прав на передаваемое произведение. Также Автор предоставляет редакции журнала право переуступить на договорных условиях частично или полностью полученные по настоящему Договору права третьим лицам без выплаты Автору вознаграждения. Все авторские права регулируются в соответствии с действующим законодательством России.

## **Договор публичной оферты по обработке персональных данных**

В процессе осуществления выпуска журнала "Научно-технический вестник Поволжья" ООО "Научно-технический вестник Поволжья" осуществляется обработка персональных данных, предоставленных авторами статей в рамках сообщения своих регистрационных данных для осуществления публикации в журнале (имя, фамилия, отчество, адрес автора, контактный телефон и e-mail приводятся в регистрационной форме, заполняемой авторами при отправке статьи в журнал). Обработка осуществляется редакцией журнала для целей надлежащей отправки журнала автору и возможности связи с автором лиц, заинтересованных в результатах труда автора статьи. Под обработкой персональных данных в контексте настоящего согласия понимаются действия редакции по сбору, систематизации, накоплению, хранению, использованию, распространению, уничтожению персональных данных, а также действия по их дальнейшей обработке с помощью автоматизированных систем управления базами данных, и иных программных средств, используемых редакцией журнала. Настоящее согласие автора на обработку персональных данных является бессрочным и может быть отозвано в любой момент путем отказа автора от получения журнала и дальнейшей обработки его персональных данных.

НАУЧНОЕ ИЗДАНИЕ

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ВЕСТНИК  
ПОВОЛЖЬЯ

№2 2017

**Направления:**

**01.01.00 — ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ — МАТЕМАТИКА**

**02.00.00 — ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ**

**05.02.00 — ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — МАШИНОСТРОЕНИЕ И  
МАШИНОВЕДЕНИЕ**

**05.11.00 — ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — ПРИБОРОСТРОЕНИЕ,  
МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ**

**05.13.00 — ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — ИНФОРМАТИКА,  
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ**

**[www.ntvp.ru](http://www.ntvp.ru)**

Свидетельство № ПИ № ФС77-41672 от 13 августа 2010г.

Подписано в печать 21.04.2017    Формат 60 x 84 1/8. Печать цифровая.

8,4 усл.печ.л. 9,7 уч.изд.л. Тираж 900 экз. Заказ 744.

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»