

ДЕПАРТАМЕНТ ОБРАЗОВАНИЯ И МОЛОДЕЖНОЙ ПОЛИТИКИ  
ХАНТЫ-МАНСИЙСКОГО АВТОНОМНОГО ОКРУГА – ЮГРЫ

---

БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
ХАНТЫ-МАНСИЙСКОГО АВТОНОМНОГО ОКРУГА – ЮГРЫ  
«СУРГУТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

# **СЕВЕР РОССИИ: СТРАТЕГИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ**

*Материалы III Всероссийской  
научно-практической конференции  
26 мая 2017 г.*

**Том II**

**Сургут  
2017**

УДК 001(063)  
ББК 72  
С 28

**Редакционная коллегия:**

О.Г. Литовченко, д. биол. н., профессор; В. А. Галкин, д. физ.-мат. н., профессор;  
В. А. Острейковский, д. тех. н., профессор; Т. В. Гавриленко, к. тех. н., доцент;  
О. Ю. Семёнов, к. физ.-мат. н.; В. С. Микшина, к. тех. н., доцент;  
И. М. Галиев, к. физ.-мат. н.; Б. Ф. Свириденко, д. биол. н., профессор;  
Е. В. Майстренко, д. биол. н., профессор

С 28 **Север России: стратегии и перспективы развития** : материалы III Всерос. науч.-  
практ. конф. (г. Сургут, 26 мая 2017 г.) : в 3 т. – Сургут. гос. ун-т. – Сургут : ИЦ СурГУ,  
2017. – Т. II. – 284 с.

ISBN 978-5-89545-484-8

В сборнике представлены материалы по актуальным вопросам развития электроэнергетики, разработки новых материалов и технологий в условиях Севера России. Статьи содержат материалы, касающиеся инфокоммуникационных технологий и вычислительных систем, а также информационных технологий в нефтегазовом комплексе. Материалы освещают проблемы рационального природопользования северных территорий.

Издание предназначено для ученых, преподавателей, специалистов в области нефтяной, газовой промышленности и электроэнергетики, аспирантов, студентов и других заинтересованных лиц.

УДК 001(063)  
ББК 72

ISBN 978-5-89545-449-7  
978-5-89545-484-8

© БУ ВО «Сургутский государственный  
университет»

## СОДЕРЖАНИЕ

### РАЗВИТИЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ СЕВЕРНЫХ РЕГИОНОВ РОССИИ

<i>Булыгина А. В., Иванова Е. В., Сальников В. Г.</i> Электромагнитная совместимость сети 10 кВ при гармоническом воздействии .....	7
<i>Гончарук А. Ю., Рысев П. В., Рысев Д. В.</i> Учет насыщения стали генератора при моделировании электромеханического резонанса в электроэнергетических системах .....	12
<i>Дёмин Ю. В., Иванов Г. В., Кислицин Е. Ю., Палагушкин Б. В., Полунин М. А., Романов М. Н., Шмаков Д. А.</i> Оптимизация конструкций заземляющих устройств подстанций по минимальной стоимости при обеспечении условий электробезопасности .....	18
<i>Дёмин Ю. В., Иванов Г. В., Кислицин Е. Ю., Палагушкин Б. В., Полунин М. А., Романов М. Н., Шмаков Д. А.</i> Определение сопротивления растеканию искусственных заземлителей электроустановок с учетом взаимного расположения элементов .....	22
<i>Дёмко А. И., Лобанов П. Ю.</i> Универсальный газосигнализатор .....	28
<i>Занин А. С., Бушмелева К. И.</i> Анализ влияния подмены данных на принятие решений об изменении режима работы ЭЭС .....	30
<i>Рыжаков В. В., Горелов С. В., Сальников В. Г., Денчик Ю. М., Рыковский Н. А., Кислицин Е. Ю.</i> Влияние резистора в нейтрали сети 6-35 кВ на кондуктивную низкочастотную электромагнитную помеху по току однофазного замыкания на землю .....	33
<i>Сальников В. Г., Иванов Д. М.</i> Переходные процессы в электрической сети 10 кВ при коммутациях вакуумными выключателями индуктивной нагрузки .....	37
<i>Сапегина А. А.</i> Оптимизация расчета нагрузочной способности кабельных линий в структуре инженерных сетей .....	40
<i>Семёнов О. Ю., Иванова Е. В., Иванов М. Н., Спирёв С. М., Толашко Т. А., Иванов Д. М.</i> Параметры электромагнитной совместимости технических средств при ненормированных показателях качества электроэнергии .....	43

### ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ

<i>Аптюкова Г. А., Гавриленко Т. В.</i> Использование криптовалюты в России и ее вовлеченность в мошеннические схемы .....	50
<i>Бикметова И. Л., Микшина В. С., Лисовой А. А.</i> Надежность высоконагруженных систем на примере SAP HANA .....	53
<i>Галкин В. А., Гавриленко Т. В., Девицын И. Н., Быковских Д. А.</i> Вычислительный алгоритм кинетического метода решения дифференциальных уравнений ...	58
<i>Глебова И. Г.</i> Управление изменениями распорядительных документов в системе электронного документооборота .....	62
<i>Денискина Д. А.</i> Применение метода Дельфи при выборе наиболее эффективной формы обучения пользователей работе в информационных системах .....	65
<i>Егоров А. А., Гавриленко Т. В.</i> Методика анализа пористости и проницаемости керны волновым алгоритмом .....	70
<i>Еловой С. Г., Гавриленко А. В., Яценко Е. А.</i> Алгоритмическое обеспечение системы моделирования работы нейронной сети .....	76

<b>Жедик О. И., Бушмелева К. И.</b> Современные системы дистанционного банковского обслуживания и программное обеспечение в сфере инвестирования .....	81
<b>Зайцев И. Ю., Даниленко И. Н.</b> Мультиагентные системы в решении задачи моделирования городской транспортной инфраструктуры .....	83
<b>Зарипова Л. Р., Бушмелева К. И.</b> Сбор информации для обработки заявок в системах поддержки пользователей SAP Service Desk.....	91
<b>Затик С. И., Затик О. С., Острейковский В. А.</b> Базовая модель системной динамики экономико-технической системы для компьютерного моделирования и планирования работ по техническому обслуживанию и ремонту оборудования с целью снижения уровня техногенных рисков .....	94
<b>Кадиров А. А., Урманцева Н. Р., Иванов Ф. Ф.</b> Электронная карта индивидуального развития дошкольника как инструмент мониторинга динамики его индивидуального развития .....	100
<b>Кожевников Д. С., Увайсов С. У.</b> Легковесные (малоресурсные) алгоритмы шифрования в применении к интернету вещей .....	105
<b>Коромыслов А. С., Иванов Ф. Ф.</b> Исследование процессов управления обработкой в современных программных комплексах, построенных на основе учета, анализа и эффективного использования генерируемого потока событий .....	108
<b>Мусина С. С., Стяпшин А. А.</b> Использование программных агентов в ERP-системах .....	112
<b>Носова А. Ю., Шайторова И. А., Лысенкова С. А.</b> Ситуационный подход к управлению энергообъектами .....	117
<b>Павлов С. И.</b> Применение факторного анализа в задачах медицинской диагностики .....	122
<b>Погореловский М. А., Микшина В. С., Назина Н. Б., Заикин П. В.</b> Агрегирование состава многокомпонентной смеси в математическом моделировании сложных динамических процессов .....	127
<b>Прохоренко Н. А.</b> Использование технологий Data Mining В нефтяной промышленности .....	133
<b>Рождков А. П., Иванов Ф. Ф.</b> Модель интеллектуальной информационной системы, основанной на экспертном знании и углубленной обработке данных о проблемной области .....	136
<b>Сабиров Р. А., Увайсов С. У.</b> Применение средств обеспечения информационной безопасности в промышленных системах управления .....	140
<b>Семенов К. Г.</b> Возможность применения и модель информационного робота в системе управления документами DIRECTUM .....	143
<b>Сиднев С. М., Острейковский В. А.</b> Моделирование оптимизации времени исполнения ИТ-инцидентов в сложных корпоративных информационных системах .....	148
<b>Урманцева Н. Р.</b> Способы измерения кровотока в сосудах, основанные на решении обратной задачи .....	152
<b>Щербина А. В., Конник С. И.</b> Безопасность в сети интернет .....	158

## ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В НЕФТЕГАЗОВОМ КОМПЛЕКСЕ

<b>Аронов С. Я., Соловьев Н. А., Острейковский В. А.</b> О состоянии работоспособности трубопроводных систем газа .....	161
<b>Бычин И. В., Гореликов А. В., Ряховский А. В.</b> Численное моделирование фильтрации проводящей жидкости в трубе под воздействием внешнего магнитного поля .....	165
<b>Вирстюк А. Ю.</b> Пространственное распределение объемов закачки по пластам .....	169

<i>Ельмендеев А. П.</i> Оценка адекватности алгоритма расчетного дебита нефтяной скважины .....	173
<i>Соловьев Н. А., Аронов С. Я., Острейковский В. А.</i> О промышленной безопасности компрессорной станции транспорта газа .....	179

## НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ В УСЛОВИЯХ СЕВЕРА

<i>Андреанов Д. Ю., Кудрявцев И. А., Фищенко П. А.</i> Снегоходная беспилотная транспортная платформа со смещаемым центром тяжести .....	185
<i>Власко А. Ф.</i> Тепловые макрохарактеристики композитных материалов, периодически заполненных волокнами .....	187
<i>Галиев И. М.</i> Многомасштабное моделирование бетона .....	192
<i>Горынин Г. Л., Григорьев Ю. И.</i> Моделирование изгиба оконной перемычки из композитных материалов .....	197
<i>Горынин Г. Л., Снигирева В. А.</i> Напряженно-деформированное состояние трубобетонных стоек с учетом нелинейности диаграммы деформирования бетона .....	203
<i>Жиренков А. А.</i> Анализ причин аварий башенных кранов в условиях севера ...	210
<i>Кузнецова Ю. В., Суриков В. И., Семенюк Н. А.</i> Особенности кристаллической структуры диоксида ванадия, легированного железом .....	213
<i>Семенова Л. Л., Попов Ю. Б., Попова А. И.</i> Алгоритм посадки беспилотного летательного аппарата на основе фильтра Калмана .....	217
<i>Соколов С. Б.</i> Модель волны излива в верхнем бьефе гидротехнического сооружения .....	223
<i>Шошин Е. Л.</i> Реконструкция железобетонных свай средствами подповерхностного радиолокационного зондирования .....	234

## РАЦИОНАЛЬНОЕ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ СЕВЕРНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

<i>Варлам И. И., Русак С. Н.</i> Биоиндикация состояния сосны сибирской ( <i>Pinus sibirica</i> ) в условиях урбанизированной территории (на примере г. Сургута) .....	238
<i>Куриленко М. И., Хоменушко Т. И., Русак С. Н.</i> Аккумуляция тяжелых металлов в донных отложениях поверхностных водоемов Ханты-Мансийского района в сезонной динамике .....	243
<i>Куриленко М. И., Хоменушко Т. И., Русак С. Н.</i> Накопление тяжелых металлов в поверхностных водах Ханты-Мансийского района .....	248
<i>Мурашко Ю. А., Ширькова А. А.</i> Динамика накопления загрязняющих веществ в снежном покрове г.Сургута и его окрестностей .....	253
<i>Парначёв В. П.</i> Роль ученых Томского государственного университета в изучении вечной мерзлоты Западной Сибири .....	258
<i>Рудский В. В.</i> Север России: развитие природопользования в контексте рационального экономического поведения .....	262
<i>Рудский В. В., Фрюауф М.</i> Проблемы изменения климата в международном проекте «КУЛУНДА» .....	266
<i>Русак С. Н., Кравченко И. В., Варлам И. И.</i> Накопление фотосинтетических пигментов у растений, произрастающих в зоне воздействия факела сжигания попутного газа .....	271
<i>Хоменушко Т. И., Куриленко М. И., Русак С. Н.</i> Экологическая оценка фоновых концентраций загрязняющих веществ водных объектов северо-восточной части Таймырского района Красноярского края .....	275
<i>Сведения об авторах</i> .....	280

**Уважаемые участники конференции!**

Приветствую вас от имени Комитета Государственной Думы по экологии и охране окружающей среды.

Среди вопросов, которые предстоит рассматривать на конференции, – вопросы экологически устойчивого развития северных территорий России. Надеюсь, что вы уделите им должное внимание не только на специализированных секциях, но и при обсуждении других – социально-экономических, технологических, инфраструктурных проблем развития северных территорий.

Комитет сотрудничает с ведущими вузами России, ведет совместную работу по оценке законодательских инициатив. Будем рады наладить взаимодействие с Сургутским государственным университетом, ознакомиться с решениями, выработанными в рамках научно-практической конференции.

В современном мире очень много экологических вызовов. Нам необходимо объединять усилия, чтобы находить верные ответы на сложные вопросы, которые ставит перед нами жизнь.

Желаю всем участникам конференции плодотворной работы. Не забывайте, что окружающий нас мир хрупкий, природа нуждается в нашей постоянной заботе и бережном использовании.

Председатель Комитета  
Государственной Думы  
по экологии и охране окружающей среды



Ольга Тимофеева

## РАЗВИТИЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ СЕВЕРНЫХ РЕГИОНОВ РОССИИ

УДК 621.316

*Булыгина А. В., Иванова Е. В., Сальников В. Г.*

### ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ СОВМЕСТИМОСТЬ СЕТИ 10 кВ ПРИ ГАРМОНИЧЕСКОМ ВОЗДЕЙСТВИИ

г. Новосибирск

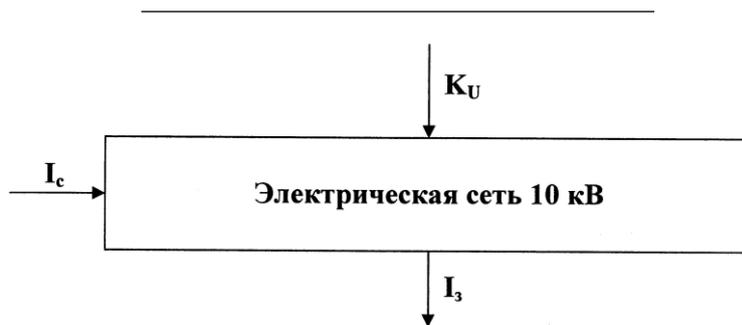
Авторы статьи решают научно-техническую задачу электромагнитной совместимости (ЭМС) электрических сетей различных классов напряжения. Нелинейные нагрузки электролизных цехов цветной металлургии ухудшают электромагнитную обстановку (ЭМО) в системах электроснабжения общего назначения. Гармоническое воздействие на региональные электрические сети 6-35 кВ во многих случаях превышает допустимое значение.

*Ключевые слова:* электромагнитная совместимость, электрические сети, кратность импульсного напряжения, кондуктивная низкочастотная ЭМП.

Из многочисленных негативных последствий гармонического воздействия на технические средства наиболее разрушительным и коварным является воздействие на электрическую сеть 6-10 кВ с изолированной нейтралью как рецептор. Искажение формы кривой напряжения 6-10 кВ вызывает увеличение тока замыкания на землю и снижение надежности работы этой сети, обусловленное увеличением случаев однофазных замыканий на землю и переходом в 2-х и 3-х фазные короткие замыкания.

Поскольку исследование ЭМО в электрических сетях 6-35 кВ является дорогой, сложной и опасной во всех отношениях процедурой, всегда стремятся минимизировать число исследуемых параметров, а это неизбежно приводит к потере некоторой части информации о весьма многогранной проблеме гармонического воздействия. В связи с этим ряд вопросов, относящихся к электромагнитной совместимости (ЭМС) электрических сетей различных классов напряжения, еще не рассмотрен. В частности, отсутствует техническое условие обеспечения ЭМС по току замыкания на землю сети 10 кВ при гармоническом воздействии. Поэтому настоящая статья посвящена решению этой научно-технической задачи.

**Влияние несинусоидальности напряжения в сети 10 кВ на ток замыкания на землю.** В электрических сетях 10 кВ с изолированной нейтралью при гармоническом воздействии ток замыкания на землю ( $I_z$ ) определяется суммарным коэффициентом искажения несинусоидальности кривой напряжения ( $K_u$ ) и емкостным током замыкания фазы на землю ( $I_c$ ), рассчитанным при синусоидальном напряжении. Функциональная схема влияния коэффициента  $K_U$  на ток замыкания на землю  $I_z$  приведена на рисунке 1. Эта схема позволяет представить задачу по определению  $I_z$  при  $K_U > 0$  как экстремальную, решение которой возможно методом планирования эксперимента.



**Рис. 1. Функциональная схема влияния коэффициента искажения синусоидальности кривой напряжения на ток замыкания на землю в сети 10 кВ**

На основе математической обработки результатов опытов, полученных по схеме полного факторного эксперимента этого метода, получена математическая модель тока замыкания на землю в системе электроснабжения на напряжении 10 кВ при гармоническом воздействии.

$$I_3 = I_c (1 + KM[K_U]), \quad (1)$$

где  $M[K_U]$  – математическое ожидание коэффициента  $K_U$ , %;

$K$  – коэффициент, учитывающий нелинейную зависимость тока замыкания на землю от гармонического воздействия.

Область применения этой математической модели составляют сети 10 кВ с изолированной нейтралью, емкостной ток которых находится в пределах  $0 < I_c < 22$  А, а гармоническое воздействие оценивается коэффициентом искажения синусоидальности кривой напряжения, который соответствует неравенству  $K_U \leq 9$  %. При расчете величины  $I_3$  по математической модели (1) следует учитывать, что при  $0 \leq I_c \leq 8$  А рекомендуется принимать  $K = 0,11$ , а при  $8 \text{ А} < I_c \leq 22 \text{ А}$  соответственно  $K = 0,16$ . Относительная ошибка расчета  $I_3$  составляет не более  $\pm 10$  %, что не превышает пределы допустимых погрешностей измерений коэффициента искажения  $K_U$  в электрических сетях.

**Кондуктивная низкочастотная электромагнитная по току замыкания на землю в сети 10 кВ.** При замыкании фазы на землю допускается временная работа сети 10 кВ с изолированной нейтралью до 2 часов, если емкостный ток ( $I_{c,d}$ ) не превышает 2 А при отсутствии железобетонных и металлических опор воздушных линий электропередачи и 10 А при наличии этих опор. Это время является эксплуатационной нормой, установленной на основе практики, обусловленной достижением электротехнической промышленности области разработки и внедрения изоляционных материалов. Поэтому его следует рассматривать как время устранения однофазного замыкания в электрической сети.

Экспериментальные исследования несинусоидальных режимов напряжения в электрических сетях показали, что коэффициент  $K_U$  является случайной величиной. Распределение этого коэффициента в основном соответствует нормальному закону теории вероятностей и математической статистики. В связи с этим величина  $I_3$  также является случайной величиной. Поэтому ток замыкания на землю  $I_3$  связан с полем событий, характеризуется таблицей вероятностей

$$\left( \begin{array}{c} I_{31}; I_{32}; I_{33}; \dots; I_{3n} \\ P_1; P_2; P_4; \dots; P_n \end{array} \right), \quad (2)$$

где  $I_{31}; I_{32}; I_{33}; \dots; I_{3n}$  – значения в течение суток тока замыканий на землю, А;

$P_1; P_2; P_4; \dots; P_n$  – вероятности появления значений этого тока при повышении  $I_{3i}$  допустимого значения  $I_{c,d}$  часть полсобытий обуславливает кондуктивную низкочастотную ЭМП по току замыкания фазы на землю. Представим эту кондуктивную низкочастотную ЭМП кратностью превышения тока замыкания фазы на землю при несинусоидальной форме кривой напряжения  $\delta I_3$  допустимого значения, которое регламентируется классом напряжения сети

$$\delta I_3 = \frac{I_3}{I_{c,d}} = \frac{1 + KM[K_U]}{1 + b} > 1,0, \quad (3)$$

где  $b = \Delta I_c / I_c$  – относительное значение запаса электрической сети по току замыкания на землю;

$\Delta I_c = I_{c,d} - I_c$  – запас электрической сети с изолированной нейтралью по току замыкания на землю, заложенный при построении системы электроснабжения на синусоидальном напряжении, А.

Исследование функции  $\delta I_3 = f(b, M[K_U])$  производилось по математической модели (3) при следующих значениях аргументов, которые характеризуют ЭМО в реальной сети 10 кВ ( $0 < M[K_U] \leq 5,6\%; 0,3 \leq b \leq 2$ ).

На рисунке 2 представлена геометрическая интерпретация этой функции. Видно, что кондуктивная низкочастотная ЭМП  $\delta I_3$  появляется при определенном значении математического ожидания коэффициента искажения  $M[K_U]$  (прямая ав.).

Вероятность появления низкочастотной кондуктивной ЭМП  $\delta I_3$   $P(I_3 > I_{c,d})$  на основании теоремы единственности и теоремы непрерывности производящих функций равняется вероятности появления величины  $K_U$  на участке  $(M[K_{U,b}], \infty)$ . В связи с этим вероятность появления  $\delta I_3$  можно определить по математической модели

$$P(I_3 > I_{c,d}) = P(M[K_{U,b}] < K_U < \infty) = \int_{M[K_{U,b}]}^{\infty} f(K_U, M[K_U], \sigma[K_U], d(K_U)), d(K_U), \quad (4)$$

где  $\sigma[K_U]$  – среднее квадратичное отклонение, %.

Вычисление этого определенного интеграла производится с помощью функции Лапласа, так как  $f(K_U, M[K_U], \sigma[K_U])$  является нормальной плотностью вероятности распределения  $K_U$  в электрической сети 10 кВ.

Таким образом, при гармоническом воздействии на электрическую сеть 10 кВ с изолированной нейтралью ЭМС по току замыкания на землю обеспечивается при выполнении условий  $\delta I_3 \leq 1$ ,  $P(I_3 > I_{c,d}) = 0$ . Для этого необходимо обеспечить выполнение технического условия

$$b > KM[K_{U,b}]. \quad (5)$$

Геометрическая интерпретация представлена на рисунке 2.

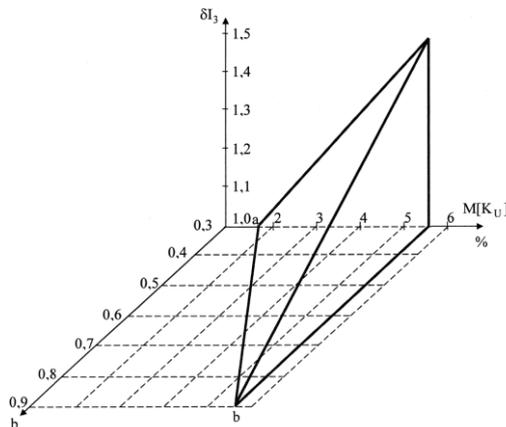


Рис. 2. Геометрическая интерпретация функции  $\delta I_3 = f(b, M[K_U])$

Рассмотрим пример использования этой методики. Электрическая часть 10 кВ с изолированной нейтралью подвергается гармоническому воздействию. Емкостный ток замыкания фазы на землю при отсутствии искажения формы кривой напряжения составляет  $I_c = 12,5 A$ . Качество электрической энергии исследовалось информационно-вычислительным комплексом «ОМСК». На рисунке 3 приведена кривая нормальной плотности вероятности распределения коэффициента  $K_U$ .

$$\varphi(K_U; 5,63; 1,5) = 0,8 \exp \left[ -\frac{(K_U - 5,63)^2}{1,5} \right],$$

где  $M[K_U] = 5,63\%$  – математическое ожидание коэффициента  $K_U$  ;

$\sigma[K_U] = 1,5\%$  – среднее квадратическое отклонение.

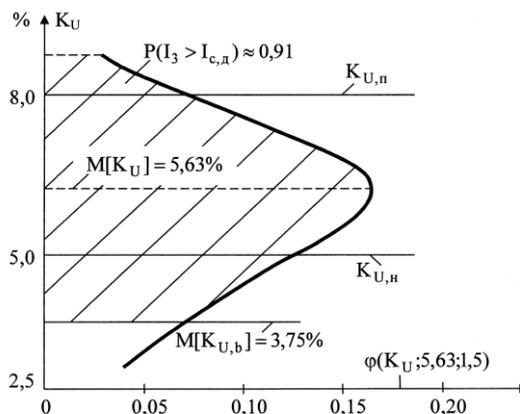


Рис. 3. График нормальной плотности вероятности распределения  $\varphi(K_U; 5,63; 1,5)$  совмещенный с величиной  $M[K_{U,b}]$ , с нормально  $K_{U,n}$  и предельно  $K_{U,n}$  допустимыми уровнями ЭМС по коэффициенту искажения синусоидальности кривой напряжения

Требование по коэффициенту  $K_U$  не выполняется. Используя эти статистические данные, произведем расчет кондуктивной ЭМП по току замыкания фазы на землю  $\delta I_3$  и сформулируем выводы об ЭМО в этой сети.

Определяются при  $M[K_U] = 5,63\%$  по формуле (1) ток замыкания на землю ( $I_3 \approx 24A$ ), а по формуле (3) соответственно кондуктивная ЭМП ( $\delta I_3 = 1,2$ ).

Рассчитывается по формуле (3) относительное значение запаса электрической сети по току замыкания на землю ( $b = 0,6$ ).

Определяется по формуле (5) математическое ожидание суарного кэффициента искажения синусоидальности кривой напряжения 10 кВ, при превышении которого появляется кондуктивная низкочастотная ЭМП  $\delta I_3$ , ( $M[K_{U,b}] \approx 3,75\%$ ). Эта величина меньше (5 %) нормально допустимого ГОСТ 13109-97 значения коэффициента иажения синусоидальности кривой напряжения 10 кВ.

На графике  $\varphi(K_U; 5,63; 1,5)$  (рис. 3) изображается расчетное значение  $M[K_{U,b}] \approx 3,75\%$  и определяется площадь, которая соответствует вероятности  $P(I_3 > I_{c.d})$ .

На основании математической модели (4) формируется опденный интеграл и рассчитывается вероятность появления кондуктивной низкочастотной ЭМП  $\delta I_3$

$$P(I_3 > I_{c.d}) = P(3,75 < K_U < \infty) = 0,8 \int_{3,75}^{\infty} f(e^{-\frac{(K_U - 5,63)^2}{1,5}}) d(K_U) \approx 0,91.$$

Таким образом, в данной электрической сети действует с вероятностью 0,91 кондуктивная низкочастотная ЭМП по току замыкания фазы на землю  $\delta I_3 = 1,2$ , которая обуславливает аварийный режим работы. Для обеспечения допустимого режима замыкания фазы на землю эту сеть необходимо или ограничить от гармонического вдействия величиной более  $M[K_{U,b}] = 3,75\%$ , или изменить режим работы нейтрали и принять меры по ограничению емкостного тока замыкания на землю.

**Заключение.** Приведен алгоритм расчета кондуктивного низкочастотного ЭМП по току замыкания фазы на землю в сети 10 кВ с изолированной нейтралью при гармоническом воздействии.

Определено техническое условие обеспечения ЭМС системы электроснабжения 10 кВ с изолированной нейтралью как рецептора при гармоническом воздействии.

*Bulygina A. V., Ivanova E. V., Salnikov V. G.*

## HARMONIC EFFECTS ON THE ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY OF THE 10 kV NETWORK

*Novosibirsk*

The authors consider the scientific and technical problem of electromagnetic compatibility (EMC) of the electrical networks of different voltage classes. Non-linear loads of electrolysis area of non-ferrous metallurgy deteriorate the electromagnetic environment (EME) in the general-purpose power supply systems. In many cases, the harmonic effects on the regional 6-35 kV electric networks exceed the permissible value.

*Keywords: Electromagnetic compatibility, electrical networks, pulse voltage ratio, conductive low-frequency electromagnetic hindrance.*

### Список использованной литературы

1. Денчик Ю. М., Данилов Г. А., Иванов М. Н., Ситников Г. В. Повышение качества функционирования линий электропередачи ; под ред. В. П. Горелова, В. Г. Сальникова. Новосибирск : НГАВТ, 2013. 559 с.
2. ГОСТ 32144-2013. Межгосударственный стандарт. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитной нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения (EN50160:2010, NEQ). М. : Стандартиформ, 2014. 16 с.
3. Иванова Е. В. Обеспечение электромагнитной совместимости в системах электроснабжения общего назначения мощных электротермических нагрузок // Промышленная энергетика. М., 2004. С. 50–54.
4. Свидетельство о государственной программе для ЭВМ №2016616351. Программа для оценки влияния суммарного коэффициента гармонических составляющих напряжения на качество электрической энергии. / Ю. М. Денчик, Д. А. Зубанов, А. А. Руппель, Н. В. Зубанова, А. Н. Антонов ; Правообладатели-авторы. Зарегистрировано 09.06.2016.

УДК 621.318:621.313.52

*Гончарук А. Ю., Рысев П. В., Рысев Д. В.*

### УЧЕТ НАСЫЩЕНИЯ СТАЛИ ГЕНЕРАТОРА ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОГО РЕЗОНАНСА В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

*г. Сургут*

Авторы статьи рассматривают режимы электромеханического резонанса в энергосистемах; проводят оценку влияния насыщения стали магнитопроводов турбогенераторов. Производят моделирование режимов энергосистемы без учета и при учете насыщения стали генераторов.

*Ключевые слова:* Электромеханический резонанс, бифуркация, энергосистема, турбогенератор.

Процесс моделирования динамики электроэнергетических систем связан с большим объемом данных, с решением большого числа уравнений со многими переменными. Зачастую для повышения скорости расчетов, исследователи упрощают математические модели элементов электроэнергетических систем. Часто это оправдано. Но в ряде случаев неучет того или иного параметра может привести к значительной ошибке в расчетах или моделировании.

В данной работе рассматривается влияние учета насыщения стали генератора на параметры, при которых возможно появление электромеханического резонанса. Учет влияния проведен на основе бифуркационного анализа. В математической модели учитывается насыщение, но пренебрегается АРВ и управление турбиной.

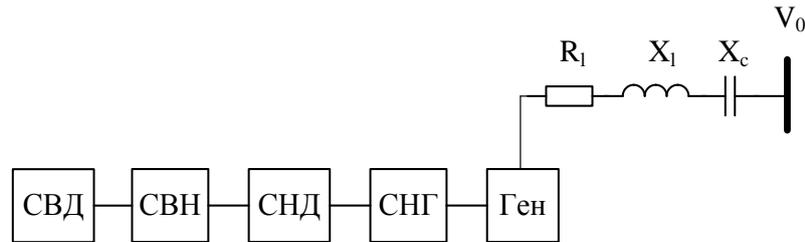
Очевидно, что учет насыщения в осях  $q$  и  $d$  приводит к повышению точности модели [1]. Также приняты следующие допущения:

1. Поток рассеяния существует только в воздушном зазоре по пути основного магнитного потока. Следовательно, он не сильно влияет на насыщение стального сердечника. Таким образом, индуктивности рассеяния не зависят от насыщения стали. В результате насыщаются лишь взаимные потоки рассеяния  $\psi_{mq}$  и  $\psi_{md}$ .

2. Потоки рассеяния обычно небольшие, и их путь совпадает с основным магнитным потоком. Таким образом, насыщение может быть определено только через поток в воздушном зазоре.

3. Отношение насыщения между потоком в воздушном зазоре и магнитодвижущей силой (МДС) под нагрузкой такое же, как и без нагрузки. Это позволяет представлять характеристики насыщения через кривую насыщения холостого хода.

**1. Описание модели.** Рассмотрим энергосистему турбина – генератор – шина бесконечной мощности, представленную на рисунке 1. Модель и параметры выбраны для нагруженного генератора.



**Рис. 1. Схема энергосистемы турбина – генератор – компенсированная нагрузка.**

Механическая система (турбина) состоит из: ступени высокого (СВД), ступени низкого (СНД) давления, связей между ступенями (СВН и СНГ) и генератора (Ген)

**2. Система уравнений.** Чтобы получить аналитические формулы потокосцеплений  $\psi_{md}$  и  $\psi_{mq}$  в функции токов, представляем данные опытов, изображенные на рисунке 2, по следующим полиномам третьего порядка:

$$\psi_{md} = d_0 + d_1(i_f - i_d) + d_2(i_f - i_d)^2 + d_3(i_f - i_d)^3, \quad (1)$$

$$\psi_{mq} = q_0 + q_1(i_Q - i_q) + q_2(i_Q - i_q)^2 + q_3(i_Q - i_q)^3. \quad (2)$$

В которых  $d_n$  и  $q_n$  – постоянные. Очевидно, что взаимные потокосцепления рассеяния  $\psi_{md}$  и  $\psi_{mq}$  – нелинейные функции токов генератора  $i_d$ ,  $i_q$ ,  $i_f$  и  $i_Q$ . Потокосцепления рассеяния осей d и q  $\psi_d$  и  $\psi_q$  могут быть определены из взаимных потокосцеплений рассеяния  $\psi_{md}$  и  $\psi_{mq}$  следующим образом:

$$\psi_d = \psi_{md} - X_{le} i_d \quad (3)$$

$$\psi_q = \psi_{mq} - X_{le} i_q \quad (4)$$

$$\psi_f = \psi_{md} - X_{le} i_f \quad (5)$$

$$\psi_Q = \psi_{mq} - X_{le} i_Q, \quad (6)$$

где  $X_{le}$  – реактивность утечки.

Модель энергосистемы описывается системой 16 нелинейных ОДУ первого порядка [2], 6 из которых относятся к электрической подсистеме, остальные 10 – к механической. Механическая подсистема состоит из турбины со ступенями высокого (СВД) и низкого (СНД) давления, двух связей между ними (СВН и СНГ) и генератора. Одна подсистема расположена между ступенями высокого и низкого давления турбины, другая – между ступенью низкого давления турбины и генератором (рисунок 1).

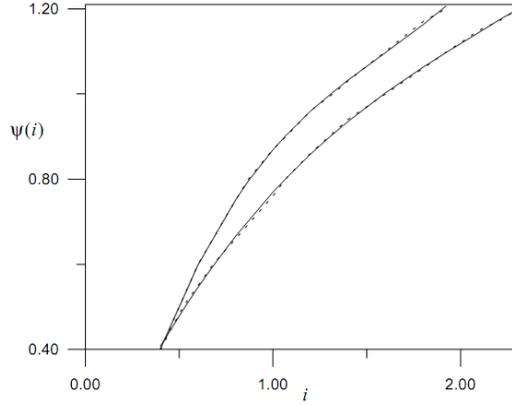


Рис. 2. Зависимости потокосцеплений  $\psi$  от токов  $i$

В данном случае не учитывается динамика АРВ и управление турбиной. Учитывается динамика демпферных обмоток оси  $q$  и насыщение генератора [3]. В результате получим:

$$a_{11} \frac{di_d}{dt} + a_{13} \frac{di_f}{dt} = \left[ (R_l + R_a) i_d - X_l i_q + e_{cd} + v_0 \sin \delta_r + \omega_r \psi_q \right] \omega_b, \quad (7)$$

$$a_{22} \frac{di_q}{dt} + a_{24} \frac{di_Q}{dt} = \left[ (R_l + R_a) i_q + X_l i_d + e_{cq} + v_0 \cos \delta_r - \omega_r \psi_d \right] \omega_b, \quad (8)$$

$$a_{31} \frac{di_d}{dt} + a_{33} \frac{di_f}{dt} = (v_f - R_f i_f) \omega_b, \quad (9)$$

$$a_{42} \frac{di_q}{dt} + a_{44} \frac{di_Q}{dt} = -R_Q i_Q \omega_b, \quad (10)$$

$$\frac{de_{cd}}{dt} = (\mu X_l i_d + e_{cq} \omega_r) \omega_b, \quad (11)$$

$$\frac{de_{cq}}{dt} = (\mu X_l i_q - e_{cd} \omega_r) \omega_b, \quad (12)$$

$$\frac{d\omega_1}{dt} = \frac{1}{M_1} \left[ -D_1 (\omega_1 - 1) - K_{12} (\theta_1 - \theta_2) \right], \quad (13)$$

$$\frac{d\theta_1}{dt} = (\omega_1 - 1) \omega_b, \quad (14)$$

$$\frac{d\omega_2}{dt} = \frac{1}{M_2} \left[ -D_2 (\omega_2 - 1) + K_{12} (\theta_1 - \theta_2) - K_{23} (\theta_2 - \theta_3) \right], \quad (15)$$

$$\frac{d\theta_2}{dt} = (\omega_2 - 1) \omega_b, \quad (16)$$

$$\frac{d\omega_3}{dt} = \frac{1}{M_3} \left[ -D_3 (\omega_3 - 1) + K_{23} (\theta_2 - \theta_3) - K_{34} (\theta_3 - \theta_4) \right], \quad (17)$$

$$\frac{d\theta_3}{dt} = (\omega_3 - 1) \omega_b, \quad (18)$$

$$\frac{d\omega_4}{dt} = \frac{1}{M_4} \left[ -D_4 (\omega_4 - 1) + K_{34} (\theta_3 - \theta_4) - K_{45} (\theta_4 - \delta_r) \right], \quad (19)$$

$$\frac{d\theta_4}{dt} = (\omega_4 - 1) \omega_b, \quad (20)$$

$$\frac{d\omega_r}{dt} = \frac{1}{M_5} \left[ -D_5 (\omega_r - 1) + K_{45} (\theta_4 - \delta_r) + T_m - T_e \right], \quad (21)$$

$$\frac{d\delta_r}{dt} = (\omega_r - 1) \omega_b, \quad (22)$$

где  $\mu = X_c / X_l$ ;  $T_e = i_q \psi_d - i_d \psi_q$ ;  $a_{11} = -\zeta_1 - X_l - X_{le}$ ;  $a_{22} = -\zeta_2 - X_l - X_{le}$ ;  $a_{33} = \zeta_1 + X_{lf}$ ;  
 $a_{44} = \zeta_2 + X_{lQ}$ ;  $a_{13} = -a_{31} = \zeta_1$ ;  $a_{24} = -a_{42} = \zeta_2$ ;

где  $\zeta_1 = d_1 + 2d_2(i_f - i_d) + 3d_3(i_f - i_d)^2$ ;  $\zeta_2 = q_1 + 2q_2(i_Q - i_q) + 3q_3(i_Q - i_q)^2$ ; здесь  $X_{le}$ ,  $X_{lf}$  и  $X_{lQ}$  – реактивности утечки.

Уравнения 7–22 образуют систему 16 нелинейных ОДУ первого порядка, описывающую динамику энергосистемы, показанной на рисунке 1.  $i_d$ ,  $i_q$ ,  $i_f$ ,  $i_Q$ ,  $e_{cd}$ ,  $e_{cq}$ ,  $\omega_1$ ,  $\theta_1$ ,  $\omega_2$ ,  $\theta_2$ ,  $\omega_3$ ,  $\theta_3$ ,  $\omega_4$ ,  $\theta_4$ ,  $\omega_r$  и  $\delta_r$  – переменные системы. Использовались следующие параметры генератора и линии в о.е.:

$$R_f = 0.001252, R_a = 0.0045, R_Q = 0.009957, R_l = 0.00172,$$

$$X_l = 0.08366, X_{le} = 0.145, X_{lf} = 0.1061, X_{lQ} = 0.3819,$$

$$d_0 = -0.1626, d_1 = 1.7374, d_2 = -0.8939, d_3 = 0.1876,$$

$$q_0 = 0.0635, q_1 = 0.9808, q_2 = -0.3244, q_3 = 0.0489.$$

Механические коэффициенты демпфирования, инерционности и жесткости в о.е.:

$$D_1 = 0.02677, D_2 = 0, D_3 = 0.0415, D_4 = 0, D_5 = 0.06832,$$

$$M_1 = 0.4930, M_2 = 0.03107, M_3 = 2.8383, M_4 = 0.1156, M_5 = 1.6512,$$

$$K_{12} = 107.611, K_{23} = 61.705, K_{34} = 141.413, K_{45} = 175.208.$$

**3. Моделирование без учета насыщения генератора.** Для случая без насыщения заданы  $d_0$ ,  $d_2$ ,  $d_3$ ,  $q_0$ ,  $q_2$  и  $q_3$  равными нулю в уравнениях 1 и 2, получим систему из 16 ОДУ. Рабочие состояния (н.у.) вычисляются путем подстановки нулей вместо производных переменных состояния системы 7–22.

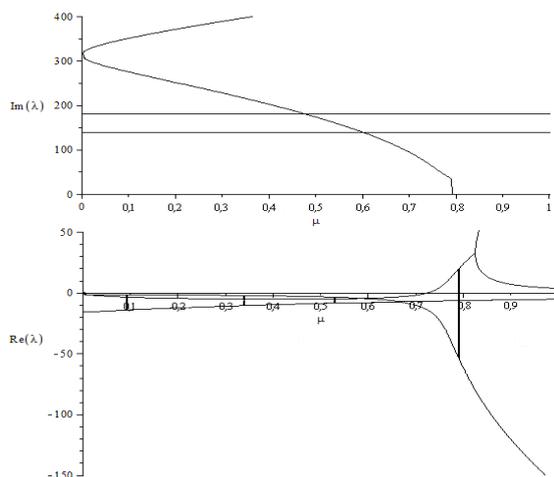
На рисунке 3 показана зависимость действительных и мнимых частей собственных значений от  $\mu$  при  $P_e = 0.9$ ,  $Q_e = 0.4358$  и  $v_r = 1.0$ . Имеем 14 комплексных и 2 действительных собственных значения. Поскольку матрица Якоби действительна, комплексно сопряжены каждые комплексные величины собственных значений, существует 7 колебательных режимов: 2 режима – электрические и 5 – механические.

При небольших  $\mu$  частоты электрических режимов приблизительно 314 рад/с. С увеличением  $\mu$  подсинхронная и сверхсинхронная частоты разделяются. Сверхсинхронная частота демпфируется, тогда как подсинхронная – нет. Сконцентрируем наше внимание на подсинхронной частоте и на том, как связанный с ней режим взаимодействует со вторым и первым режимами вращения.

Как видно из рисунка 3, при увеличении  $\mu$  частота подсинхронного электрического режима уменьшается и достигает частоты второго режима вращения (199 рад/с) при  $\mu = 0.88103$ . Из этого следует, что собственные значения второго режима вращения сдвигаются вправо и, пересекая мнимую ось, попадают в правую половину комплексной плоскости при  $\mu = H = 0.88103$ . Следовательно, второй режим вращения теряет устойчивость из-за бифуркации Хопфа. В данном случае частота электрического режима пересекает второй режим вращения при значениях  $\mu < 1$  вследствие одной области взаимодействия.

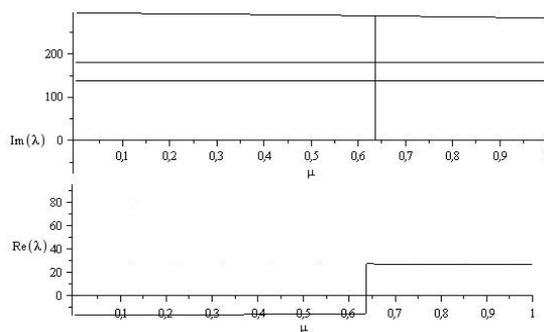
При потере устойчивости точки равновесия из-за этого взаимодействия, устойчивость не восстанавливается при увеличении  $\mu$ . Из этого можно заключить, что в данном случае существует лишь одна точка бифуркации Хопфа.

**4. Моделирование при учете насыщения генератора.** Рассмотрим влияние насыщения стали. На рисунке 3 показана зависимость действительных и мнимых частей собственных значений от  $\mu$ . Как видно из рисунка 4, при увеличении  $\mu$  частота подсинхронного электрического режима уменьшается и достигает частоты второго режима вращения (199 рад/с) при  $\mu = 0.842003$ .



**Рис. 3. Зависимость действительных и мнимых частей собственных значений от  $\mu$  при  $Q_e = 0.4358$ ,  $P_e = 0.9$  и  $v_t = 1.0$  (без насыщения)**

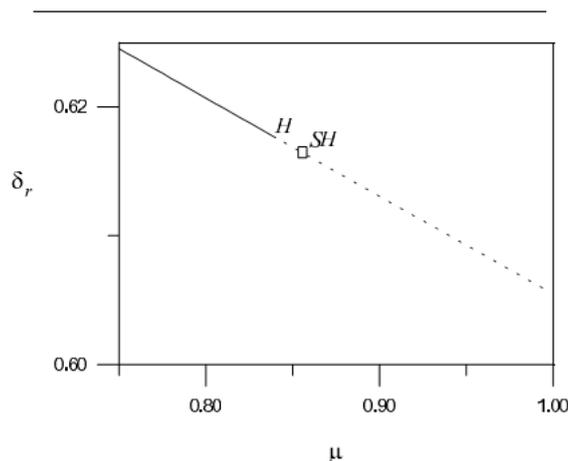
Из этого следует, что собственные значения второго режима вращения сдвигаются вправо и, пересекая мнимую ось, попадают в правую половину комплексной плоскости при  $\mu = H = 0.842003$ . Таким образом, второй режим вращения теряет устойчивость из-за бифуркации Хопфа, что следует из рисунка 3.



**Рис. 4. Зависимость действительных и мнимых частей собственных значений от  $\mu$  при  $Q_e = 0.4358$ ,  $P_e = 0.9$  и  $v_t = 1.0$  (с учетом насыщения)**

На рисунке 5 изображена зависимость угла ротора  $\delta_r$  от уровня компенсации  $\mu$ . Определили, что точка бифуркации Хопфа -  $\mu = H = 0.842003$ . Сравнивая рисунки, видим, что при учете насыщения бифуркация Хопфа происходит при меньшем значении, а именно при 0.842003, тогда как без учета насыщения 0.881003. Другими словами, точка бифуркации Хопфа сместилась влево.

Насыщение стали приводит к уменьшению области демпфирования, дестабилизируя систему. Чтобы показать, что дестабилизация происходит из-за насыщения стали, на рисунке 5 изобразили участки бифуркации Хопфа на плоскости  $P_e - \mu$  при  $Q_e = 0.4358$  и  $v_t = 1.0$ .



**Рис. 5. Зависимость угла ротора генератора  $\delta_r$  от уровня компенсации  $\mu$  при  $Q_e = 0.4358$ ,  $P_e = 0.9$  и  $v_t = 1.0$ .**

Непрерывная линия соответствует устойчивому равновесию, пунктирная – неустойчивому

Все режимы, расположенные левее пунктирной кривой, демпфируются, тогда как второй режим вращения, расположенный правее пунктирной кривой, не демпфируется. Из рисунка 5 следует, что насыщение стали снижает уровень компенсации для всех значений  $P_e$ , при котором происходит подсинхронный резонанс. Чем меньше значение  $P_e$ , тем больше дестабилизирует насыщение стали систему.

Таким образом, с помощью моделирования показано, что учет насыщения стали генератора в математической модели электроэнергетической системы или ее части влияет на параметры возникновения электромеханического резонанса, смещая момент возникновения резонанса в сторону меньшего значения  $\mu$ , тем самым увеличивая вероятность такого рода режимов.

*Goncharuk A. Yu., Rysev P. V., Rysev D. V.*

## **ACCOUNTING THE STEEL SATURATION OF THE GENERATOR WHEN SIMULATING THE ELECTROMECHANICAL RESONANCE IN POWER SYSTEMS**

*Surgut*

In the article the modes of electromechanical resonance in power systems are considered; the influence of the steel saturation of the magnetic cores of the turbogenerators is estimated. The authors simulate the power system modes with and without accounting of the steel saturation of the generators.

*Keywords: Electromechanical resonance, bifurcation, power system, turbogenerator.*

### **Список использованной литературы**

1. Андерсон П., Фуад А. Управление энергосистемами и устойчивость / Пер. с англ. под ред. Я. Н. Лугинского. М.: Энергия, 1980. 568 с.
2. Harb A. M., Widyan M. S. Controlling chaos and bifurcation of subsynchronous resonance in power system // *Nonlinear analysis: modeling and control*. 2002. Vol. 7. № 2. P. 15–36.
3. Рысев Д. В., Рысев П. В., Федоров В. К., Федоров Д. В. Возникновение режимов электромеханического резонанса и их исследование // *Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока*. 2014. № 4. С. 296–299.

УДК 621.311.4:621.316.9:620.193.75

Дёмин Ю. В., Иванов Г. В., Кислицин Е. Ю., Палагушкин Б. В.,  
Полунин М. А., Романов М. Н., Шмаков Д. А.

## ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКЦИЙ ЗАЗЕМЛЯЮЩИХ УСТРОЙСТВ ПОДСТАНЦИЙ ПО МИНИМАЛЬНОЙ СТОИМОСТИ ПРИ ОБЕСПЕЧЕНИИ УСЛОВИЙ ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТИ

г. Сургут

Авторы статьи описывают разработку заземляющего устройства, удовлетворяющего требованиям электробезопасности и надежности при минимальной стоимости. Оптимизирована конструкция заземляющих устройств подстанций для различных регионов РФ при выполнении необходимых требований по электробезопасности.

*Ключевые слова:* токи коррозии, заземляющее устройство, подстанция.

Заземляющие устройства (ЗУ) электроустановок эксплуатируются в различных грунтово-климатических условиях стран СНГ [1]. Разнообразие типов грунтов на площадках подстанций в различных районах СНГ хорошо иллюстрирует таблица 1.

Таблица 1

Типы грунтов на площадках высоковольтных подстанций в различных регионах СНГ [2]

Мощность слоя грунта, м	Название район (населенного пункта) СНГ			
	С-Петербург	Крым	Кузбасс	Ашхабад
0 1 2				
0 1 2	<b>Рязань</b>	<b>Омск</b>	<b>Алтай</b>	<b>Красноводск</b>
0 1 2				
0 1 2	<b>Орел</b>	<b>Томск</b>	<b>Кокчетав</b>	<b>Якутск</b>
0 1 2				
0 1 2	<b>Новосибирск</b>	<b>Экибастуз</b>	<b>Чита</b>	<b>Полтава</b>
0 1 2				
<i>Условные обозначения грунтов</i>				
<b>Крупно-дисперсные</b>	<b>Суглинистые</b>	<b>Песчаные</b>	<b>Глинистые</b>	<b>Скальные</b>

При расчете стоимости заземляющих устройств электроустановок, расположенных в разных регионах, необходимо учитывать следующие параметры:

- удельные затраты на прокладку горизонтальных шин ЗУ, у.е./м;
- удельные затраты на прокладку вертикальных электродов ЗУ, у.е./м;
- удельные затраты на землеотвод, у.е./м<sup>2</sup>;
- размер горизонтальных шин, диаметр и длина вертикальных электродов;
- неравномерный шаг сетки ЗУ;
- тип грунта (для различных регионов состав грунта отличается, толщина слоя однородного грунта, удельное сопротивление грунта, Ом•м).

*Примечание: 1 у.е. = 2,66 руб. (в ценах 2001 г.). Значение условной единицы определено по программе Гранд-Смета.*

Кроме того, в ходе оптимизации ЗУ учитывались ограничения:

- сопротивление растекания, Ом (не более 0,5 Ом);
- напряжение прикосновения, В (не более 500 В);
- максимальный потенциал на ЗУ, кВ (не более 10 кВ);
- размеры ЗУ, м<sup>2</sup> (площадь занимаемого земельного участка);
- выравнивание потенциала.

Схемы, представленные в таблице 1, позволяют определить тип грунта и толщину однородного слоя (мощность слоя). Соответственно, зная тип грунта, определяем удельное сопротивление грунта [3].

С помощью программы «ОРУ-Проект» выполнен расчет стоимости ЗУ для подстанций, расположенных в различных регионах РФ (см. таблицу 2).

Таблица 2

**Расчет стоимости ЗУ подстанций в различных регионах РФ**

Размещение ЭУ	Параметры грунта				Граница раздела слоев, м	Площадь ЗУ, м <sup>2</sup>	Суммарная длина горизонтальных шин, м	Средний размер ячейки, м	Стоимость ЗУ, у.е.
	Тип грунта	Удельное сопротивление, Ом•м	Тип грунта	Удельное сопротивление, Ом•м					
	Первый слой однородного грунта		Второй слой однородного грунта						
С-Петербург	Каменистый грунт	200	Песок	500	1,5	13 300	2 530	12	115 983
Омск	Каменистый грунт	200	Суглинок	100	1,7	7 600	1 653	10	71 513
Новосибирск	Песок	300	Суглинок	100	1	7 000	1 428	11	73 153
Алтай	Каменистый грунт	200	Суглинок	100	1,1	5 800	1 292	10	63 612
Томск	Каменистый грунт	200	Суглинок	100	0,8	5 800	1 292	10	63 612
Рязань	Каменистый грунт	200	Песок	500	1	20 500	3 575	12	170 443
Кузбасс	Каменистый грунт	200	Суглинок	100	1,2	7 600	1 653	10	71 513
Орел	Суглинок	100	Суглинок	100	1	4 000	1 008	9	41 445

Таблица 3

Ограничения для ЗУ минимальной стоимости

Размещение ЭУ	Граница раздела слоев, м	Площадь ЗУ, м <sup>2</sup>	Суммарная длина горизонтальных шин, м	Средний размер ячейки, м	Максимальный потенциал на ЗУ, В	Полное сопротивление ЗУ, Ом	U <sub>пр</sub> , В	Размеры ЗУ, м	Ток, вводимый в ЗУ, кА
С-Петербург	1,5	13 300	2 530	12	2 488	0,5	293	115 x 115	5
Омск	1,7	7 600	1 653	10	2 391	0,48	344	87 x 87	5
Новосибирск	1	7 000	1 428	11	2 435	0,49	370	84 x 84	5
Алтай	1,1	5 800	1 292	10	2 445	0,49	370	76 x 76	5
Томск	0,8	5 800	1 292	10	2 445	0,49	370	76 x 76	5
Рязань	1	20 500	3 575	12	2 496	0,5	255	143 x 143	5
Кузбасс	1,2	7 600	1 653	10	2 391	0,48	344	87 x 87	5
Орел	1	4 000	1 008	9	2 394	0,48	374	63 x 63	5

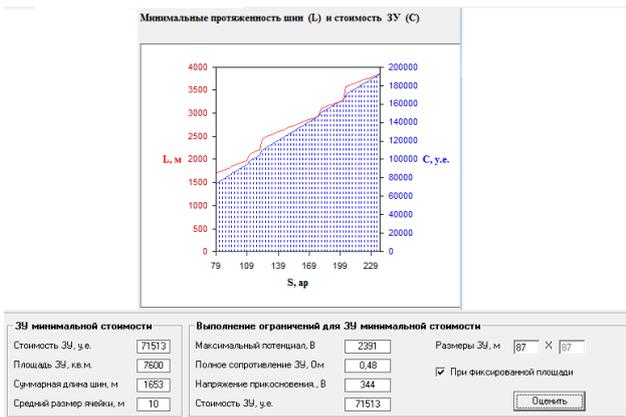


Рис. 1. Результаты расчета ЗУ для электроустановки, расположенной в районе г. Омска

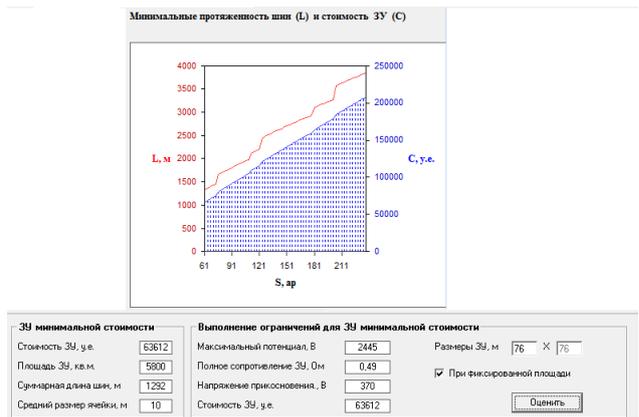


Рис. 2. Результаты расчета ЗУ для электроустановки, расположенной в районе г. Томска

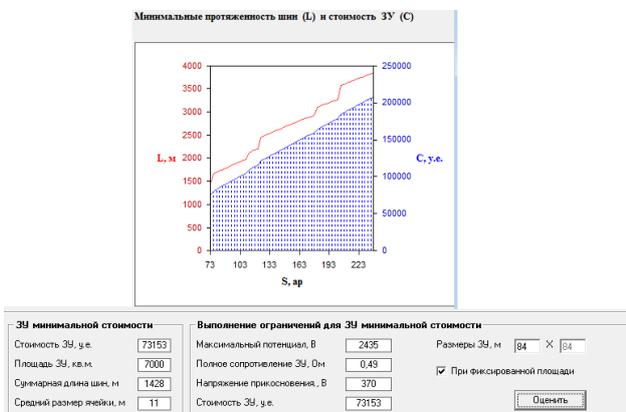


Рис. 3. Результаты расчета ЗУ для электроустановки, расположенной в районе г. Новосибирска

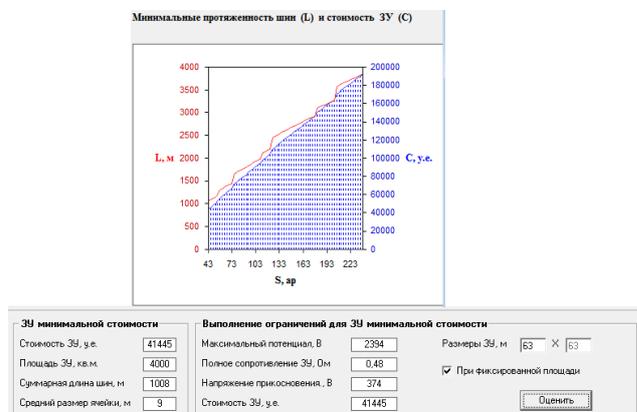


Рис. 4. Результаты расчета ЗУ для электроустановки, расположенной в районе г. Орла

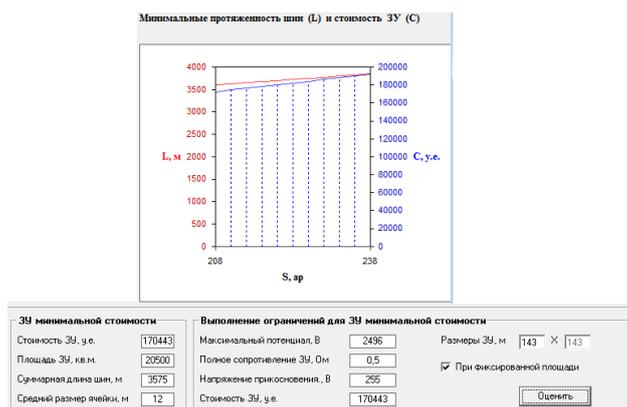


Рис. 5. Результаты расчета ЗУ для электроустановки, расположенной в районе г. Рязани

Из результатов, представленных в таблице 2, делаем вывод: в зависимости от региона расположения электроустановки стоимость монтажа ЗУ отличается существенно.

**Вывод:**

- 1) предложенная методика позволяет оптимизировать конструкцию ЗУ подстанций по стоимости с учетом соблюдения условий электробезопасности и надежности;
- 2) необходимо продолжить исследования оптимизации заземляющих устройств подстанций с учетом обеспечения благоприятной электромагнитной обстановки в современных условиях при внедрении цифровой техники.

*Demin Yu. V., Ivanov G. V., Kislitsyn E. Yu., Palagushkin B. V.,  
Polunin M. A., Romanov M. N., Shmakov D. A.*

## OPTIMIZATION OF THE GROUNDING DEVICES OF THE SUBSTATIONS AT A MINIMUM COST WHILE ENSURING THE ELECTRICAL SAFETY CONDITIONS

*Surgut*

The authors consider the optimized design of the grounding devices of the substations for different regions of the Russian Federation, if the necessary requirements of the electrical safety conditions have been met.

*Keywords: the corrosion currents, the grounding device, substation.*

### Список использованной литературы

1. Дёмин Ю. В. Обеспечение долговечности электросетевых материалов и конструкций в агрессивных средах : т. 2 / Ю. В. Дёмин [и др.] ; под. ред. В. П. Горелова. Новосибирск : Новосиб. гос. акад. вод. трансп., 1998. 198 с.
2. Дёмин Ю. В. Обеспечение долговечности электросетевых материалов и конструкций в агрессивных средах : т. 1 / Ю. В. Дёмин [и др.] ; под. ред. В. П. Горелова. Новосибирск : Новосиб. гос. акад. вод. трансп., 1998. 210 с.
3. Жук Н. П. Коррозия и защита металлов. Расчеты. М. : ГНТИ МАШГИС, 1957. 333 с.

УДК 621.311.4:621.316.9:620.193.75

*Дёмин Ю. В., Иванов Г. В., Кислицин Е. Ю., Палагушкин Б. В.,  
Полунин М. А., Романов М. Н., Шмаков Д. А.*

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ РАСТЕКАНИЮ ИСКУССТВЕННЫХ ЗАЗЕМЛИТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК С УЧЕТОМ ВЗАИМНОГО РАСПОЛОЖЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ**

г. Сургут

Авторы статьи определяют сопротивление линейных искусственных заземлителей с учетом их взаимного расположения. Представлен способ расчета, основанный на двукратном интегрировании.

*Ключевые слова:* сопротивление растеканию, заземляющее устройство, подстанция.

Для Севера Европейской части РФ и Сибири характерным является наличие вечномёрзлых грунтов, удельное сопротивление которых может достигать 500–1 000 Ом•м.

Согласно требованиям Правил устройства электроустановок при сооружении искусственных заземлителей в районах с большим удельным сопротивлением земли рекомендуется выполнять ряд мероприятий, который усложняет конструкцию заземляющего устройства, например:

- 1) устройство вертикальных заземлителей увеличенной длины, если с глубиной удельное сопротивление земли снижается;
- 2) устройство выносных заземлителей, если вблизи (до 2 км) от электроустановки есть места с меньшим удельным сопротивлением земли;
- 3) использование обсадных труб скважин;
- 4) в дополнение к углубленным заземлителям применение протяженных заземлителей на глубине около 0,5 м, предназначенных для работы в летнее время при оттаивании поверхностного слоя земли.

Для обеспечения условия электробезопасности работы в электроустановках, величина сопротивления растеканию заземляющего устройства нормируется (допустимая величина зависит от класса напряжения). Соответственно, при проектировании заземляющих устройств электроустановок необходимо рассчитывать не только сопротивления отдельных элементов конструкции, связанных в общую систему, но и взаимные сопротивления между отдельными элементами [1; 2; 3]. При этом возникает необходимость рассчитывать взаимные сопротивления растеканию между параллельными горизонтальными элементами, сопротивление растеканию между ортогональными горизонтальными элементами, сопротивление растеканию между вертикальными элементами, сопротивление растеканию между горизонтальным и вертикальным элементами.

Рассмотрим расчет каждого из названных сопротивлений.

**Взаимное сопротивление растеканию между параллельными горизонтальными элементами  $R_{ij}$ .**

Взаимное сопротивление растеканию между параллельными горизонтальными элементами заземляющего устройства определяется с помощью двукратного интегрирования (по  $i$ -му и  $j$ -му элементам) сопротивления:

$$R_{ij} = \frac{\rho_r}{4\pi} \left\{ \begin{aligned} & \left[ \left[ (x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2 + (z_i - z_j)^2 \right]^{-1} + \right. \\ & \left. + \left[ \left[ (x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2 + (z_i + z_j)^2 \right]^{-1} \right] \right\}, \end{aligned} \quad (1)$$

где  $x_i, y_i, z_i$  – координаты точки на  $i$ -ом элементе;

$x_j, y_j, z_j$  – координаты точки на  $j$ -ом элементе.

Начало координат на поверхности земли (ось  $z$  – вниз).

Обозначим координату, параллельно которой расположены  $i$ -й и  $j$ -й элементы, индексом «а», а вторую горизонтальную координату – индексом «b». Тогда начало и конец этих элементов получают обозначения  $a_i^H, a_i^K, a_j^H, a_j^K$ .

Соответственно их длины будут равны:

$$l_i = |a_i^H - a_i^K|; \quad l_j = |a_j^H - a_j^K|. \quad (2)$$

Кроме того, для сокращения записи примем обозначения:

$$c_1 = \left[ (b_i - b_j)^2 + (z_i - z_j)^2 \right]^{\frac{1}{2}}; \quad c_2 = \left[ (b_i - b_j)^2 + (z_i + z_j)^2 \right]^{\frac{1}{2}}. \quad (3)$$

После этого, проведя двойное интегрирование по  $x_i$  и  $x_j$ , получим искомое сопротивление растеканию между горизонтальными параллельными элементами в виде:

$$R_{ij} = \frac{\rho_r}{4\pi l_i l_j} \left\{ \begin{aligned} & \left[ F_1(a_1, c_1) + F_1(a_2, c_1) - F_1(a_3, c_1) - F_1(a_4, c_1) \right] + \\ & \left[ F_1(a_1, c_2) + F_1(a_2, c_2) - F_1(a_3, c_2) - F_1(a_4, c_2) \right] \end{aligned} \right\}, \quad (4)$$

где  $F_1(a, c) = a \cdot \ln \left[ \frac{a + \sqrt{a^2 + c^2}}{c} \right] - \sqrt{a^2 + c^2}$ ;

$$a_1 = |a_i^H - a_j^H|, \quad a_2 = |a_i^H - a_j^K|, \quad a_3 = |a_i^K - a_j^K|, \quad a_4 = |a_i^H - a_j^H|.$$

Следует подчеркнуть, что при  $a = 0$  функция  $F(a, c)$  в решении (4) равна остатку от второго члена (-с). В соответствии с этим, положив для определения собственного значения сопротивления растеканию  $i$ -го элемента  $r_i = |b_i - b_j|$  (радиус сечения) и  $z_i = z_j = H_i$  (глубина заковки), также  $(z_i + z_j) = 2H_i$ , получим после несложных преобразований выражения (4):

$$R_{ij} = \frac{\rho_r}{4\pi l_i^2} \left\{ l_i \cdot \ln \left[ \frac{(l_i + \sqrt{l_i^2 + r_i^2})(l_i + \sqrt{l_i^2 + r_i^2 + 4H_i^2})}{\sqrt{r_i^2 + 4H_i^2}} \right] - (\sqrt{l_i^2 + r_i^2} + \sqrt{l_i^2 + r_i^2 + 4H_i^2}) + \right. \quad (5)$$

Вместо натурального логарифма в формулах (4), (5) применим гиперболический арксинус:

$$F(a, c) = a \cdot \text{Arsh} \frac{a}{c} - \sqrt{a^2 + c^2}, \quad (6)$$

$$R_{ij} = \frac{\rho_r}{4\pi l_i^2} \left[ \left[ l_i \cdot \operatorname{Arsh} \frac{l_i}{r_i} - \sqrt{l_i^2 + r_i^2} + r_i \right] + \left[ l_i \cdot \operatorname{Arsh} \frac{l_i}{\sqrt{r_i^2 + 4H_i^2}} - \sqrt{l_i^2 + r_i^2 + 4H_i^2} + \sqrt{r_i^2 + 4H_i^2} \right] \right]. \quad (7)$$

Упрощенные выражения (аналогичные формуле 5) могут быть получены и для других частных случаев, когда отдельные параметры  $a_1$ ,  $a_2$ ,  $a_3$  или  $a_4$  оказываются равными нулю. Вместе с тем (во избежание деления на нуль), параметр  $r$ , никогда не должен обращаться в нуль. Для предотвращения этого, при возникновении подобной ситуации, следует полагать  $c_1 = r$ , т. е. смещать элементы на расстояние радиуса. В частности, для соприкасающихся элементов получим:

$$R_{ij} = \frac{\rho_r}{4\pi l_i l_j} \left\{ S_1 \cdot \ln(S_1 + \sqrt{S_1^2 + r_1^2}) \cdot \frac{(S_1 + \sqrt{S_1^2 + r_1^2 + 4H_1^2})}{r_1 \cdot \sqrt{r_1^2 + 4H_1^2}} \right\} - \left[ \sqrt{S_1^2 + r_1^2} + \sqrt{S_1^2 + r_1^2 + 4H_1^2} \right] + \left[ r_1 + \sqrt{r_1^2 + 4H_1^2} \right] - \\ - l_i \cdot \ln \left[ (l_i + \sqrt{l_i^2 + r_i^2}) \cdot (l_i + \sqrt{l_i^2 + r_i^2 + 4H_i^2}) \right] - l_j \cdot \ln \left[ (l_j + \sqrt{l_j^2 + r_j^2}) \cdot \frac{(l_j + \sqrt{l_j^2 + r_j^2 + 4H_j^2})}{r_j \cdot \sqrt{r_j^2 + 4H_j^2}} \right] + \\ + \left( \sqrt{l_j^2 + r_j^2} + \sqrt{l_j^2 + r_j^2 + 4H_j^2} \right) \}, \quad (8)$$

где  $S_1 = l_i + l_j$ .

**Сопротивление растеканию между ортогональными горизонтальными элементами  $R_{ij}$ .**

Обозначив координаты  $i$ -го элемента  $(a_i^H, a_i^K, b_i, z_i)$ , а  $j$ -го соответственно  $(b_j^H, b_j^K, a_j, z_j)$  и проведя двойное интегрирование выражения (1) по координатам  $a_i$  и  $b_j$  вдоль обоих элементов получим:

$$R_{ij} = \frac{\rho_r}{4\pi l_i l_j} \left\{ \left[ F_2(a_1, b_1, c_1) + F_2(a_2, b_2, c_1) - F_2(a_1, b_2, c_1) - F_2(a_2, b_1, c_1) \right] +, \quad (9)$$

$$\text{где } F_2(a, b, c) = a \cdot \operatorname{Arsh} \frac{b}{\sqrt{a^2 + c^2}} + b \cdot \operatorname{Arsh} \frac{a}{\sqrt{b^2 + c^2}} - c \cdot \operatorname{arctg} \frac{ab}{c \cdot \sqrt{a^2 + b^2 + c^2}} = \\ - c \cdot \operatorname{arctg} \frac{ab}{c \cdot \sqrt{a^2 + b^2 + c^2}}. \quad (10)$$

$$c_1 = |z_i - z_j|, \quad c_2 = z_i + z_j; \\ a_1 = (a_i^H - a_j) \quad \text{и} \quad a_2 = (a_i^K - a_j) \quad \text{при} \quad a_i^H > a_i^K \geq a_j; \\ a_1 = (a_j - a_i^K) \quad \text{и} \quad a_2 = (a_j - a_i^H) \quad \text{при} \quad a_i^H < a_i^K \leq a_j; \\ b_1 = (b_j^H - b_i) \quad \text{и} \quad b_2 = (b_j^K - b_i) \quad \text{при} \quad b_j^K > b_j^H \geq b_i; \\ b_1 = (b_i - b_j^K) \quad \text{и} \quad b_2 = (b_i - b_j^H) \quad \text{при} \quad b_j^H < b_j^K \leq b_i.$$

Решение (9) правомерно для случаев, когда оба элемента целиком находятся по одну сторону от точки их пересечения, т. е. когда:

$$a_j \geq a_i^K > a_i^H \quad \text{и} \quad b_i \geq b_j^K > b_j^H;$$

$$a_j \geq a_i^k > a_i^h \text{ и } b_i \leq b_j^h < b_j^k;$$

$$a_j \leq a_i^h < a_i^k \text{ и } b_i \leq b_j^h < b_j^k;$$

$$a_j \leq a_i^h < a_i^k \text{ и } b_i \geq b_j^k > b_j^h.$$

Заметим, что при  $a = 0$  или  $b = 0$  (т. е. когда начало или конец одного элемента совпадает с соответствующей координатой другого элемента) функция  $F_2(a, b, c)$  равна нулю и число членов в решении (9) соответственно уменьшается. При «полном» пересечении элементов (когда они делятся точкой пересечения на четыре отрезка) или «частичном» (когда точка пересечения делит на две части только один элемент, а второй – целиком находится по одну сторону от первого) решение (9) имеет несколько иной вид. Действительно, в этом случае взаимодействуют не два, а большее число отрезков – четыре при «полном» и три при «частичном» пересечении элементов.

Так при  $a_i^h < a_j < a_i^k$  и  $b_j^h < b_i < b_j^k$  получаем:

$$R_{ij} = \frac{\rho_r}{4\pi l_i l_j} \left\{ \left[ F_2(a_{i1}, b_{j1}, c_1) + F_2(a_{i1}, b_{j1}, c_2) \right] + \left[ F_2(a_{i1}, b_{j2}, c_1) + F_2(a_{i1}, b_{j2}, c_2) \right] \right\} +, \quad (11)$$

где  $a_{i1} = |a_i^h - a_j|$ ,  $a_{i2} = |a_i^k - a_j|$ ,  $b_{j1} = |b_j^h - b_i|$ ,  $b_{j2} = |b_j^k - b_i|$ , т. е.  $a_{i1}$ ,  $a_{i2}$ ,  $b_{j1}$ ,  $b_{j2}$  – отрезки, на которые делятся два элемента точкой их пересечения.

Соответственно для случаев «частичного» пересечения при  $a_i^h < a_j < a_i^k$  и  $b_j^h > b_i > b_j^k$  или  $b_i > b_j^k > b_j^h$  получаем

$$R_{ij} = \frac{\rho_r}{4\pi l_i l_j} \left\{ \left[ F_2(a_{i1}, b_{j1}, c_1) - F_2(a_{i1}, b_{j1}, c_2) + F_2(a_{i1}, b_{j2}, c_1) - F_2(a_{i1}, b_{j2}, c_2) \right] \right\} +, \quad (12)$$

а при  $b_j^h < b_i < b_j^k$  и  $a_i^k > a_i^h > a_j$  или  $a_j > a_i^k > a_i^h$ :

$$R_{ij} = \frac{\rho_r}{4\pi l_i l_j} \left\{ \left[ F_2(a_{i2}, b_{j1}, c_1) - F_2(a_{i1}, b_{j1}, c_2) + F_2(a_{i2}, b_{j1}, c_2) - F_2(a_{i1}, b_{j1}, c_2) \right] \right\} +. \quad (13)$$

Решения (9), (11), (12), (13) никогда не обращаются в бесконечность, даже для соприкасающихся ортогональных элементов (в отличие от случая параллельных элементов).

### Сопротивление растеканию между вертикальными элементами.

Обозначив координаты  $i$ -го элемента ( $z_i^h, z_i^k, x_i, y_i$ ), а  $j$ -го соответственно ( $z_j^h, z_j^k, x_j, y_j$ ) и проведя двойное интегрирование выражения (1) по координатам  $z_i$  и  $z_j$  вдоль обоих элементов, получим:

$$R_{ij} = \frac{\rho_r}{4\pi l_i l_j} \left\{ \left[ F_3(t_1, d) + F_3(t_2, d) - F_3(t_3, d) - F_3(t_4, d) \right] \right\} +, \quad (14)$$

$$\text{где } F(t, d) = t \cdot \operatorname{Arsh} \frac{t}{d} - \sqrt{t^2 + d^2} = t \cdot \ln \left[ \frac{(t + \sqrt{t^2 + d^2})}{d} \right] - \sqrt{t^2 + d^2},$$

$$t_1 = |z_i^H - z_j^K|, t_2 = |z_i^K - z_j^H|, t_3 = |z_i^H - z_j^H|, t_4 = |z_i^K - z_j^K|, t_5 = z_i^K + z_j^K, \\ t_6 = z_i^H + z_j^H, t_7 = z_i^H + z_j^K, t_8 = z_i^K + z_j^K, d = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2}.$$

При выходе обоих элементов на поверхность земли решение (14) упростится и примет вид:

$$R_{ij} = \frac{\rho_r}{4\pi l_i l_j} \{ [S_1 \cdot \text{Arsh} \frac{S_1}{d} - \sqrt{S_1^2 + d^2}] - [\delta_1 \cdot \text{Arsh} \frac{\delta_1}{d} - \sqrt{\delta_1^2 + d^2}] \}, \quad (15)$$

где  $S_1 = l_i + l_j$ ,  $\delta_1 = |l_i - l_j|$ .

Аналогичные упрощения возникают и в других случаях, когда какой-либо из «разностных» параметров ( $t_1, t_2, t_3, t_4$ ) обращается в нуль – в этом случае от функции  $F_3(t, d)$  остается только расстояние (-d). В частности, для собственного значения сопротивления растеканию вертикального элемента, когда условно расстояние между элементами принимается равным радиусу ( $d = r_i$ ), получаем:

$$R_{ij} = \frac{\rho_r}{4\pi l_i^2} \{ 2l_i \cdot \ln \frac{(l_i + \sqrt{l_i^2 + r_i^2})}{r_i} - \sqrt{l_i^2 + r_i^2} + r_i \} + \left[ 2z_i^K \cdot \ln \frac{2z_i^K + \sqrt{(2z_i^K)^2 + r_i^2}}{r_i} - \sqrt{(2z_i^K)^2 + r_i^2} \right] + \\ + \left[ 2z_i^H \cdot \ln \frac{2z_i^H + \sqrt{(2z_i^H)^2 + r_i^2}}{r_i} - \sqrt{(2z_i^H)^2 + r_i^2} \right] - 2 \left[ (z_i^H + z_i^K) \cdot \ln \frac{(z_i^H + z_i^K) + \sqrt{(z_i^H + z_i^K)^2 + r_i^2}}{r_i} - \sqrt{(z_i^H + z_i^K)^2 + r_i^2} \right] \} \quad (16)$$

Очевидно, что сопротивление растеканию между двумя идентичными (по размеру и расположению) элементами также будет описываться выражением (16) при замене в нем радиуса  $r_i$  на расстояние  $d$ . Для вертикального элемента, выходящего на поверхность земли, получим в соответствии с выражениями (15) и (16):

$$R_{ij} = \frac{\rho_r}{4\pi l_i^2} \{ 2l_i \cdot \ln \frac{(2l_i + \sqrt{4l_i^2 + r_i^2})}{r_i} - \sqrt{4l_i^2 + r_i^2} + r_i \}. \quad (17)$$

### Сопротивление растеканию между горизонтальным и вертикальным элементами.

Обозначив координаты  $i$ -го элемента ( $a_i^H, a_i^K, b_i, z_i$ ), а  $j$ -го соответственно ( $b_j^H, b_j^K, a_j, b_j$ ) и проведя двойное интегрирование выражения (1) по координатам  $a_i$  и  $z_j$  вдоль обоих элементов получим для случаев  $z_j^H < z_j^K \leq z_i$  и  $z_i \leq z_j^H < z_j^K$ :

$$R_{ij} = \frac{\rho_r}{4\pi l_i l_j} \{ [F_4(a_1, b_0, c_1) + F_4(a_2, b_0, c_2) - F_4(a_1, b_0, c_2) - F_4(a_2, b_0, c_1)] \}, \quad (18)$$

где  $F_4(a, b, c) = a \cdot \text{Arsh} \frac{c}{\sqrt{a^2 + b^2}} + b \cdot \text{Arsh} \frac{a}{\sqrt{b^2 + c^2}} - b \cdot \text{arctg} \frac{ac}{b \cdot \sqrt{a^2 + b^2 + c^2}}$ ;

$$b_0 = |b_i - b_j|, c_3 = z_i + z_j^H, c_4 = z_i + z_j^K;$$

$$a_1 = (a_i^H - a_j) \text{ и } a_2 = (a_i^K - a_j) \text{ при } a_i^K > a_i^H \geq a_j;$$

$$a_1 = (a_j - a_i^k) \text{ и } a_2 = (a_j - a_i^h) \text{ при } a_i^h < a_i^k \leq a_j; \text{ при } z_j^h < z_j^k \leq z_i.$$

В решении (18) при  $a = 0$  или  $c = 0$  функция  $F_4(a, b, c)$  обращается в нуль, а при  $b = 0$  равен нулю только третий член этой функции, содержащий арка-тангенс. В соответствии с этим при выходе вертикального элемента на поверхность земли ( $z_j^h = 0$ ) рассматриваемое решение упростится и для  $z_j^h < z_j^k \leq z_i$  примет следующий вид:

$$R_{ij} = \frac{\rho_r}{4\pi l_i l_j} [F_4(a_1, b_0, c_1) + F_4(a_2, b_0, c_5) - F_4(a_1, b_0, c_5) - F_4(a_2, b_0, c_1)], \quad (19)$$

где  $c_5 = c_1 + 2l_i$ .

В случае, когда на поверхность земли выходят и вертикальный и горизонтальный элементы, решение (18) записывается в виде:

$$R_{ij} = \frac{\rho_r}{2\pi l_i l_j} [F_4(a_2, b_0, c_6) - F_4(a_1, b_0, c_6)], \quad (19)$$

где  $c_6 = l_j$ .

**Вывод.** Представленные выражения позволяют определить сопротивления растеканию искусственных заземлителей электроустановок (например, подстанций) с учетом взаимного расположения элементов.

*Demin Yu. V., Ivanov G. V., Kislitsyn E. Yu., Palagushkin B. V.,  
Polunin M. A., Romanov M. N., Shmakov D. A.*

#### DETERMINATION OF THE SPREADING RESISTANCE OF THE ARTIFICIAL GROUNDING OF THE ELECTRICAL INSTALLATION TAKING INTO ACCOUNT THE MUTUAL ARRANGEMENT OF THE ELEMENTS

*Surgut*

The aim of the article is to update the method of determining the resistance of the linear artificial grounding taking into account their mutual arrangement. The way of calculation based on double integration is presented.

*Keywords: spreading resistance, the grounding device, substation.*

#### Список использованной литературы

1. Бургсдорф В. В., Якобс А. И. Заземляющие устройства электроустановок. М. : Энергоатомиздат, 1987. 400 с.
2. Дёмин Ю. В. и др. Обеспечение долговечности электросетевых материалов и конструкций в агрессивных средах : т. 2 ; под. ред. В. П. Горелова. Новосибирск : Новосиб. гос. акад. вод. трансп., 1998. 198 с.
3. Дёмин Ю. В. и др. Обеспечение долговечности электросетевых материалов и конструкций в агрессивных средах : т. 1 ; под. ред. В. П. Горелова. Новосибирск : Новосиб. гос. акад. вод. трансп., 1998. 210 с.

УДК 654.948:622.3

*Дёмко А. И., Лобанов П. Ю.*

## УНИВЕРСАЛЬНЫЙ ГАЗОСИГНАЛИЗАТОР

г. Сургут

Авторы статьи рассматривают построение автономных газосигнализаторов для обнаружения газа или паров нефтепродуктов, объединенных беспроводной сетью сбора данных. Обсуждаются возможности использования нелицензируемых диапазонов частот 433.075–434.750 (868,7–869,2) МГц. Комментируются особенности построения радиосетей на основе пакетного протокола *Simplex II*.

*Ключевые слова:* нефтепродукты, взрывоопасность, газовый сенсор, сигнализатор.

Нефтегазовая отрасль, дающая углеводороды для обеспечения жизнедеятельности человека, одновременно является потенциальным источником опасности для человека и окружающей среды из-за повышенной опасности пожаров и взрывов. Значительное число аварий в этой отрасли связано с отсутствием, несовершенством или ненадежностью работы контрольно-измерительных приборов для контроля превышения уровня допустимой концентрации пожаро- и взрывоопасных газов и паров нефтепродуктов на производственных площадках.

Для контроля наличия газов и паров нефтепродуктов выпускаются газоанализаторы и газосигнализаторы, причем первые предназначены для измерения концентрации, а вторые – только для сигнализации факта превышения концентрации над установленным порогом [1]. Существенно различны у них и способы отображения информации: индикаторная панель для первого типа приборов и элементы тревожной сигнализации (сирены, проблесковые маяки) для второй.

Универсальный газосигнализатор предназначен как для стационарного размещения во взрывоопасных местах, так и для оперативной установки при проведении ремонтно-восстановительных и аварийных работ. Факт превышения концентрации газа над установленным порогом приводит к формированию местных тревожных сигналов (звукового и оптического), а также передается по радиоканалу на центральный диспетчерский пункт.

Газосигнализатор представляет собой помещенные во взрывозащищенный корпус оптический датчик газа с аэродинамической трубой, схему обработки, оптический и звуковой тревожные излучатели и радиомодем с антенной для передачи тревожного сигнала по радиоканалу. Взрывозащищенный корпус может быть дополнительно оборудован тревожной кнопкой.

В основе газосигнализатора лежит использование оптического датчика для определения концентрации газа. Микропроцессор производит обработку выходного сигнала оптического датчика для вычисления концентрации продукта и определения факта превышения концентрацией порогового уровня. По результатам обработки микропроцессор выдает команды на формирование местных (звукового и оптического) тревожных сигналов и передачу посредством радиомодема тревожного сигнала по радиоканалу на диспетчерский пункт. Дублирование звукового, оптического и радиоканала передачи тревожного сигнала повышает функциональные возможности газосигнализатора, а также обеспечивает повышение безопасности работников производства.

Газосигнализатор помещается во взрывобезопасный корпус с аэродинамической трубой для увеличения скорости и интенсивности взаимодействия газовой среды с сенсором.

Размещенные на производственной площадке газосигнализаторы в соответствии с ведомственными техническими условиями [2] объединены протоколом «звезда» в сеть из око-

нечных устройств и координатора, собирающего по радиоканалу данные радиомодемом диспетчерского пункта. Сеть организуется в нелицензируемом диапазоне частот (433 или 868 МГц) и работает в одном из двух режимов – режим подтверждения связи и режим передачи тревожного сигнала.

В режиме подтверждения связи радиомодем каждого из газосигнализаторов с запрограммированным периодом повторения (от одного до 10 раз в час) передает на пункт сбора сигнал с текущими данными (температура, концентрация газа, значения установленных порогов, статус аварий по питанию и работоспособности датчика). Координатор возвращает по радиоканалу подтверждение приема данных. При организации сети происходит синхронизация работы координатора и оконечных устройств: каждое из оконечных устройств работает в своем временном интервале, чем обеспечивается отсутствие коллизий. Для сети из 30 оконечных устройств, скорости передачи данных 9,6 кБит/с временное окно для одного радиообмена составляет около 50 мс, а время передачи данных от всех датчиков – не более 1,5 секунд. Оставшееся время до нового периода повторения разбивается на временные интервалы молчания радиомодемов.

При превышении концентрации установленного порога радиомодем данного оконечного устройства передает тревожный сигнал в своем временном окне ближайшего интервала молчания. При этом задержка между моментом появления события и его передачей координатору не превышает 3 секунд (норматив – не более 10 секунд).

Если из-за ухудшения помеховой обстановки или затенений отсутствует непосредственная связь между каким-либо оконечным устройством и координатором, то автоматически организуется путь ретрансляции через другие оконечные устройства.

В качестве протокола организации сети выбран протокол *SimpliciTI™*, работающий по топологиям «звезда», «звезда с ретрансляцией» для беспроводных сенсорных сетей размером до 100 узлов.

Несколько опытных экземпляров собрано на основе конструктива и печатных плат стационарного газоанализатора ИГМ-10 (ООО «ЭМИ-прибор», Санкт-Петербург) [3]. В исходный прибор ИГМ-10 внесены изменения, добавлен радиомодем на 433 МГц и приемопередающая антенна. Проведены испытания макетных образцов на производственной площадке ООО «Информат» (г. Сургут).

От ООО «Малое инновационное предприятие «Беспроводные и Измерительные Технологии» (ООО БИТ) подана заявка на полезную модель «Сигнализатор загазованности» (РФ № 2016144094 от 10.11.2016 г.).

Газосигнализатор объединяет в себе местную (звуковую и световую) и удаленную (по радиоканалу) сигнализацию с высокой оперативностью и достоверностью за счет аэродинамической трубы, увеличивающей скорость и интенсивность взаимодействия газовой среды с сенсором. Большая продолжительность автономной работы от встроенной батареи определяется энергоэкономичной схемой и ориентированным на беспроводные сенсорные сети протоколом передачи данных *SimpliciTI™*.

*Demko A. I., Lobanov P. U.*

## **UNIVERSAL DETECTOR**

*Surgut*

This article explains how to build a wireless network for gathering data for the detection of gas and vapours of the petroleum products. The possibility of using the unlicensed bands of frequencies, 433.075–434.750 (868,7–869,2) MHz is considered. The article discusses the peculiarities of radio networks based on the packet Protocol *Simplici TI*.

*Key words: petroleum products, explosiveness, gas sensor, alarm.*

### Список использованной литературы

1. ГОСТ Р ЕН 13528-3-2010: Качество атмосферного воздуха. Диффузионные пробоотборники, используемые при определении содержания газов и паров. Требования и методы испытаний.
2. ТУ-ГАЗ-86 Требования к установке датчиков сигнализаторов и газоанализаторов. URL: <http://kipkomplekt.ru/jurnal/tu-gaz-86.php> (дата обращения: 17.04.2017).
3. Автономный стационарный газоанализатор ИГМ-10. URL: <http://igm-pribor.ru/-produksiya-i-stoimost/gazoanalizatory-statsionarnye/statsionarnyj-opticheskij-gazoanalizator-igm-10-s-batarejnum-pitanie/> (дата обращения: 17.04.2017).

УДК 621.311:519.876.2

*Занин А. С., Бушмелева К. И.*

### АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ПОДМЕНЫ ДАННЫХ НА ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЙ ОБ ИЗМЕНЕНИИ РЕЖИМА РАБОТЫ ЭЭС

г. Сургут

Авторы статьи описывают систему управления режимами ЭЭС Российской Федерации и подход к принятию решения при изменении функционального состояния оборудования. Проведено 3 этапа исследования влияния различного рода подмен, данных на сходимость алгоритма оценивания состояния.

*Ключевые слова:* автоматизированная система управления, оценивание состояния, принятие решений, ведение режима.

В настоящее время решением задач по управлению режимами ЭЭС системы Российской Федерации занимается ОАО «СО ЭЭС». Основным способом получения предварительного заключения о состоятельности той или иной режимной модификации, производимой как в оперативном, так и в плановом порядке, является заключение о сходимости алгоритма так называемой Оценки Состояния<sup>1</sup> (ОС) [1]. Программные комплексы реализующее алгоритмы ОС используют телеметрию (ТМ), посылающую в диспетчерские центры (ДЦ) системного оператора, и по сути моделируют процессы электротехники на основе математических зависимостей и физических законов (законы Кирхгофа). На сегодняшний день для поддержания полной модели электроэнергетической системы (ЭЭС) России в актуальном состоянии и производства расчетов режима в СО используется Программно-аппаратный комплекс «трехуровневая автоматизированная система по формированию расчету физических и эквивалентных моделей» (ПАК ТАС). ПАК ТАС построен на основе открытого стандарта построения общих информационных моделей Common Information Model (CIM) и использует ТМ поступающую в ДЦ всех уровней по различным каналам передачи данных (КПД) с использованием различных протоколов! В виду того что средний возраст оборудования электроэнергетики на начало 2017 года составляет 25 лет [3], можно говорить о том, что во многих ДЦ используются данные ТМ, получаемые по устаревшим каналам передачи данных с использованием устаревших протоколов. Ниже в работе описаны этапы и представлены результаты исследования воз-

---

<sup>1</sup> Оценивание состояния – нахождение статистических оценок параметров режима, удовлетворяющих некоторому критерию качества

возможности влияния подмены данных, передаваемых по незащищенным КПД на принятие решения по изменению функционального состояния оборудования электроэнергетической системы страны.

Авторами работы на момент публикации данной статьи были реализованы 3 из 6 запланированных этапов исследования, на каждом из которых использовалась актуальная на дату проведения эксперимента модель ЭЭС Тюменской области и срез телеметрии за 03:00; 07:00; 12:00; 18:00; 22:00; (выбор времени обусловлен среднесуточными минимумами и максимумами потребления электроэнергии) в один из дней апреля 2017 года (с целью обеспечения безопасности дата не раскрывается). Подмена случайных параметров производилась с использованием генератора случайных чисел с заданием порядка (порядок устанавливался равным порядку действительных данных ТМ) и без. Смысл проведения исследования с заменой данных телеметрии на данные других порядков заключается в проверке сходимости ОС при отсутствии предварительной отбраковки ТМ с контролем по физическим пределам, которая в реальной жизни естественным образом включена в регламент предварительной обработки сырых данных ТМ (необходимо для получения факта отсутствия сходимости ОС при использовании заведомо ложных параметров ТМ). На рисунке 1 приведены общие для всех этапов испытаний настройки терминала интерактивного анализа режимов.

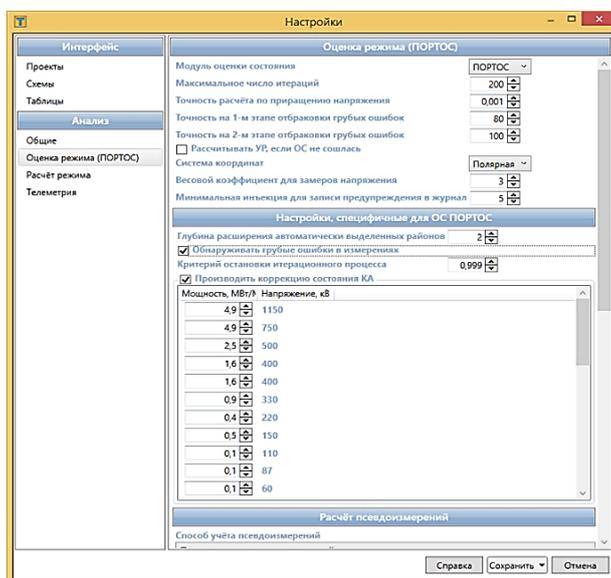


Рис. 1. Настройки оценки режима «Терминала интерактивного анализа режимов»

1 этап исследования: «Оценивание состояния с использованием ПАК ТАС на основе данных, получаемых ДЦ АО «СО ЕЭС» Региональное диспетчерское управление энергосистемами Тюменской области, ХМАО и ЯНАО» [2]. Полученные данные показали, что ОС сходится при использовании действительной ТМ.

2 этап исследования: «Оценивание состояния с использованием ПАК ТАС на основе данных получаемых ДЦ АО «СО ЕЭС» Региональное диспетчерское управление энергосистемами Тюменской области, ХМАО и ЯНАО» и единичными подменами ТМ на значения более высоких порядков. Было выяснено, что единичные подмены данных ТМ на значения более высоких порядков на сходимость оценки состояния практически не влияют. В 24 из 25 проведенных экспериментов подмененное значение ТИ было отбраковано как фальшивое. Не отбраковка одного значения обусловлена тем фактом что подмененный параметр ТИ не был использован в ОС.

3 этап исследования: «Оценивание состояния с использованием ПАК ТАС на основе данных получаемых ДЦ АО «СО ЕЭС» Региональное диспетчерское управление энергосистемами Тюменской области, ХМАО и ЯНАО. Было выяснено, что единичные подмены данных

ТМ на сходимость оценки состояния практически не влияют. Самым интересным на данном этапе является тот факт, что лишь в 3 из 25 проведенных экспериментов подмененное значение ТИ было отбраковано как фальшивое.

В результате проведенных этапов исследования была получена информация об абсолютной сходимости ОС при единичных подменах данных. Такой результат обусловлен отбраковкой большинства параметров ТМ, имеющих порядок больший, чем действительная ТМ. Наибольший же интерес связан с третьим этапом исследования, на котором было выяснено что ОС сходится фактически при любой подмене данных ТМ на параметры схожего порядка. Этот факт может говорить о возможности влияния подмены ТМ на принятие решений по изменению функционального состояния ЭЭС и приводит к выводу о необходимости дальнейшего анализа. Кроме того, полученные на третьем этапе исследования данные, заставляют пересмотреть подход ко всему исследованию в целом, по причине осознания авторами данной работы факта влияния на принятие управленческого решения, исходя и из отсутствия сходимости ОС при использовании ложной ТМ.

*Zanin A. S., Bushmeleva K. I.*

### **ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF THE DATA SUBSTITUTION ON THE DECISION-MAKING TO CHANGE UPS OPERATION MODE**

*Surgut*

The authors give a general description of the system for controlling the modes of UPS of the Russian Federation and the approach to making a decision when the functional state of the equipment is changed. Three stages of the investigation of the influence of various kinds of substitutions, data on the convergence of the state estimation algorithm, were carried out.

*Keywords: automated control system, state estimation, decision-making, modes maintenance.*

#### **Список использованной литературы**

1. Гамм А. З., Герасимов Л. Н., Колосок И. Н. и др. Оценивание состояния в электроэнергетике. М. : Наука, 1983. 320 с.
2. Занин А. С., Бушмелева К. И. Автоматизированная система управления технологическим процессом как сложная система (на примере автоматизированной системы диспетчерского управления энергосистемой Тюменской области) //Северный регион: наука, образование, культура. 2015. Т. 2, № 2 (32). С. 87–89.
3. Официальный сайт министерства энергетики Российской Федерации <http://minenergo.gov.ru/>.

УДК 621.316.8:519.876.2

**Рыжаков В. В., Горелов С. В. Сальников В. Г., Денчик Ю. М.,  
Кислицин Е. Ю., Рыковский Н. А.**

**ВЛИЯНИЕ РЕЗИСТОРА В НЕЙТРАЛИ СЕТИ 6-35 кВ  
НА КОНДУКТИВНУЮ НИЗКОЧАСТОТНУЮ ЭЛЕКТРОМАГНИТНУЮ ПОМЕХУ  
ПО ТОКУ ОДНОФАЗНОГО ЗАМЫКАНИЯ НА ЗЕМЛЮ**

г. Сургут

Авторы статьи исследуют влияние резистора в нейтрали сети от 6 до 35 кВ на кондуктивную электромагнитную помеху по току замыкания на землю. Предложена математическая модель.

*Ключевые слова:* ток замыкания на землю, резистор в нейтрали сети, кондуктивная электромагнитная помеха.

Исследовано влияние резистора в нейтрали сети от 6 до 35 кВ на кондуктивную электромагнитную помеху по току замыкания на землю. Предложена математическая модель.

При гармоническом воздействии и несимметрии напряжений по обратной последовательности в сети от 6 до 35 кВ ток замыкания фазы на землю значительно возрастает по сравнению с током при качественной электроэнергии. Для прогнозирования этого тока при металлическом замыкании, когда активное сопротивление  $R_3$  в месте замыкания на землю не учитывается ( $R_3 = 0$ ), используется математическая модель [6; 7]

$$I_3 = I_C + kI_C M[K_U], \quad (1)$$

где  $I_C$  – емкостный ток замыкания на землю при синусоидальном и симметричном напряжении в сети, А;

$k = 0,05 - 0,1$  – коэффициент, учитывающий нелинейную зависимость тока  $I_3$  от гармонического воздействия при несимметрии напряжений по обратной последовательности;

$M[K_U]$  – математическое ожидание суммарного коэффициента искажения синусоидальности кривой напряжения, %.

Относительная ошибка расчетов по этой формуле с вероятностью 0,95 находится в пределах  $\pm 10\%$  при  $0 < K_{2U} \leq 4\%$ , где  $K_{2U}$  – коэффициент несимметрии напряжений по обратной последовательности.

При превышении  $I_3$  допустимого значения  $I_{c,\delta}$  сверх установленного времени, обусловленных [3], в сети появляется кондуктивная низкочастотная магнитная помеха (ЭМП) по току замыкания на землю. Сеть от 6 до 35 кВ рассматривается как рецептор к качеству напряжения. В этом случае эта помеха представляется выражением [7]

$$\delta I_3 = I_3 / I_{c,\delta}. \quad (2)$$

Одним из эффективных способов подавления  $\delta I_3$  является заземление нейтрали сети через резистор. Однако при этом необходимо выбрать такое сопротивление резистора, чтобы оно обеспечивало допустимое увеличение тока  $I_3$  в момент замыкания и гашения дуги в месте замыкания. В связи с этим в данной статье предлагается решение первой задачи – оценить влияние сопротивления резистора в нейтрали сети от 6 до 35 кВ на кондуктивную низкочастотную ЭМП  $\delta I_3$ .

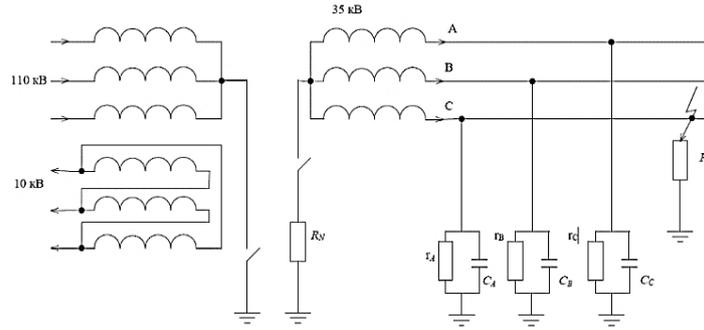


Рис. 1. Схема замещения сети напряжением 35 кВ с резистором  $R_N$  в ее нейтрали

Первоначально исследуем зависимость тока  $I_3$  от величины сопротивления резистора  $R_N$  в нейтрали сети с учетом сопротивления  $R_3$ . На рисунке 1 представлена схема замещения сети напряжением 35 кВ с резистором  $R_N$  в ее нейтрали, где  $r_A, r_B, r_C$  – соответственно активное сопротивление пути утечки тока через изоляцию фаз  $A, B, C$ ;  $C_A, C_B, C_C$  – емкость фаз линии относительно земли;  $R_3$  активное сопротивление в месте замыкания фазы  $A$  на землю.

Проводимость  $Y_{A3}$  замкнувшейся на землю фазы  $A$  составляет

$$Y_{A3} = \frac{1}{R_3} + j\epsilon_A, \quad (3)$$

где  $\epsilon_A$  – емкостная проводимость фазы  $A$ .

Напряжение фазы  $A$  при замыкании

$$\dot{U}_{A3} = \dot{U}_A - \dot{U}_N, \quad (4)$$

где  $\dot{U}_A$  – напряжение фазы  $A$  по ее замыканию на землю;  $\dot{U}_N$  – напряжение смещения нейтрали.

Напряжение смещения нейтрали определяется по формуле [1]

$$\dot{U}_N = \frac{\dot{U}_A \dot{Y}_{A,3} + \dot{U}_B \dot{Y}_B + \dot{U}_C \dot{Y}_C}{\dot{Y}_{A,3} + \dot{Y}_B + \dot{Y}_C + \dot{Y}_N}. \quad (5)$$

Пусть фазные напряжения источника симметричны и напряжение фазы  $A$  направлено по действительной оси. Тогда  $\dot{U}_A = U$ ;  $\dot{U}_B = a^2 U$ ;  $\dot{U}_C = a U$ , где  $a$  – фазный множитель.

$$a = -\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}; a^2 = -\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2}.$$

С учетом указанных фазных напряжений, выражение (5) принимает вид

$$\dot{U}_N = \frac{\dot{Y}_{A,3} + a^2 \dot{Y}_B + a \dot{Y}_C}{\dot{Y}_{A,3} + \dot{Y}_B + \dot{Y}_C + \dot{Y}_N}. \quad (6)$$

Тогда ток замыкания на землю  $I_3$  будет равен

$$\dot{I}_3 = \dot{U}_{A,3} \dot{Y}_3 = \dot{Y}_3 (\dot{U}_A - \dot{U}_N) = U \dot{Y}_3 \frac{\dot{Y}_B (1-a^2) + \dot{Y}_C (1-a) + \dot{Y}_N}{\dot{Y}_{A,3} + \dot{Y}_B + \dot{Y}_C + \dot{Y}_N}. \quad (7)$$

Если положить одинаковыми проводимости всех фаз относительно земли, т. е.  $\dot{Y}_A = \dot{Y}_B + \dot{Y}_C = \dot{Y}$ , то с учетом значения фазного множителя  $a$ , выражение (7) преобразуется к виду:

$$\dot{I}_3 = U \dot{Y}_3 \frac{3\dot{Y} + \dot{Y}_N}{3\dot{Y} + \dot{Y}_3 + \dot{Y}_N}. \quad (8)$$

Активные проводимости фаз значительно меньше емкостных проводимостей. Если ими пренебречь, то выражение (8) можно преобразовать к виду

$$I_3 = U \left[ \frac{(R_N + R_3) + (3\vartheta)^2 R_N^2 R_3^2}{(R_N + R_3)^2 + (3\vartheta)^2 R_N^2 R_3^2} + j \frac{3\vartheta R_N (R_N + R_3 - R_N R_3)}{(R_N + R_3)^2 + (3\vartheta)^2 R_N^2 R_3^2} \right] = I_{3,a} + jI_{3,p}, \quad (9)$$

где  $I_{3,a} + jI_{3,p}$  – активная и реактивная составляющая тока замыкания на землю.

Модуль тока замыкания на землю составляет

$$|I_3| = \sqrt{I_{3,a}^2 + I_{3,p}^2}. \quad (10)$$

При математическом замыкании фазы на землю, т. е. когда  $R_3 = 0$ , можно записать

$$|I_3| = U \sqrt{(1/R_N)^2 + (3\vartheta)^2}. \quad (11)$$

Включение резистора проводимостью

$$\frac{1}{R_N} = 3\vartheta m, \quad (12)$$

в нейтраль сети приводит к изменению тока замыкания на землю ( $m = 1, 2, 3, \dots$ ). В этом случае можно записать

$$|I_3| = 3U\vartheta \sqrt{1+m^2}. \quad (13)$$

Таким образом, если  $m = 1,0$ , т. е.  $(1/R_N) = 3\vartheta$ , то ток замыкания возрастет в  $\sqrt{2}$  раз. Дальнейшее увеличение коэффициента  $m$ , т. е. дальнейшее снижение резистора  $R_N$ , приведет к увеличению тока замыкания на землю.

Теперь, выражая  $I_3$  через кондуктивную низкочастотную ЭМП  $\delta I_3$  в соответствии с формулой (2), можем на основании математической модели (9) записать

$$\delta I_3 = \frac{U}{I_{c,\delta}} \left[ \frac{(R_N + R_3) + (3\vartheta)^2 R_N^2 R_3^2}{(R_N + R_3)^2 + (3\vartheta)^2 R_N^2 R_3^2} + j \frac{3\vartheta R_N (R_N + R_3 - R_N R_3)}{(R_N + R_3)^2 + (3\vartheta)^2 R_N^2 R_3^2} \right]. \quad (14)$$

Таким образом, видно, что  $\delta I_3$  в значительной степени определяется сопротивлениями  $R_N$  и  $R_3$ . Сопротивление  $R_N$  обуславливает горение дуги в месте пробоя изоляции, поэтому

определяется режимом сети, а сопротивление  $R_3$  определяется классом напряжения. Так, для сети 35 кВ при пробое гирлянды изоляторов на железобетонной или металлической опоре можно принять  $R_3 = (10-30)$  Ом, т. е. это сопротивление равно сопротивлению растекания тока заземления опоры. Однако учет сопротивления в месте замыкания до 30 Ом дает небольшое снижение тока замыкания на землю, которым допустимо пренебречь [1].

**Ryzhakov V. V., Gorelov S. V., Salnikov V. G., Denchik Yu. M.,  
Kislitsin E. Yu., Rykovskiy N. A.**

### **INFLUENCE OF THE RESISTOR IN THE NEUTRAL OF THE NETWORK OF 6-35 KV ON THE CONDUCTIVE LOW FREQUENCY ELECTROMAGNETIC INTERFERENCE ON THE SINGLE-PHASE GROUND FAULT CURRENT**

*Surgut*

The influence of the resistor in the neutral of the network from 6 up to 35 kV on the conductive electromagnetic interference on the ground-fault current is investigated. The mathematical model is offered.

*Keywords: ground-fault current, resistor in the neutral of the network, conductive electromagnetic interference.*

#### **Список использованной литературы**

1. Денчик Ю. М. Методика определения кондуктивной низкочастотной в электрической сети при гармоническом воздействии // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. 2013. № 2. С. 218–221.
2. Иванова Е. В. Обеспечение электромагнитной совместимости в системах электропитания общего назначения мощных электротермических нагрузок / Промышленная энергетика. 2004. № 11. С. 50–54.
3. Горелов В. П., Горелов С. В., Горелов В. С., Григорьев Е. А. Композиционные электросетевые конструкции для энергоснабжения ; под ред. В. П. Горелова. 3-е изд. перераб. и дополн. Новосибирск : Сибир. гос. ун-т водн. трансп., 2016. 443 с. URL: [https://www.directmedia.ru/book\\_445837\\_kompozitsionnyie\\_elektrosetevyie\\_-konstruktsii\\_dlya\\_energospabjeniya/](https://www.directmedia.ru/book_445837_kompozitsionnyie_elektrosetevyie_-konstruktsii_dlya_energospabjeniya/).
4. Короткевич М. А. Основные направления совершенствования эксплуатации электрических сетей / Мн.: ЗАО «Техноперспектива», 2003. 373 с.
5. Лизалек Н. Н. [и др.] Перенапряжения и молниезащита : учеб. пособие / под ред. С. В. Горелова, В. П. Горелова. 4-е изд., доп. Новосибирск: Новосиб. гос. акад. водн. трансп., 2014. 320 с. URL: [https://www.directmedia.ru/book\\_364598\\_perenapryajenie\\_i\\_molniezaschita/](https://www.directmedia.ru/book_364598_perenapryajenie_i_molniezaschita/).
6. Сальников В. Г. Электромагнитная обстановка в сети 10 кВ с изолированной нейтралью как рецептора // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. 2009. № 1. С. 219–223.
7. Авербух М. А., Забусов В. В., Пантелеев В. И., Горелов В. П. Системный подход к оценке параметров заземляющих сетей электроустановок северных промышленных комплексов: монография [Электронный ресурс] / – М.-Берлин: Директ-Медиа, 2016. 271 с. Режим доступа: [https://www.directmedia.ru/book\\_447690\\_sistemnyiy\\_podhod\\_k\\_otsenke\\_parametrov\\_-zazemlyayuschih\\_setey\\_elektroustanovok\\_severnih\\_promy/](https://www.directmedia.ru/book_447690_sistemnyiy_podhod_k_otsenke_parametrov_-zazemlyayuschih_setey_elektroustanovok_severnih_promy/).

УДК 621.31.014.2: 621.316.542

*Сальников В. Г., Иванов Д. М.*

## **ПЕРЕХОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ В ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ 10 кВ ПРИ КОММУТАЦИЯХ ВАКУУМНЫМИ ВЫКЛЮЧАТЕЛЯМИ ИНДУКТИВНОЙ НАГРУЗКИ**

*г. Новосибирск*

Авторы статьи приводят результаты экспериментальных исследований переходных процессов в электрической сети 10 кВ при коммутациях вакуумными выключателями индуктивной нагрузки. Установлено: вероятность того, что кратность максимального импульсного напряжения в сети 10 кВ, может достигать 0,318. Параметры кабельной линии на 9...11 % снижают кратность коммутационных импульсных напряжений на изоляции трансформатора.

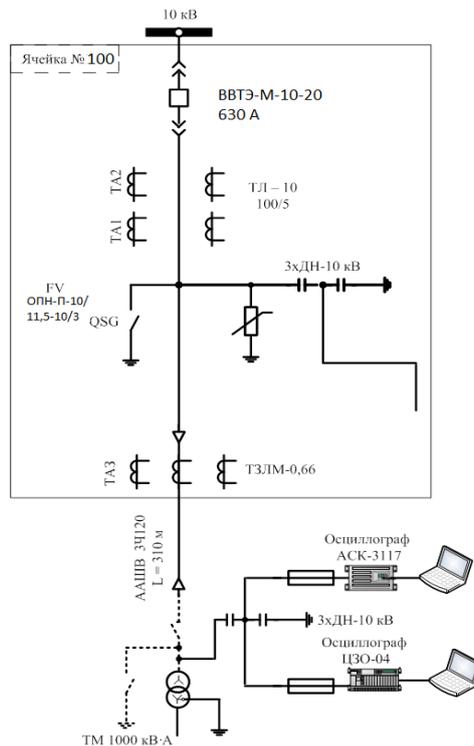
*Ключевые слова:* вакуумный выключатель, коммутационные перенапряжения, кратность максимального импульсного напряжения.

Коммутационные импульсные напряжения, возникающие при коммутации присоединений вакуумными выключателями, за счет высокой кратности и кумулятивного эффекта, представляют значительную опасность для витковой изоляции двигателей и для изоляции оборудования присоединений КРУ 6...10 кВ. Вакуумные выключатели (ВВ) обладают наибольшим коммутационным ресурсом, но имеют наиболее «жесткую» среду гашения дуги (против масляной и элегазовой дугогасящих сред). Степень жесткости оценивается скоростью перехода тока выключателя через нулевое значение, при котором еще возможно гашение дуги высокочастотного тока. Для ВВ  $di / dt = (250-350) \text{ A} / \text{ мкс}$  [1].

Ретроспективный анализ повреждения изоляции в сетях 6–10 кВ предприятий, технологические режимы которых (металлургические, химические и др.) связаны с числом переключений на фидерах до 100 раз в сутки, показал за 6 лет наблюдений высокую аварийность. Число однофазных замыканий на землю увеличилось в среднем в 3,8 раза. Не исключено, что негативный эффект от применения ВВ в сетях других отраслей начнет проявляться несколько позже в силу меньшей интенсивности коммутаций и более медленной деградации изоляции [2].

Для устранения неопределенностей при оценке эффективности применения ВВ для коммутации индуктивной нагрузки были сформулированы следующие вопросы. Какая вероятность появления значительных коммутационных импульсных напряжений, превышающих допустимое значение, на присоединении 10 кВ с индуктивной нагрузкой? Насколько эффективно снижают коммутационные импульсные напряжения параметры силового кабеля 10 кВ (длина, емкости фаз на землю и между собой, индуктивность) и индуктивной нагрузки?

Ответы на эти вопросы получены на основе экспериментального исследования коммутационных импульсных напряжений, которое проводилось на подстанции 10 кВ компрессорной станции «Багандинская» ООО «Газпромтрансгаз Сургут». На рисунке 1 приведена схема подключения измерительного оборудования для осциллографирования коммутационных импульсных напряжений при коммутации вакуумным выключателем присоединения трансформатора типа ТМ 1000 10/0,4 кВ, работающего в режиме холостого хода. Коммутация этого трансформатора мощностью 1000 кВА осуществлялась вакуумным выключателем типа ВВТЭ-М-10-20 (10 кВ, 630 А). Подключение осциллографов к ДН-10 кВ осуществлялось кабелями марки КР-50 длиной до 15 м.



**Рис. 1. Схема подключения измерительного оборудования для осциллографирования коммутационных импульсных напряжений при коммутациях вакуумным выключателем индуктивной нагрузки**

Количество (число) испытаний  $n$  определено с помощью коэффициента вариации  $\gamma$ , показывающего в каком диапазоне меняются коммутационные импульсные напряжения:

$$n = 3,84 \frac{\gamma^2}{\Delta^2}, \quad (1)$$

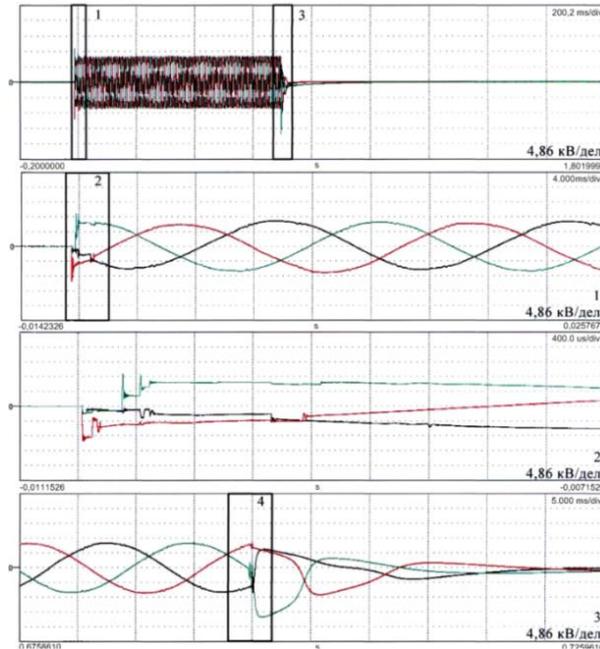
где  $\Delta$  – предел отклонения исследуемой величины, о.е.

При  $\gamma = 5 \div 8$  и  $\Delta = 0,8$  установленных на основании ретроспективного анализа коммутационных процессов, получено  $n = 14$ . Для иллюстрации на рисунке 2 приведена осциллограмма фазных напряжений на шинах 10 кВ подстанции, полученная при 12 опыте. Расчетные значения математических ожиданий  $M[K_i]$  и средних квадратических отклонений  $\sigma[K_i]$  кратностей коммутационных импульсных напряжений (перенапряжений), полученные в зависимости от вида коммутации и места регистрации, представлены в таблице 1.

Таблица 1

**Результаты математической обработки осциллограмм**

Параметры	Место регистрации			
	Шины 10 кВ подстанции в сторону кабельной линии		Шины 10 кВ трансформатора (после кабельной линии)	
	Включение ВВ	Отключение ВВ	Включение ВВ	Отключение ВВ
$i$	1	2	3	4
$M[K_i]$	1,51	1,38	1,46	1,2
$\sigma[K_i]$	0,34	0,35	0,26	0,31



**Рис. 2. Осциллограммы фазных напряжений на шинах 10 кВ подстанции при коммутации вакуумным выключателем индуктивной нагрузки**

Объективность достоверности полученных результатов исследовалась с помощью вероятной ошибки, которая в интервале характеризует отклонение равное половине всей совокупности. При нормальном законе распределения ошибки измерений как случайной величины теории вероятностей и математической статистики показатель точности измерений определялся по формуле:

$$\eta_i = \frac{1}{\sqrt{2} \sigma [K_i]} \quad (2)$$

При этом вероятность  $P_{\eta_i}$  того, что случайная ошибка измерений в пределах  $\pm \eta_i \sigma [K_i]$  составляет определенное значение  $P_{\eta_i} = 0,682$ . Следовательно, вероятность того, что кратность максимального импульсного напряжения ( $K_{\max} = 2,68$ ), зафиксированного в процессе измерений, может достигать 0,318.

Таким образом, данное исследование показало: параметры кабельной линии на 9–11 % снижают кратность  $K_i$  на изоляции трансформатора (индуктивной нагрузки); вероятность превышения допустимых для сети 10 кВ коммутационных напряжений 43 кВ составляет 0,318, т. е. значительная.

*Salnikov V. G., Ivanov D. M.*

## **TRANSITION PROCESSES IN THE 10 KV ELECTRICAL NETWORK WHEN COMMUTING BY VACUUM INDUCTIVE LOAD SWITCHES**

*Novosibirsk*

The article presents results of experimental studies of transient processes in the 10 kV electric network when commuting by vacuum switches of the inductive load. It is established that the probability of the multiplicity of the maximum impulse voltage in a 10 kV network can reach 0.318. The

parameters of the cable line reduce the multiplicity of switching impulse voltages on the transformer insulation by 9 ... 11 %.

*Key words:* switching overvoltage, vacuum switch, multiplicity of maximum impulse voltage.

### Список использованной литературы

1. Данилов Г. А., Денчик Ю. М., Иванов М. Н., Ситников Г. В. Повышение качества функционирования линий электропередачи / Под ред. В. П. Горелова и В. Г. Сальникова. Новосиба. : Новосиб. гос. акад. вод. трансп., 2013. 557 с.
2. Сарин Л. И., Денчик Ю. М., Мочалин К. С. Исследование влияния параметров кабельной линии присоединения 10 кВ с вакуумным выключателем на коммутационные импульсные напряжения // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока, 2012. № 1. С. 344–347.

УДК 621.316.11:621.315

*Сапегина А. А.*

## ОПТИМИЗАЦИЯ РАСЧЕТА НАГРУЗОЧНОЙ СПОСОБНОСТИ КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ В СТРУКТУРЕ ИНЖЕНЕРНЫХ СЕТЕЙ

*г. Сургут*

Автор статьи предлагает эффективное решение расчетных задач для утяжеленных тепловых режимов кабельных линий с изоляцией из сшитого полиэтилена с учетом конструкции кабеля, зависимости теплофизических свойств от материала, конвекции и температуры окружающего воздуха, которое возможно реализовать при помощи приложения, созданного в среде COMSOL Multiphysics и ориентированного на решение пользователем задачи по нахождению максимальной нагрузочной способности проектируемой кабельной линии. Это приложение позволяет формировать свойства, геометрию кабельной линии по введенным пользователем данным и реализовывать решение.

*Ключевые слова:* COMSOL Multiphysics, компьютерное моделирование, кабель с изоляцией из сшитого полиэтилена.

Система передачи электрической энергии с помощью кабельных линий с изоляцией из сшитого полиэтилена (СПЭ) продолжает развиваться в электроэнергетике России, как альтернатива воздушным линиям и кабельным линиям с другими типами изоляции.

Проектирование и эксплуатация кабельных линий с изоляцией СПЭ имеет ряд характерных особенностей, которые необходимо рассматривать при расчете и разработке подземных кабельных линий высокого напряжения, так как пропускная способность кабельных линий с пластмассовой изоляцией ограничивается допустимой температурой нагрева в рабочих условиях 90 °С и кратковременным нагревом до 250 °С в случае возникновения короткого замыкания. Очевидно, что температура оказывает влияние прежде всего на снижение электрических характеристик, механической прочности и срока службы кабеля с изоляцией из СПЭ [1]. Ключевым вопросом при проектировании кабельных линий с пластмассовой изоляцией является определение нагрузочной способности линии, которая напрямую связана с предельной температурой кабеля.

Правильные решения проектов передачи энергии по кабелям с изоляцией из сшитого полиэтилена существенно снижают риск возникновения перебоев в работе из-за опасных тем-

пературных режимов, тем самым исключая расходы на ремонтные работы по восстановлению объекта и обеспечивая надежную работу.

Трасса и условия прокладки кабельных линий определяют тепловые воздействия на конструктивные элементы кабеля. Это связано с тем, что инженерные коммуникации и сети при пересечении и сближении с кабельной линией создают сложность не только в строительных решениях, но и в расчете теплообмена силовой кабельной линии, поскольку внешние коммуникации могут создавать дополнительный подогрев кабеля. Кабельные линии могут прокладываться непосредственно в грунте, либо в специальной кабельной канализации. Одним из распространенных случаев прокладки кабельной линии является прокладка в трубах – металлических или полиэтиленовых. Все вышеперечисленные варианты прокладки создают различные расчетные случаи, которые при заданных условиях прокладки трассы кабельной линии и наличии инженерных коммуникаций, влияющих своим тепловыделением на кабельную линию при сближениях и пересечениях, определяют оптимальную конструкцию кабеля и схему заземления экранов.

Компьютерное моделирование процесса позволяет при проектировании кабельных линий произвести оценку технических возможностей, связанных с электромагнитными и тепловыми процессами в линии электропередач при прокладке в земле. Для реализации расчетов параметров кабельной линии одним из успешных подходов является моделирование в компьютерной среде COMSOL Multiphysics. Преимущества моделирования в данной среде бесспорны. В среде COMSOL Multiphysics аналитическое решение по расчету тепловых и электромагнитных процессов возможно получить с учетом конструкции кабеля, зависимости теплофизических свойств от материала, граничных условий, конвекции и температуры окружающего воздуха.

Эффективным способом оптимизации работы человека, занимающегося расчетом кабельной линии электропередач (рис. 1), может послужить адаптированная для пользователя программная оболочка, которая автоматически реализует расчет физико-математической модели реальных ситуаций при прокладке кабеля в земле после занесения в диалоговые окна приложения геометрических параметров и физических свойств модели (рис. 2). Это позволит минимизировать количество выполняемых действий для получения конечных расчетных данных (рис. 3), а также облегчит анализ и оценку рассматриваемой модели при различных режимах работы и условиях эксплуатации, благодаря наглядности функционала.

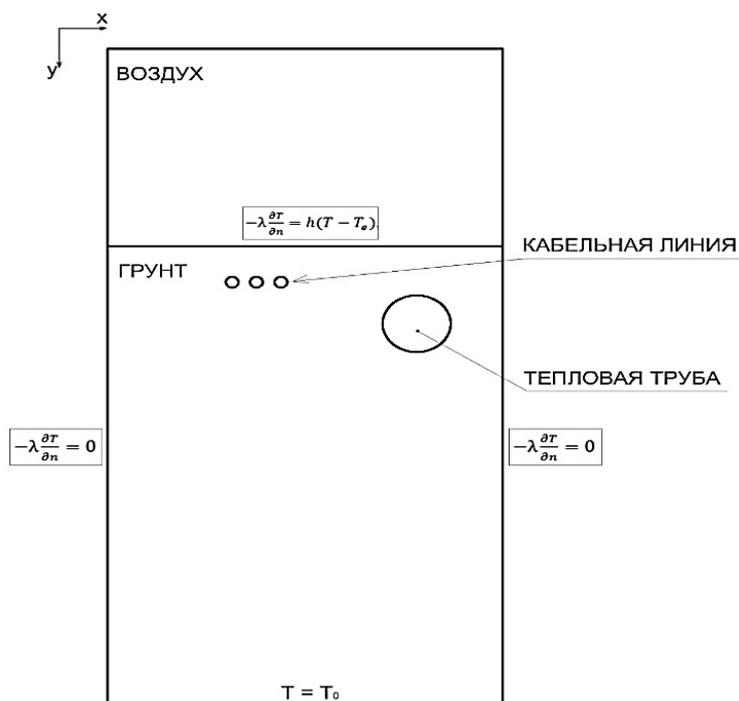


Рис. 1. Расчетная область задачи

Программное приложение включает в себя совместный тепловой и электромагнитный расчет кабельной линии для утяжеленных тепловых режимов (прохождение кабельной линии вблизи теплотрассы), для определения оптимальной нагрузочной способности линии.

ток в жиле, А:	<input type="text" value="500"/>	
радиус ст.трубы внутренний, м:	<input type="text" value="0.1"/>	
радиус ст. трубы внешний, м:	<input type="text" value="0.11"/>	
радиус трубы теплотрассы, м:	<input type="text" value="0.2"/>	
тепловой поток с теплотрассы:	<input type="text" value="200"/>	
радиус жилы кабеля, м:	<input type="text" value="0.016"/>	
радиус изоляции кабеля м:	<input type="text" value="0.025"/>	
радиус экрана кабеля, м:	<input type="text" value="0.0255"/>	Одностороннее заземление экранов или транспозиция
радиус оболочки кабеля, м:	<input type="text" value="0.032"/>	
глубина заложения кабелей, м:	<input type="text" value="1"/>	
теплопроводность грунта:	<input type="text" value="1"/>	
теплоемкость грунта:	<input type="text" value="790"/>	
плотность грунта:	<input type="text" value="2000"/>	
расстояние до теплотрассы, м:	<input type="text" value="2"/>	
глубина заложения теплотрассы, м:	<input type="text" value="2"/>	
выбора материала жилы и экрана, 'Al' или 'Cu':	<input type="text" value="'Al'"/>	
sigma_Al или sigma_Cu:	<input type="text" value="sigma_Al"/>	
температура окр.воздуха, градусы Цельсия:	<input type="text" value="20"/>	

Рис. 2. Параметры модели

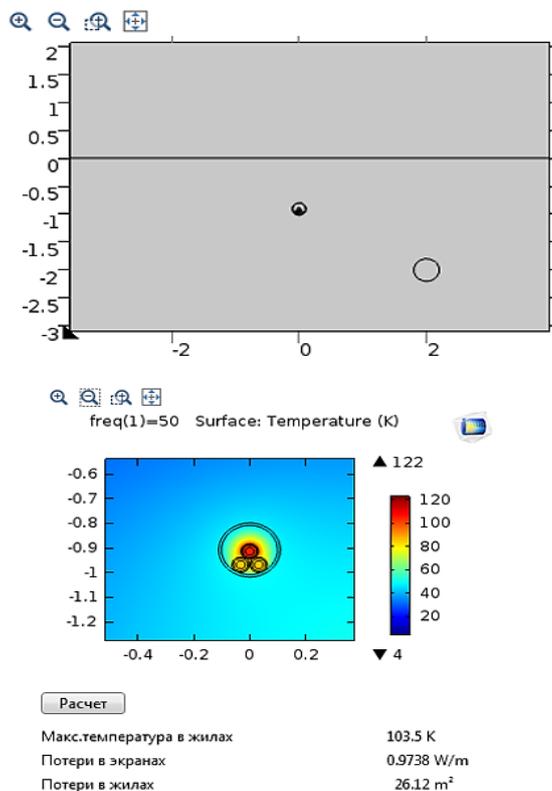


Рис. 3. Результат работы приложения

Приложение позволяет по заданной токовой нагрузке выбрать кабель, проанализировать распределение температуры, оценить потери в экранах и жилах. В зависимости от требований пользователя в приложении возможно реализовать отображение необходимых данных аналитического расчета модели в программной среде (например, отобразить распределение плотности тока в сечении кабельной линии).

*Sapegina A. A.*

## **OPTIMIZATION OF LOAD CAPACITY CALCULATION OF CABLE LINES IN THE STRUCTURE OF ENGINEERING NETWORKS**

*Surgut*

Effective solution of design tasks for heavy thermal conditions of cable lines with XLPE insulation based on the cable construction, the dependence of thermophysical properties on the material, convection and ambient temperature can be realized by using an application created in the COMSOL Multiphysics and aimed at solving user's problem of finding the maximum load capacity of the cable line that is being designed. An application based on the calculation tasks was developed. It allows to form properties and geometry of the cable line based on the data entered by the user and to realize the solution.

*Keywords: COMSOL Multiphysics, computer simulation, cable with XPLE insulation.*

### **Список использованной литературы**

1. Титков В. В., Дудкин С. М., Тукеев П. Д., Косоруков А. В. Ограничения нагрузочной способности кабельных линий электропередачи в структуре инженерных сетей промышленных и гражданских объектов // Инженерно-строительный журнал. 2014. № 6 (50). С. 75–83.

УДК 621.31.05

*Семёнов О. Ю., Иванова Е. В., Иванов М. Н., Спирёв С. М.,  
Толашко Т. А., Иванов Д. М.*

## **ПАРАМЕТРЫ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ПРИ НЕНОРМИРОВАННЫХ ПОКАЗАТЕЛЯХ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ**

*г. Новосибирск*

Авторы статьи рассматривают параметры поля событий в электрической сети. Приведены теоретические основы кондуктивных низкочастотных электромагнитных помех, обусловленных некачественной электроэнергией и распространяющихся по проводам.

*Ключевые слова: электромагнитная совместимость, поле событий, параметр, кондуктивные низкочастотные электромагнитные помехи.*

Нестандартные показатели качества электроэнергии (КЭ) усложняют электромагнитную обстановку (ЭМО) в электрических сетях напряжением от 6 до 750 кВ. Из-за этого нарушаются уровни электромагнитной совместимости (ЭМС) технических средств, в том числе и самих сетей как рецепторов, для кондуктивных низкочастотных электромагнитных помех

(ЭМП), распространяющихся по проводам. В результате снижается качество функционирования технических средств. Между тем в основных нормативно-технических и методических документах [1–2, 6–7, 10–11] не приводятся сведения по определению (расчету или измерению) кондуктивных ЭМП в высоковольтных сетях, обусловленных низким качеством электроэнергии. Анализ этих директивных документов позволяет сформулировать следующие общие выводы об искажающем аспекте качества электроэнергии:

- электрические сети переменного тока не представлены как рецепторы, то есть как технические средства, реагирующие на электромагнитные сигналы и (или) помехи, обусловленные нестандартными показателями КЭ;

- отсутствуют методические указания по расчету кондуктивных низкочастотных ЭМП, распространяющихся по высоковольтным сетям, и параметров ЭМС в сложной ЭМО, обусловленной некачественной электроэнергией в сетях среднего и высокого классов напряжения системы электроснабжения общего назначения;

- отсутствуют методические рекомендации по мониторингу за кондуктивными низкочастотными ЭМП, распространяющимся по сетям электроэнергетической системы;

- не наблюдается различие между стандартными и нестандартными показателями КЭ, последние, обнаруженные (измеренные) средствами измерения, не характеризуют электроэнергию как товар, по ним можно только косвенно судить об электромагнитных процессах в сетях.

Сложившаяся ситуация объясняется недостаточным объемом выполненных исследований по вопросам показателей КЭ и ЭМС технических средств в электрических сетях напряжением от 6 до 750 кВ, неразвитой теорией кондуктивных ЭМП, снижающих параметры ЭМС технических средств.

Практическая значимость необходимости дальнейшего развития теоретических основ и разработки научно-технических положений, указанных ЭМП, влияющих на уровни ЭМС технических средств, обуславливается острой потребностью в повышении эффективности использования электроэнергии и энергетической безопасности регионов страны. После вступления Российской Федерации во всемирную торговую организацию (ВТО) возрастает ответственность энергоснабжающих и энергопотребляющих организаций за качество электроэнергии [9].

Среди показателей КЭ, обозначенных в стандарте [1], особое место занимают те, что не могут быть получены через непосредственные измерения, а только при проведении анализа электрического сигнала. Это показатели, которые определяются по усредненным интервалам (установившееся отклонение напряжения  $\delta U_y$ , коэффициент искажения синусоидальности кривой напряжения  $K_U$ , отклонение частоты  $\Delta f$ , коэффициент  $n$ -ой гармонической составляющей напряжения  $K_{U(n)}$ , коэффициенты несимметрии напряжений по обратной последовательности  $K_{2u}$  и по нулевой последовательности  $K_{0U}$ ).

В [10] с помощью теоремы о параметрах показано, что достоверность усредненных значений достигается при условии непрерывности (интегрируемости) функции  $f(X_i)$  измеряемого показателя КЭ  $X_i$  на интервале усреднения. Это условие соблюдается, если показатели КЭ изменяются в нормируемых пределах. При этом фактически отсутствуют переходные процессы в сетях, продолжительность которых значительно меньше интервала усреднения.

При наличии искажений в электрической сети измеренные показатели КЭ в течение расчетного времени (24 ч) образуют множество, состоящее из различных значений, часть которых не удовлетворяет требованиям стандарта или все показатели КЭ являются нестандартными. Это множество представляет поле событий, обусловленных электромагнитными процессами, протекающими в электрической сети и формирующими ЭМО.

Во время применения метода декомпозиции системного анализа в электроэнергетике разделяется единый сложный электромагнитный процесс в электрической сети, обусловленный искажающей нагрузкой на отдельные по названию показатели КЭ. Иными словами, допускается существование самостоятельных электромагнитных процессов, которые вызываются недопустимыми значениями усредненных показателей КЭ. Время протекания сложного

электромагнитного процесса невозможно определить по показаниям электроизмерительных приборов. В связи с этим функцию  $f(X_i)$  нельзя признать непрерывной. Поэтому, согласно теореме о существовании определенного интеграла, она не интегрируется [10]. В этом случае, строго говоря, показания приборов не являются параметрами ЭМО. Из-за этого по показаниям щитовых подстанционных приборов можно только косвенно судить о функционирующих в сетях общего назначения электромагнитных процессах, нарушающих ЭМС технических средств.

Для того чтобы показания приборов отображали ЭМО, необходимо исключить интервалы усреднения. Это возможно при условии изменения концепции построения этих приборов: наделения их первичной и главной функцией многоканального осциллографирования процессов и сохранения всех присущих им полезных функций [3; 5].

В связи с этим исследования переходных процессов искажений напряжения и частоты необходимо осуществлять путем осциллографирования (графический способ) и дальнейшей обработки осциллограмм на компьютерах по специальным программам. Однако при этом остается неясным: как определять параметры ЭМО, представленной полем событий?

Пусть параметр ЭМО при нестандартном значении  $i$ -го показателя КЭ имеет обозначение  $X_i(t)$ , тогда измеренные значения связаны с полем событий и характеризуются таблицей вероятностей вида [8]

$$X_i(t) \left\{ \begin{array}{l} f(X_1), f(X_2), \dots, f(X_i), \dots, f(X_k) \\ p(X_1), p(X_2), \dots, p(X_i), \dots, p(X_k) \end{array} \right\}. \quad (1)$$

Видно, что каждое событие  $X_i(t) = f(X_i)$  имеет вероятность  $p[X_i(t)] = p(X_i)$ .

Исходными условиями для определения параметров распределения поля событий являются следующие положения:

- показатели КЭ определяются случайными процессами в сетях системы электроснабжения общего назначения, обусловленными многими случайными факторами;
- показатели КЭ измеренные за расчетный период (24 ч) образуют поле событий и характеризуются таблицами вероятностей вида (1);
- нормируемые значения показателей КЭ являются параметрами ЭМО и уровнями ЭМС технических средств для кондуктивных низкочастотных ЭМП в сетях общего назначения, характеризуют электроэнергию как товар;
- нестандартные показатели КЭ не являются параметрами ЭМО, по ним можно только косвенно судить о электромагнитных процессах, нарушающих ЭМС технических средств.

Несмотря на различие по своей природе, рассматриваемые показатели КЭ ( $\delta U_y$ ,  $K_U$ ,  $K_{U(n)}$ ,  $K_{2U}$ ,  $K_{0U}$ ,  $\Delta f$ ) имеют два вида норм: нормально допустимые и предельно допустимые значения. Оценка соответствия этих показателей КЭ требованиям стандарта производится с учетом следующих положений [1]:

- наибольшие значения не должны превышать предельно допустимых значений;
- остальные значения, определенные с вероятностью 95 %, не должны превышать нормально допустимых значений.

Величина  $X_i$  – значение  $i$ -го показателя КЭ является дискретной случайной величиной.

Дискретное распределение считается теоретически заданным, если известны все возможные значения  $X_1, X_2, X_3, \dots, X_k$ , принимаемые величиной, и вероятности  $p(X_1), p(X_2), p(X_3), \dots, p(X_k)$  для каждого события. Так как значения  $X_i$  образуют полную группу событий, то имеем [8]  $\sum_{i=1}^k p(X_i) = 1$ ,

$$\sum_{i=1}^k p(X_i) = 1, \quad (2)$$

где  $k$  – номер последнего значения распределения.

Плотность распределения  $p(X_i)$  обуславливается законом распределения случайной величины  $X_i$ . Параметрами распределения являются математическое ожидание случайной величины (первый начальный момент) и дисперсия (второй центральный момент). По данным [3] распределения значений показателей КЭ за расчетный период наиболее часто соответствуют нормальному и равномерному законам распределения, реже экспоненциальному и другим. Поле событий формирует кондуктивную низкочастотную ЭМП, обусловленную некачественной электроэнергией и распространяющуюся по проводам сетей.

В общем случае процесс возникновения этой помехи по одному из нарушенных показателей КЭ  $X_i = X$  (для простоты записи индекс  $i$  в дальнейшем опускается), нормируемого положительными и отрицательными нормально и предельно допустимыми значениями, представляется математической моделью [11]

$$X \left[ \begin{array}{l} P(X_H < X < X_{II}) + P(-X_{II} < X < -X_H) > 0,05 \\ P(X_{II} < X < \infty) + P(-\infty < X < X_{II}) \neq 0 \end{array} \right] \subseteq \delta X, \quad (3)$$

где  $X \subset \delta X$ ;  $X$  – подмножество  $\delta X$ , в том числе имеется ввиду возможность  $X \subseteq \delta X$ , т. е. между  $X \subset \delta X$  и  $X \subseteq \delta X$  различия не делается;

$\delta X$  – кондуктивная низкочастотная ЭМП, распространяющаяся по сетям;

$X_H, X_{II}$  – соответственно нормально и предельно допустимое положительное значение рассматриваемого показателя КЭ.

Иными словами, кондуктивная низкочастотная ЭМП  $\delta X$  появляется в сетях, если в течение расчетного времени сумма вероятностей  $P(X_H < X < X_{II}) + P(-X_{II} < X < -X_H)$  нахождения  $X$  в пределах  $(X_H, X_{II})$  и  $(-X_H, -X_{II})$  превышает 0,05, а сумма вероятностей  $P(X_{II} < X < \infty) + P(-\infty < X < X_{II})$  появления  $X$  в пределах  $(X_{II}, \infty)$  и  $(-\infty, -X_{II})$  не равна нулю.

Эта кондуктивная ЭМП появляется также при выполнении только одного условия.

Для определения моментов распределения дискретных случайных величин, заданных действительными (вещественными) числами вместо характеристических функций, используются производящие функции [3; 8].

В нашем случае для вычисления моментов распределения (1) используется искусственный прием. Предварительно допускаем [11], что

$$\delta X = \exp(Xt), \quad (4)$$

где  $t$  – время.

Математическое ожидание величины  $\delta X$  будет некоторой функцией от  $t$ , т. е.

$$m_x(t) = M[\exp(Xt)], \quad (5)$$

где суммирование распространяется на все возможные величины  $X$ . Функция  $M[\exp(Xt)]$  является производящей функцией случайной величины  $X$ .

Теперь требуется доказать допустимость нашего предположения – формула (4). С этой целью рассматривается теорема о начальных моментах, которая формирует первое свойство производящей функции.

*Теорема.* Начальные моменты  $v_k$  распределения случайной величины  $X$ , заданного вероятностями  $p(x)$ , равны значениям  $k$ -ой производной от функции  $m_x(t)$  в точке  $t = 0$ , т. е.

$$v_k = \frac{d^k}{dt^k} m_x(t) \Big|_{t=0}, \quad \text{при } k = 1, 2, 3, \dots \quad (6)$$

Кроме того,

$$m_x(0) = v_0 - 1. \quad (7)$$

*Доказательство.* Равенство (7) проверяется непосредственно. Ввиду того, что  $\exp(0) = 1$ , имеем

$$m_x(0) = M[\exp(X \cdot 0)] = M[1] - 1. \quad (8)$$

Однако при любом  $X$ , как известно,

$$\frac{d^k}{dt^k} \exp(Xt) = X^k \exp(Xt), \quad (9)$$

и потому из формулы (5) после дифференцирования  $k$  раз по  $t$ , имеем

$$\frac{d^k}{dt^k} m_x(t) = \sum_X X^k \exp(Xt) p(X). \quad (10)$$

Полагая в этом тождестве  $t = 0$ , получаем

$$\left\{ \frac{d^k}{dt^k} m_x(t) \right\}_{t=0} = \sum_X X^k p(X) = M[X^k] = v_k. \quad (11)$$

Теорема доказана.

*Следствие 1.* Важнейшим следствием этой теоремы является возможность использовать математическое ожидание случайной величины  $X$  для оценки математического ожидания случайной величины  $\delta X$ . Точнее, математическое ожидание случайной величины  $X$ , равняется математическому ожиданию случайной величины  $\delta X$ , то есть

$$M[X] = M[\delta X]. \quad (12)$$

*Следствие 2.* Для величины  $X' = X - v_1$ , то есть при отклонении величины  $X$  от математического ожидания  $v_1$  (центр группирования), справедливо равенство [8]

$$m_{x'}(t) = m_x(t). \quad (13)$$

Следовательно, можно принять, что центральные моменты случайной величины  $X$  и случайной величины  $\delta X$  одинаковы. В частности, одинаковы дисперсии

$$D[X] = D[\delta X], \quad (14)$$

и среднеквадратические отклонения

$$\sigma[X] = \sqrt{D[X]} = \sigma[\delta X] = \sqrt{D[\delta X]}, \quad (15)$$

плотности вероятностей распределения

$$\varphi\{X, M[X], \sigma[X]\} = \varphi\{\delta X, M[\delta X], \sigma[\delta X]\}. \quad (16)$$

Интегральные функции распределения, приведенные в математической модели (3), определяются по выражениям:

$$P(X_H < X < X_{II}) = \int_{X_H}^{X_{II}} \varphi\{X, M[X], \sigma[X]\} dX; \quad (17)$$

$$P(X_{II} < X < \infty) = \int_{X_{II}}^{\infty} \varphi\{X, M[X], \sigma[X]\} dX; \quad (18)$$

$$P(-X_{II} < X < -X_H) = \int_{-X_{II}}^{-X_H} \varphi\{X, M[X], \sigma[X]\} dX; \quad (19)$$

$$P(-\infty < X < -X_{II}) = \int_{-\infty}^{-X_{II}} \varphi\{X, M[X], \sigma[X]\} dX. \quad (20)$$

Вероятность появления кондуктивной ЭМП  $\delta X$  рассчитывается по формуле [11]

$$P(\delta X) = P(X_H < X < X_{II}) + P(X_{II} \leq X \leq \infty) + P(-X_{II} < X < -X_H) + P(-\infty < X < -X_{II}) - 0,05. \quad (21)$$

Таким образом, методика определения моментов распределения параметров поля событий в электрических сетях при сложной ЭМО имеет существенное прикладное значение.

Она позволяет использовать стандартные и нестандартные значения показателей КЭ за расчетный период измерения, полученные с помощью измерительно-вычислительных комплексов типов «Омск-М», «Ресурс-UF», ППКЭ-1-50 и др. для расчета параметров кондуктивных низкочастотных ЭМП, распространяющихся по сетям (математическое ожидание, среднее квадратическое отклонение и вероятность появления за расчетный период. Эта помеха научно-обоснованно характеризует ЭМО в сетях СЭС общего назначения, является параметром ЭМС технических средств.

*Semenov O. Yu., Ivanova E. V., Ivanov M. N., Spirev S. M.,  
Tolashko T. A., Ivanov D. M.*

## PARAMETERS OF ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY OF TECHNICAL MEANS UNDER NON-REGIMENT INDICATORS OF ELECTRICITY QUALITY

*Novosibirsk*

Parameters of the field of events in an electric network are considered. Theoretical bases of the conductive low-frequency electromagnetic interference being caused by the low-quality electric power and extending on wires are given.

*Keywords: Electromagnetic compatibility, field of events, parameter, conductive low-frequency electromagnetic interference.*

### Список использованной литературы

1. Денчик Ю. М., Иванов М. Н. Кондуктивные низкочастотные электромагнитные помехи, распространяющиеся по проводам линий электропередачи // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. 2013. № 2. С. 234–238.

2. ГОСТ 32144-2013. Межгосударственный стандарт. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Норма качества электроэнергии в системах электроснабжения общего назначения (EN 50160: 2010, NEQ). М. : Стандартинформ, 2014. 16 с.
3. Иванова Е. В. Кондуктивные электромагнитные помехи в электроэнергетических системах ; под ред. В. П. Горелова, Н. Н. Лизалека. Новосибирск : Изд-во Новосиб. гос. акад. водн. трансп., 2006. 432 с.
4. Иванова Ю. М., Вишнягов М. Г., Иванова Ю. М., Сальников В. Г. Параметры электромагнитной обстановки в сети с искажающей нагрузкой // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дал. Востока. 2008. № 2. С. 242–247.
5. Горелов С. В., Горелов В. С., Григорьев Е. А. Основы научных исследований : учеб. пособие ; под ред. В. П. Горелова. Новосибирск : Изд-во Сибир. гос. ун-та водн. трансп., 2016. 533 с. URL: [https://www.directmedia.ru/book\\_443846\\_osnovyi\\_nauchnyih\\_issledovaniy/](https://www.directmedia.ru/book_443846_osnovyi_nauchnyih_issledovaniy/).
6. Лизалек Н. Н. [и др.]. Перенапряжения и молниезащита : учеб. пособие ; под ред. С. В. Горелова, В. П. Горелова. Новосибирск : Новосиб. гос. акад. водн. трансп., 2014. 320 с. URL: [https://www.directmedia.ru/book\\_364598\\_perenapryazhenie\\_i\\_molniezaschita/](https://www.directmedia.ru/book_364598_perenapryazhenie_i_molniezaschita/).
7. РД 153-34.0-15.501-00. Методические указания по контролю и анализу качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. Ч. 1, 2. М. : Минэнерго Рос. Федерации, 2000. 127 с.
8. Смирнов Н. В. Курс теории вероятностей и математической статистики. М. : Наука, 1965. 511 с.
9. СО 34.35.311-2004. Методические указания по определению электромагнитных обстановки и совместимости на электрических станциях и подстанциях. М. : ЕЭС России, 2004. 107 с.
10. СТО 56947007-29.240.044-2010. Методические указания по обеспечению электромагнитной совместимости на объектах электросетевого хозяйства. М. : ФСК ЕЭС, 2010. 147 с.
11. Горелов В. П. [и др.]. Энергоснабжение стационарных и мобильных объектов : учеб. пособие : в 3 ч. Ч. 3 ; под ред. В. П. Горелова, Н. В. Цугленка. Новосибирск : Новосиб. гос. акад. водн. трансп., 2007. 228 с. URL: [https://www.directmedia.ru/book\\_428235\\_energospabjenie\\_statsionarnyih\\_i\\_mobilnyih\\_obyektov/](https://www.directmedia.ru/book_428235_energospabjenie_statsionarnyih_i_mobilnyih_obyektov/).

## ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ

УДК 336.74:346.6

*Антюкова Г. А., Гавриленко Т. В.*

### ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КРИПТОВАЛЮТЫ В РОССИИ И ЕЕ ВОВЛЕЧЕННОСТЬ В МОШЕННИЧЕСКИЕ СХЕМЫ

г. Сургут

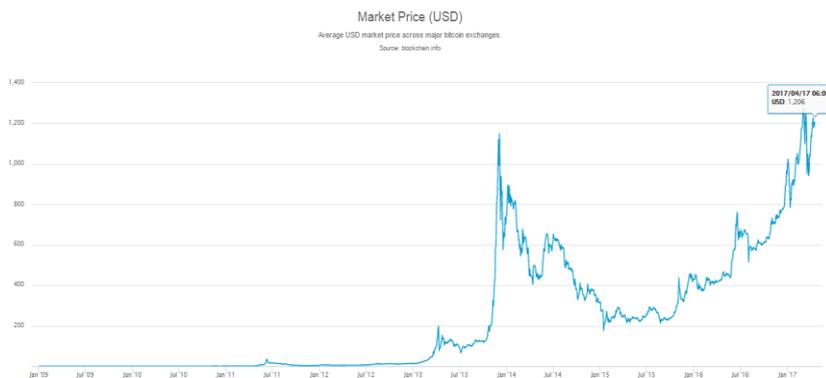
В данной статье авторами рассматриваются на примере биткоин проблемы использования криптовалют.

*Ключевые слова:* биткоин, криптовалюта, анонимность.

В настоящее время на территории Российской Федерации и других государств приобретает широкое распространение использование для приобретения товаров и услуг так называемых криптовалют (также используется термин «виртуальная валюта»). При этом все чаще криптовалюта выступает в качестве инвестиционного инструмента и инструмента спекулятивной торговли. Примером такого использования может служить криптовалюта биткоин (Bitcoin) [2].

Биткоин (от англ. «bit» – бит, «coin» – монета) – это криптовалюта с открытым исходным кодом, созданная лицом или группой лиц под псевдонимом «Сатоши Накамото». Количество биткоинов составляет 21 000 000. Это количество было установлено вследствие алгоритмического ограничения биткоина. Каждый биткоин может быть поделен на 100 000 000 частей. Каждая такая часть называется 1 Satoshi (Сатоши).

По данным blockchain.info, средняя рыночная цена на ведущих биржах биткоинов (рис. 1) на момент написания статьи составляет 1 206 долларов США (67 403 рубля) [8].



**Рис. 1. Средняя рыночная цена**

Кроме того, общая стоимость биткоинов в обращении составляет 20 183 091 638 долларов США (рис. 2).

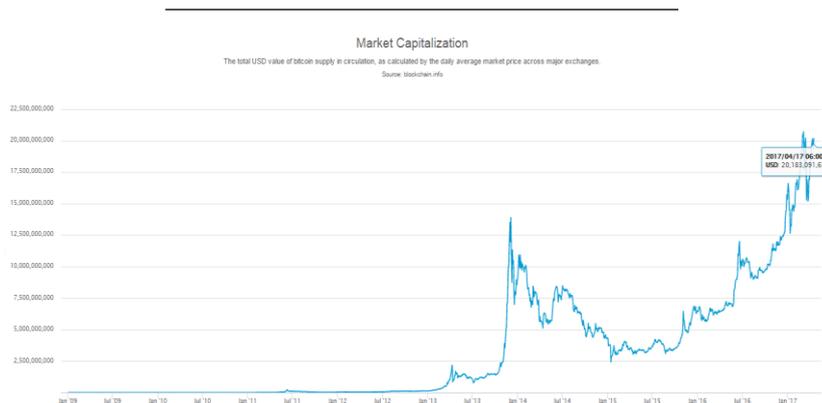


Рис. 2. Рыночная капитализация

Анонимность платежей в биткоинах и низкие транзакционные издержки привлекают в сеть BTC все большее число биткоин-пользователей [7] и, соответственно, большее количество денег. А это в свою очередь привлекает большое количество людей, которые ставят задачу обогащения неправовыми путями. Таким образом, увеличивается количество мошеннических схем.

Отношение властей разных стран к биткоину различное. В некоторых странах биткоин признается денежной единицей, например, в Германии, Японии, в других – под запретом, например, в Китае.

В Российской Федерации правовой статус криптовалюты не определен. В информационном письме Центрального банка Российской Федерации использование биткоинов будет рассматриваться, как «потенциальная вовлеченность в осуществление сомнительных операций в соответствии с законодательством о противодействии легализации (отмыванию) доходов, полученных преступным путем, и финансированию терроризма» [3]. Банк России также напоминает, что согласно статье 27 ФЗ «О Центральном банке Российской Федерации», выпуск на территории РФ денежных суррогатов запрещается.

По информации «Известий», Министерство финансов разработало в 2016 г. поправки в закон «О Центральном банке», которые запрещают в России выпуск и оборот криптовалют. Кроме того, ведомство подготовило поправки в Кодекс об административных правонарушениях, ужесточающие санкции для бизнеса за выпуск и оборот виртуальных валют. Компаниям-нарушителям в соответствии с законопроектом Минфина грозит штраф в размере 3–5 миллионов рублей или административное приостановление деятельности на срок до 90 суток [1].

Однако Министерство финансов резко изменило свою позицию и теперь предлагает национализировать криптовалюту, и к середине 2017 г. предложит меры по регулированию операций с биткоинами и другими криптовалютами на рынке.

Так как в России еще нет легального поля использования криптовалюты, тогда для чего наши пользователи используют биткоины? Из любопытства, для биржевых спекуляций, а большая часть пользователей обращается к биткоинам в незаконных целях. И это еще больше привлекает мошенников и хакеров. К примеру, многомиллиардный бизнес сетевого наркомарынка почти полностью перешел от использования QIWI кошельков на биткоины. И если произойдет кража биткоинов у одного из дилеров даркнета, он точно не станет обращаться в правоохранительные органы. Тем более, что кража биткоинов в Российской Федерации может сейчас рассматриваться только как неправомерный доступ к компьютерной информации (ст. 272 УК РФ), так как биткоины – это не валюта.

Действующее законодательство и регулирование не распространяется на такую технологию, как биткоин. При этом на данный момент в Российской Федерации отсутствуют инструменты для правоохранительных органов, которые позволяют отслеживать платежи в сети BTC. Необходимо разработать инструменты для регулирования биткоинов и идентификации их владельцев с целью выявления преступлений.

В 2014 г. российские специалисты по шифрованию, работающие в Университете Люксембурга, А. Бирюков, Д. Ховратович и И. Пустогаров разработали методику по определению личности анонимных пользователей биткоин. Из их работы следует, что возможно привязать биткоин-адреса к IP-адресам пользователей, даже если они пользуются сетью Tor. Эксплуатируя системы противодействия DDoS-атакам в Bitcoin, исследователи установили личности более 60 % пользователей криптовалюты, выполняющих финансовые операции через анонимную сеть Tor [4].

В США для борьбы с сетевой продажей наркотиков активно используются DDoS-атаки. В 2014 г. ФБР и 16 европейских стран провели «Операцию Онимус» (Operation Onymous). Были устроены массовые DDoS-атаки на ряд ресурсов даркнета, были выявлены IP-адреса 17 владельцев торговых площадок, а затем произведены аресты [5].

Конечно, можно спорить о том, что лучше: анонимность и свобода слова или контроль государства и сохранение жизни людей. Ведь прежние меры борьбы с финансированием террористических организаций и с наркотрафиком становятся бессмысленными при использовании биткоинов [6].

*Aptjukova G. A., Gavrilenko T. V.*

## THE USE OF CRYPTOCURRENCY IN RUSSIA AND ITS PARTICIPATION IN FRAUDULENT SCHEMES

*Surgut*

In the article the authors consider the problems of using cryptocurrency on the example of Bitcoin.

*Keywords: bitcoin, cryptocurrency, anonymity.*

### Список использованной литературы

1. Алексеевских А. Минфин подготовил закон об официальном запрете биткоинов [Электронный ресурс] // ОАО «Газета Известия». 2016. 23 марта. URL: <http://izvestia.ru/news/607066#ixzz4RE0xQCSx> (дата обращения: 12.03.2017).
2. Об использовании криптовалют : информационное сообщение Росфинмониторинга [Электронный ресурс] // Информационное сообщение Росфинмониторинга. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
3. Об использовании при совершении сделок «виртуальных валют», в частности, Биткойн : информация Банка России от 27.01.2014 [Электронный ресурс] // Информация Банка России. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
4. Исследователи нашли способ деанонимизировать пользователей Bitcoin [Электронный ресурс] // «Securitylab.ru». 2014. 31 декабря. URL: <http://www.securitylab.ru/news/469333.php> (дата обращения: 14.04.2017).
5. Наркомафия освоила «черный интернет» [Электронный ресурс] // ОАО «Газета Известия». 2017, 14 апреля. URL: <http://izvestia.ru/news/682517> (дата обращения: 14.04.2017).
6. Сальников Е. В., Сальникова И. Н. Инновационная криптовалюта и проблемы социально-экономической безопасности // Образование и наука без границ: фундаментальные и прикладные исследования. 2016. № 3. С. 338–342.
7. Семеко Г. В. Опасности, связанные с развитием виртуальных делен: пример биткоинов // Социальные и гуманитарные науки. Отечественная и зарубежная литература. Сер. 2: Экономика. Реферативный журнал. 2014. № 3. С. 83–90.
8. Bitcoin графики [Электронный ресурс] // Blockchain Luxembourg S.A. 2017. URL: <http://www.blockchain.info> (дата обращения: 17.04.2017).

УДК 658:005.5:004

*Бикметова И. Л., Микшина В. С., Лисовой А. А.*

## НАДЕЖНОСТЬ ВЫСОКОНАГРУЖЕННЫХ СИСТЕМ НА ПРИМЕРЕ SAP HANA

г. Сургут

В статье авторы рассматривают повышение надежности информационных систем с позиции бизнес-процессов предприятия на примере высокопроизводительной платформы для хранения и обработки данных SAP HANA.

*Ключевые слова: надежность, операция бизнес-процесса, эффективность.*

Для предприятия, деятельность которого осуществляется в рыночной среде, необходимо своевременно получать бизнес-информацию, в связи с чем, следует сокращать задержки в управлении и использовании бизнес-процессов, так как происходит потеря актуальности и достоверности информации из-за постоянного появления новых данных.

Повышение эффективности операции бизнес-процесса может быть рассмотрено как мера повышения надежности ИС с позиции бизнес-задач предприятия [1–7].

Надежность является свойством информационной системы, направленной на сохранение во времени в установленных пределах всех параметров, которые характеризуют способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения [5].

Ю. Ю. Громов выделяет следующие виды обеспечения надежности информационных систем: экономические, временные, организационные, структурные, технологические, эксплуатационные, социальные, эргатические, алгоритмические, синтаксические, семантические [4; 10].

Надежность представляет собой более узкую характеристику, нежели эффективность. Таким образом, можно сказать, что надежность – это свойство, которое включает ряд единичных свойств, таких как: безотказность, готовность, сохраняемость, ремонтпригодность, безопасность, живучесть.

Эффективность информационной системы – это свойство системы выполнять заданные функции с требуемым качеством [8]. Важнейшим условием для повышения качества и эффективности производства является обеспечение высокой надежности функционирования всей эргатической системы [9].

Надежность функционирования эргатической системы – это свойство системы сохранить устойчивость процесса функционирования, заключается в отсутствии вынужденных прерываний процесса (срывов функционирования) и неправильных действий (ошибок).

Важная особенность функционирования эргатической системы – зависимость ее надежности от времени, необходимого на реализацию человеком алгоритма.

Несмотря на работоспособное состояние технических средств и человека, могут появиться отказы вследствие недостатка времени на выполнение ряда операций внутри алгоритма.

Надежность операции бизнес-процесса будем измерять эффективностью, т. е. временем события: появления отчета у запрашивающего его пользователя.

Повышение эффективности будет заключаться в повышении эффективности операции бизнес-процесса.

Под отчетом будем понимать отформатированное представление данных. Отчеты позволяют извлекать из БД нужные сведения и представлять их в удобном для восприятия виде.

Пусть  $x \in X$  – множество параметров, характеризующих отчет, среди которых можно выделить следующие:  $x_1$

$x_1$  – количество таблиц в отчете (измеряется количеством);

$x_2$  – количество представлений таблиц;

$x_3$  – количество полей в исходных таблицах, считается общее количество полей, содержащихся в обрабатываемых таблицах;

$x_4$  – количество полей из исходных таблиц, используемых для построения требуемого отчета (измеряется количеством);

$x_5$  – количество пользователей, одновременно обращающихся к отчету;

$x_6$  – использование функций «группировка» в представлении, на основе которого строится отчет (измеряется количеством);

$x_7$  – использование функций «сортировка» в представлении, на основе которого строится отчет;

$x_8$  – использование вычисляемых столбцов в представлении, на основе которого строится отчет;

$x_9$  – использование преобразования типов в представлении, на основе которого строится отчет;

$x_{10}$  – отклонение от среднего значения за период наблюдения, скорости считывания данных с диска (скорости загрузки данных в память);

$x_{11}$  – тип таблицы (порядковая переменная: 1 – строчное хранилище; 2 – колоночное хранилище; 3 – смешанное хранилище);

$x_{12}$  – количество строк, возвращенных пользователю;

$x_{13}$  – количество полей таблиц, участвующих в запросе;

$x_{14}$  – отклонение от среднего значения за период наблюдения, скорости записи данных на диск;

$x_{15}$  – число активных версий записей (MVCC);

$x_{16}$  – наличие (количество) транзакций, которые могут блокировать GC;

$x_{17}$  – количество активных операторов управлениями транзакциями active\_commit\_id\_rang;

$x_{18}$  – количество active\_transaction\_id\_range;

$x_{19}$  – количество ожидающих запросов;

$x_{20}$  – количество ожидающих запросов (pending\_session\_count);

$x_{21}$  – количество незагруженных столбцов (column\_unloads);

$x_{22}$  – количество активных threads (active\_threads);

$x_{23}$  – количество ожидающих threads (waiting\_threads);

$x_{24}$  – общее количество threads (total\_threads);

$x_{25}$  – количество активных sqlexecutor (active\_sqlexecutor);

$x_{26}$  – количество ожидающих sqlexecutor (waiting\_sqlexecutor);

$x_{27}$  – общее количество sqlexecutor (total\_sqlexecutor);

$x_{28}$  – количество session для всех открытых (незавершенных) соединений (open\_connection);

$x_{29}$  – количество transactions, ожидающих блокировки (blocked\_transactions);

$x_{30}$  – количество всех запросов, время выполнения которых больше, чем встроенное в SAP HANA предельное значение (expensive\_statements);

$x_{31}$  – количество открытых транзакций между приложением и БД (open\_transaction);

$x_{32}$  – прирост таблицы отчета относительно суммарного размера таблиц.

Зависимая переменная  $Y$  представляет собой время определенной операции бизнес-процесса: формирования отчета у пользователя. Значение данной переменной измеряется в секундах.

**Формулировка задачи.** Пусть задано пространство признаков  $X$  размерностью  $p > 1$ , точками которого являются конкретные измерения  $x = (x_1, \dots, x_i, \dots, x_n)$ , где  $x_i$  – значение  $i$ -го параметра, описывающего операцию бизнес-процесса обработки отчета. Предположим, что в матрице  $X$  один из столбцов является откликом  $y$  или зависимой переменной, в качестве которой выступает время формирования отчета, а некоторое количество остальных признаков  $n$  ( $1 < n < p$ ) определены как независимые или варьруемые переменные.

Если массив наблюдений статистически репрезентативен, то можно сформировать обучающую выборку в виде матрицы независимых переменных  $X \rightarrow x_{ij}$ ,  $i = \overline{1, n}$ ,  $j = \overline{1, m}$ , ( $i$  – количество параметров;  $j$  – количество наблюдений).

Математическая модель линейной регрессии операции бизнес-процесса формирования отчета будет иметь вид:

$$y = \theta_1 x_{1j} + \theta_i x_{ij} + \dots + \theta_n x_{nm} + \varepsilon, \quad i = \overline{1, n}, \quad j = \overline{1, m},$$

где  $y$  – значение зависимой переменной;

$x_{ij}$  – известное значение независимой переменной;

$\theta$  – неизвестный коэффициент при  $i$ -ой объясняющей переменной;

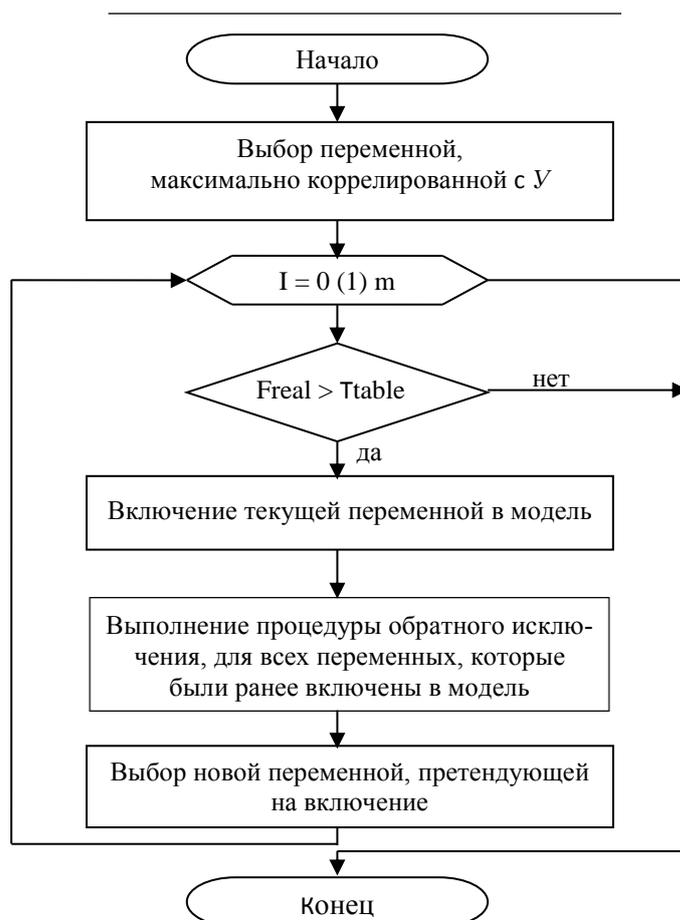
$\varepsilon$  – случайная составляющая.

Метод последовательного отбора представляет собой модификацию метода прямого отбора. На каждом шаге процесса после включения новой переменной в модель осуществляется проверка на значимость остальных переменных, которые уже были введены в нее ранее. В случае если такие переменные будут обнаружены, то их следует вывести из состава модели. После корректировки списка включенных в модель переменных осуществляется очередной шаг итерации процедуры прямого отбора по поиску новой переменной, удовлетворяющей условиям включения ее в состав модели.

На рисунке представлен алгоритм пошагового последовательного отбора значимых переменных в регрессионную модель времени формирования отчета.

Сбор параметров был осуществлен для 4 отчетов, выполняющихся в информационной системе SAP HANA. Результаты проделанного эксперимента разделены на группы по виду отчетов.

Алгоритм пошагового последовательного отбора значимых переменных в регрессионную модель времени формирования отчета.



Параметры  $x_1, x_2, x_3, x_4, x_6, x_7, x_8, x_9, x_{11}$  говорят о типе отчета, поэтому данные параметры представляется возможным заменить на один  $x_0: x_0 = \{1; 2; 3; 4\}$ , где в соответствии с типом отчета:

- 1 – отчет «Бюджетирование»;
- 2 – отчет «Бюджетирование за месяц»;
- 3 – отчет «Заявки в системе»;
- 4 – отчет «Выполненные работы по изменениям».

Выражение старых параметров отчета через новые для:

$$x_0 = 1: \{x_1 = 14; x_2 = 81; x_3 = 1361; x_4 = 432; x_6 = 2; x_7 = 0; x_8 = 9; x_9 = 254; x_{11} = 2\};$$

$$x_0 = 2: \{x_1 = 41; x_2 = 11; x_3 = 1555; x_4 = 1530; x_6 = 1; x_7 = 0; x_8 = 169; x_9 = 1458; x_{11} = 3\};$$

$$x_0 = 3: \{x_1 = 15; x_2 = 4; x_3 = 872; x_4 = 35; x_6 = 2; x_7 = 0; x_8 = 0; x_9 = 2; x_{11} = 3\};$$

$$x_0 = 4: \{x_1 = 19; x_2 = 7; x_3 = 1224; x_4 = 277; x_6 = 5; x_7 = 0; x_8 = 0; x_9 = 0; x_{11} = 3\}.$$

После данной замены полученные данные были подвержены многомерному линейному регрессионному анализу, в результате чего для каждого отчета выделены наиболее значимые параметры.

После данной замены полученные данные были подвержены многомерному линейному регрессионному анализу, в результате чего для каждого отчета выделены наиболее значимые параметры.

Таким образом, для 1-го отчета математическая модель линейной регрессии будет иметь вид:

$$y = 2,126x_{10} + 0,014x_{12} + 1,249x_{14} - 0,016x_{15} - 0,121x_{17} - 0,804x_{18} - \\ - 3,252x_{27} + 0,237x_{31} + 724,893x_{32} - 199,702;$$

для 2-го отчета:

$$y = 11,668x_5 - 3,487x_{10} + 0,001x_{12} + 5,76x_{14} - 0,003x_{15} - 0,015x_{17} - \\ - 11,072x_{18} + 0,154x_{22} + 0,62x_{23} - 0,065x_{24} + 0,872x_{25} - 2,961x_{26} + \\ + 1,833x_{27} - 0,025x_{28} - 0,377x_{31} - 199,751x_{32} + 43,669;$$

для 3-го отчета:

$$y = -10,650x_5 + 11,919x_{10} + 0,03x_{12} + 30,172x_{13} + 101,924x_{14} - 0,001x_{15} - \\ - 0,108x_{17} + 619,830x_{18} - 0,519x_{22} + 0,556x_{23} + 0,218x_{24} + 60,649x_{25} - \\ - 8,469x_{26} - 68,380x_{27} - 0,801x_{28} + 6,489x_{31} - 1152,947x_{32} + 6188,473;$$

для 4-го отчета:

$$y = 30,643x_5 - 19,297x_{10} + 0,052x_{12} + 54,708x_{13} + 27,876x_{14} + \\ + 0,00004416x_{15} + 0,026x_{17} + 548,334x_{18} + 1,395x_{22} - 20,401x_{23} + 0,656x_{24} + \\ + 25,646x_{25} + 33,277x_{26} - 84,639x_{27} - 0,77x_{28} + 6,25x_{31} + 40,885x_{32} + 6305,543.$$

Следовательно, для всех рассмотренных отчетов выделены следующие значимые параметры, общие для всех:  $x_{10}$  – скорость загрузки данных в память;  $x_{14}$  – скорость записи данных на диск;  $x_{15}$  – число активных версий записей (MVCC);  $x_{17}$  – количество активных операторов управлениями транзакциями;  $x_{23}$  – количество ожидающих threads;  $x_{24}$  – общее количество threads;  $x_{25}$  – количество активных sqlexecutor;  $x_{26}$  – количество ожидающих sqlexecutor;  $x_{32}$  – прирост таблицы отчета относительно суммарного размера таблиц.

Таким образом, время формирования отчета  $Y$  более всего зависит от этих переменных. Полученные модели позволят прогнозировать время выполнения операции бизнес-процесса: получения отчетов пользователями. Данные переменные характеризуют нагрузку на ресурсы системы с точки зрения конкуренции за ресурсы. Возможные меры, направленные на уменьшение значений данных параметров, за исключением  $x_{10}$  и  $x_{14}$ , вероятно, приведут к уменьшению времени формирования отчета.

*Bikmetova I. L., Mikshina V. S., Lisovoy A. A.*

## RELIABILITY OF HIGH-UNLOADED SYSTEMS ON THE EXAMPLE OF SAP HANA

*Surgut*

In the article the authors consider the increase of the reliability of the informational systems from the standpoint of business processes of the enterprise on the example of a high-performance platform for SAP HANA data storage and processing.

*Keywords: reliability, business process operation, efficiency.*

### Список использованной литературы

1. Микшина В. С., Максимюк Е. В. Подходы к созданию систем поддержки принятия решения реального времени в области энергоэффективности источников теплоснабжения // Инновации на основе информационных и коммуникационных технологий («ИНФО-2013») :

тр. Междунар. науч.-практи. конф. / под ред. В. Г. Домрачева, С. У. Увайсова. М. : МИЭМ, 2013. С. 144–150.

2. Микшина В. С., Охотников А. А. Использование математических моделей для выбора оптимальных конструктивных элементов нефтегазодобывающей скважины минимальной стоимости // Инновации на основе информационных и коммуникационных технологий («ИНФО-2013») : тр. Междунар. науч.-практи. конф. / под ред. В. Г. Домрачева, С. У. Увайсова. М. : МИЭМ, 2013. С. 144–150.

3. Микшина В. С., Острейковский В. А., Шевченко Е. Н. Количественная оценка риска в теории техногенной безопасности сложных динамических систем // Итоги науки : избр. тр. Междунар. симпозиума по фундаментальным и прикладным проблемам науки. М. : РАН, 2013. Т. 1. 129 с.

4. Микшина В. С., Ельмендеев А. П. Математическая модель для обработки информации, поступающей с приема погружной установки электроцентробежного насоса // Математика и информационные технологии в нефтегазовом комплексе : тез. докл. Междунар. конф. (Сургут, 16–20 мая, 2016). Сургут : ИЦ СурГУ, 2016. С. 143–145.

5. Микшина В. С., Лисовой А. А., Бикметова И. Л. Ранняя диагностика сбоев и выработка упреждающих воздействий в системах SAP HANA // Математика и информационные технологии в нефтегазовом комплексе : тез. докл. Междунар. конф. (Сургут, 16–20 мая, 2016). Сургут : ИЦ СурГУ, 2016. С. 108–110.

6. Алешин Н. П. Современное оборудование и технологии контроля высоконагруженных систем // Инженерный вестник. 2015. № 1. С. 4.

7. Белых А. А., Шайдулин Р. Ф., Харитонов В. А. Интеллектуальные технологии повышения эффективности информационных систем [Электронный ресурс] // Научный журнал КубГАУ. Краснодар. 2010. № 60 (06). Режим доступа : <http://ej.kubagro.ru/2010/06/pdf/35.pdf>. Загл. с экрана.

8. Булда А. Ю. Организация тестирования системы контроля в высоконагруженных системах // Системы высокой доступности. 2016. Т. 12, № 1. С. 3–13.

9. Громов А., Каменова М., Старыгин А. Управление бизнес-процессами на основе технологии Workflow [Электронный ресурс] // Открытые системы. СУБД, 1987. № 01. Режим доступа : <https://www.osp.ru/os/1997/01/179063/>. Загл. с экрана.

10. Надежность информационных систем : учеб. пособие / сост.: Ю. Ю. Громов, О. Г. Иванова, Н. Г. Мосягина, К. А. Набатов. Тамбов : Изд-во ГОУ ВПО ТГТУ, 2010. 160 с.

УДК 517.926:519.62

*Галкин В. А., Гавриленко Т. В., Девицын И. Н., Быковских Д. А.*

## **ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ АЛГОРИТМ КИНЕТИЧЕСКОГО МЕТОДА РЕШЕНИЯ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ<sup>1</sup>**

*г. Сургут*

В статье авторы рассматривают вычислительный процесс и программный комплекс, основанный на кинетическом методе решения обыкновенных дифференциальных уравнений. Представлены результаты тестовых расчетов, в которых решение уравнений кинетическим методом сравнивается с точным решением дифференциального уравнения, продемонстрирована корректность работы разработанного программного обеспечения.

*Ключевые слова: обыкновенные дифференциальные уравнения, кинетический метод.*

<sup>1</sup> Работа выполнена при поддержке РФФИ, грант № 14-01-00478.

Дифференциальные уравнения широко применяются в математическом моделировании, так как физические процессы, протекающие в жидкостях, газах, твердых телах описываются именно такими уравнениями. На сегодняшний день наибольшее распространение получили численные методы решения систем дифференциальных уравнений, такие как: метод Эйлера и метод Рунге – Кутты. Кинетический метод решения систем дифференциальных уравнений основывается на взаимодействии определенного количества различных видов частиц, обусловленном независимыми случайными величинами, поэтому данный метод несет в себе широкие возможности для реализации параллелизма, что позволит эффективно решать дифференциальные уравнения и их системы на высокопроизводительных вычислительных комплексах.

На кубе  $\Omega_n = \prod_{k=1}^n [0,1] \subset \mathbb{R}_n$  рассматривается обыкновенное дифференциальное уравнение

$$\frac{du}{dt} = f(u, t), t > 0, u \in \Omega_n, \quad (1)$$

где правая часть такова, что во внутренних точках куба  $\Omega_n$  функция  $f$  является многочленом по переменным  $u$ :

$$f(u, t) = \sum_{p \geq 0} \alpha_{p_1, p_2, \dots, p_n}(t) u_1^{p_1} u_2^{p_2} \dots u_n^{p_n}, \quad (2)$$

$$p = p_1 + p_2 + \dots + p_n, \quad p_i \in \mathbb{Z}^+, \quad u_k^0 \stackrel{\text{def}}{=} 1.$$

С локально ограниченными коэффициентами  $\alpha_{p_1, p_2, \dots, p_n}$ , при значениях времени  $t \geq 0$ . Вне куба  $\Omega_n$  поле  $f(u, t)$  доопределяется следующим образом. Положим  $f(u, t) = 0$ , при аргументах  $u_l \leq 0$  или  $u_l \geq 1$ . В формуле (2), при значениях  $0 < u_l < 1$  величины  $u_k, k \neq l$  полагаем равными 1, если  $u_k > 1, k \neq l$ , приравниваем 0, когда  $u_k \leq 0$ . При этих предположениях во внутренних точках куба  $\Omega_n$  решения уравнения (1) являются классическими, а при выходе их на границу  $\partial\Omega_n$  они переходят в решения А. Ф. Филиппова [2]. Задача Коши для уравнения (1), (2) корректна в пространстве непрерывных функций  $C_T$  ( $\forall T > 0$ ).

Системе (1) далее сопоставим вычислительный процесс, основанный на взаимодействиях частиц [1], схема вычислительного процесса представлена на рис. 1.

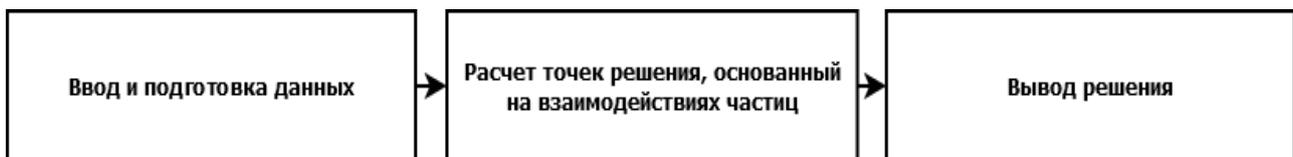


Рис. 1. Схема вычислительного процесса

На первом шаге данного процесса осуществляется ввод следующих данных о решаемом уравнении:

1.  $N$  – количество частиц в массиве частиц  $D$ ;
2.  $\alpha_{p_i}$  – коэффициенты, при  $u^{p_i}$ ;
3.  $\Delta t$  – шаг по времени;
4.  $u_0$  – значение функции в точке  $t = 0$ ;
5.  $p_i$  – степени, при  $u$  в правой части уравнения.

Затем рассчитывается значение начального заполнения массива частиц  $D$ :  $N_0 = N \cdot u_0$  заполняются его первые  $N_0$  ячейки. Это позволяет получить первую точку решения  $(t_1, N(t_1))$ ,

$t_1 = \Delta t$ , где  $N(t_j) = \frac{\sum_{i=1}^N m_i(t_j)}{N}$ . Рассчитываются вероятности  $p$  для величины  $\eta$ :  $p_{p_i} = |\alpha_{p_i}| N \Delta t$ , инициализируется генератор случайных чисел (рис. 2).

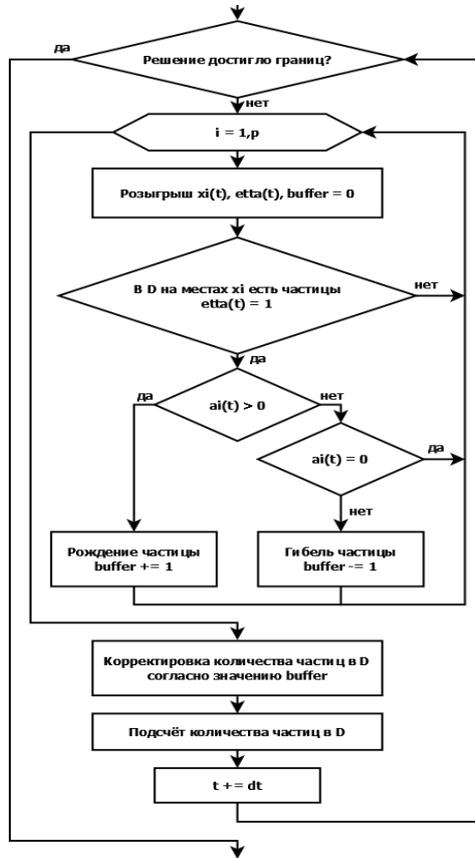


Рис. 2. Блок-схема алгоритма расчета точек решения

Ключевым аспектом данного вычислительного процесса является алгоритм расчета точек решения (рис. 2). Основа алгоритма расчета – цикл с шагом по времени, условием выхода из которого является достижение решением границ отрезка  $[0, 1]$ . Для удобства работы с массивом частиц вводится специальная переменная *buffer*. Внутренний цикл проходит по переменной *i*, на каждом шаге производятся розыгрыши наборов номеров частиц  $\xi_i = (\xi_1, \dots, \xi_{p_i})$  в *D*, а также розыгрыши случайных величин

$$\eta_{p_i} = \begin{cases} 1, P = p_{p_i} \\ 0, P = 1 - p_{p_i} \end{cases} \quad (3)$$

обуславливающих взаимодействие частиц. Если на местах  $\xi_i$  в *D* есть частицы,  $\eta_{p_i} = 1$  и  $\alpha_{p_i} \neq 0$  – происходит взаимодействие, зависящее от знака  $\alpha_{p_i}$ . При  $\alpha_{p_i} > 0$  взаимодействие приводит к рождению новой частицы, значение переменной *buffer* увеличивается на единицу, иначе – к гибели существующей частицы, соответственно, значение *buffer* уменьшается на единицу. После выхода из внутреннего цикла производится корректировка количества частиц в *D* согласно значению *buffer* и получение новой точки решения подсчетом общего количества частиц и переходом к следующему значению *t*. После этого проверяется условие основного цикла. По окончании расчета производится вывод решения требуемым образом.

Далее представлены результаты вычислений. Данным методом было решено уравнение  $\frac{du}{dt} = -u + 3u^2 + 2u^3 - u^4 + 5u^6$ . На рис. 3, 4 серым цветом отображено точное решение, черным – решение, полученное кинетическим методом.

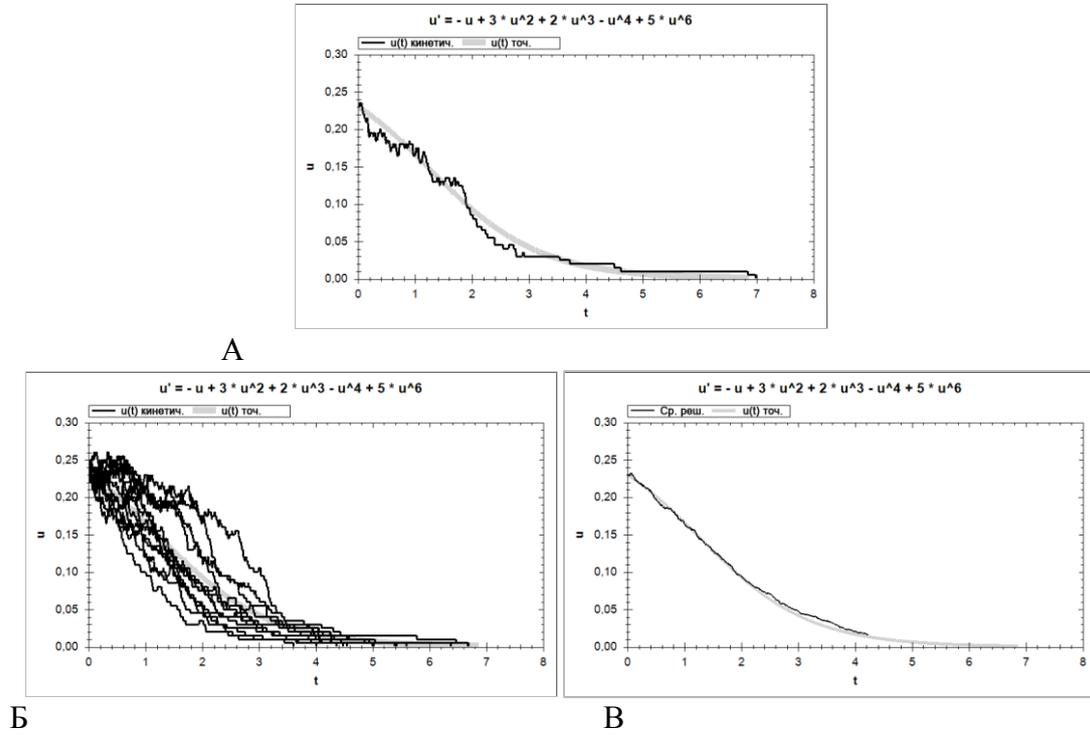


Рис. 3. Решение уравнения, при  $N = 200, \Delta t = 10^{-3}$ :  
 А – одно решение; Б – 16 решений; В – среднее решение, полученное усреднением Б

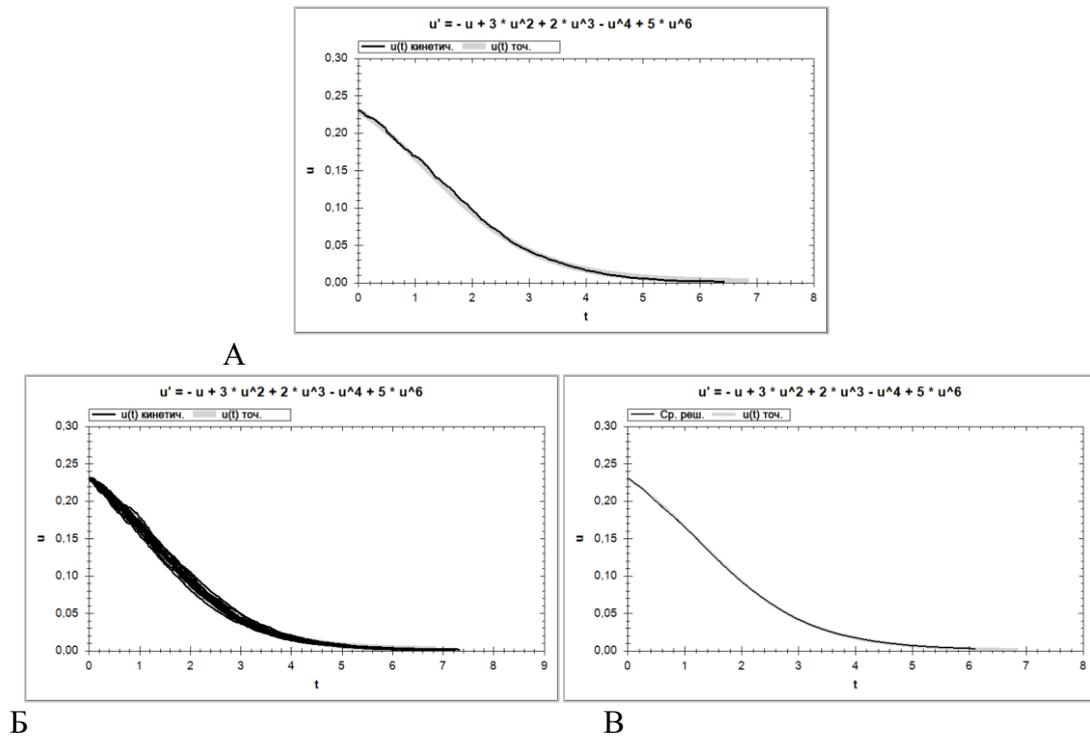


Рис. 4. Решение уравнения, при  $N = 10000, \Delta t = 2 \times 10^{-5}$ .  
 А – одно решение; Б – 16 решений; В – среднее решение, полученное усреднением Б

Разработан программный комплекс, позволяющий решать обыкновенные дифференциальные уравнения кинетическим методом. Корректность решения продемонстрирована в серии тестовых расчетов путем сравнения решения, полученного кинетическим методом с точным решением. Преимуществом кинетического метода решения дифференциальных уравнений перед классическими численными методами состоит в том, что данный метод не требует привязки к определенной сетке или шагу, который определяет погрешность алгоритма (например, для метода Эйлера имеет место оценка погрешности  $O(h)$ , где  $h$  – средний шаг). Погрешность кинетического метода можно оценить как  $O\left(\frac{1}{N}\right)$ , где  $N$  – количество частиц, участвующих во взаимодействии.

*Galkin V. A., Gavrilenko T. V., Devitsyn I. N., Bykovskih D. A.*

### COMPUTATIONAL ALGORITHM OF THE KINETIC METHOD FOR DIFFERENTIAL EQUATIONS SOLUTION

*Surgut*

This paper describes the computational process and software based on the kinetic method for ordinary differential equations solution. Tests were performed for the comparison with the exact solution of differential equation, and they demonstrate correctness of the developed software.

*Ключевые слова: ordinary differential equations, kinetic method.*

#### Список использованной литературы

1. Галкин В. А. Кинетический метод решения систем дифференциальных уравнений // ДАН. 2013. Т. 452, № 1. С. 1, 2.
2. Филиппов А. Ф. Обыкновенные дифференциальные уравнения с разрывными правыми частями // Мат. сб. 1960. Т. 51. С. 101–128.

УДК 005.92:004

*Глебова И. Г.*

### УПРАВЛЕНИЕ ИЗМЕНЕНИЯМИ РАСПОРЯДИТЕЛЬНЫХ ДОКУМЕНТОВ В СИСТЕМЕ ЭЛЕКТРОННОГО ДОКУМЕНТООБОРОТА

*г. Сургут*

В статье автор анализирует результаты исследования систем электронного документооборота в части управления изменениями распорядительными документами. Сформулированы проблемы по управлению изменениями распорядительными документами в системе электронного документооборота и основные задачи решения проблем.

*Ключевые слова: управление изменениями, система электронного документооборота, распорядительный документ, актуализация распорядительных документов.*

Администрирование, использование и хранение электронной информации независимо от ее создателя, места нахождения, формата и времени является одной из центральных про-

блем нашего поколения. В настоящее время наблюдается стремительный прогресс в технологиях генерации, обработки и распределения информации. Управлением же информацией, наоборот, в значительной степени пренебрегали.

Управление корпоративным контентом – Enterprise Content Management (*далее* – ECM) – развивает методы и технологии для эффективной обработки информации с использованием ее как знаний предприятия и обеспечением ее обработки по требованию [1]. Одним из ключевых компонентов и технологий ECM является управление таким типом корпоративного контента, как офисные и бухгалтерские документы, организационно-распорядительные документы.

Сегодня во многих организациях и предприятиях используется система электронного документооборота (*далее* – СЭД). Внедрение СЭД необходимо для эффективного управления электронными документами, в том числе и управлением организационно распорядительными документами (*далее* – РД) [5].

РД – это документы, в которых фиксируются решения административных и организационных вопросов, а также вопросов управления, взаимодействия, обеспечения и регулирования деятельности органов власти, учреждений, предприятий, организаций, их подразделений и должностных лиц. К распорядительным документам организации относятся приказы, решения, указания и другие документы.

Управление изменениями распорядительных документов – часть процесса работы с распорядительными документами, позволяющая создавать и поддерживать в актуальном состоянии базу по распорядительным документам с учетом их статуса (действующий, истек срок действия, отменен, недействующий и т. д.) [2; 3]. Актуализация распорядительных документов является частью процесса управления изменениями документами организации.

Неэффективность управления актуальностью распорядительных документов, в том числе и в СЭД, обусловлена следующим: отсутствием мониторинга наступления сроков актуализации распорядительных документов; отсутствием уведомлений ответственным о необходимости актуализации документов; отсутствием возможности формирования аналитической отчетности для получения информации о РД, требующих актуализации, перечня актуальных РД, в которых есть ссылка на ответственных сотрудников, указанных в тексте РД; отсутствием классификации тем РД, требующих актуализации; не определены возможные причины (события), требующие актуализации распорядительных документов. Для обеспечения эффективности процесса актуализации РД необходима автоматизация данного процесса.

На современном рынке представлено множество СЭД, решающих проблемы управления документооборотом организации. Однако данные продукты решают вышеперечисленные проблемы по актуализации РД лишь частично. В связи с этим сделан вывод о необходимости разработки собственного решения.

Результатом нашей работы является проектирование информационной системы, обеспечивающей актуальность распорядительных документов в СЭД.

Для достижения данной цели были сформулированы следующие задачи:

- изучить принципы управления изменениями в системах управления корпоративным контентом;
- провести анализ предметной области по управлению изменениями распорядительных документов организации;
- сформировать перечень требований к информационной системе управления изменениями РД применительно к используемой СЭД;
- рассмотреть существующие готовые решения по управлению изменениями;
- спроектировать решение по управлению изменениями РД.

Объектом исследования является процесс актуализации распорядительных документов в СЭД.

Предмет исследования – СЭД.

В исследуемой организации документы подготавливаются, согласуются, регистрируются в СЭД, данный процесс регламентирован порядком по работе с организационно-распо-

рядительными документами. Среди данных документов имеется достаточно большой пул распорядительных документов, по которым была обозначена необходимость организации по управлению их актуальностью.

К основным требованиям реализации решения по управлению изменениями распорядительных документов можно отнести следующие:

- ведение реквизитов в КЭД и РКК, в которых фиксируется плановая дата пересмотра РД, с целью его актуализации;
- формирование уведомления/задания исполнителю РД о необходимости актуализации РД по нормативному регулированию;
- формирование задания в СЭД на актуализацию РД при кадровых изменениях в системе HR: увольнение, перемещение, длительное отсутствие работников;
- внесение информации о работниках в карточку электронного документа, регистрационно-контрольную карточку, которые указаны в тексте распорядительного документа;
- внесение информации о работниках в КЭД, РКК, которые указаны в тексте РД;
- формирование отчетности по количеству РД, требующих актуализации; актуальных РД, в том числе по имени работника, указанного в тексте РД.

Для реализации решения по управлению изменениями распорядительных документов выбрана СЭД DIRECTUM, поскольку в данной системе уже реализован процесс работы с организационно-распорядительными документами, сотрудники исследуемой организации имеют опыт работы с документами в данной СЭД.

В реализации решения определен ключевой реквизит в карточке электронного документа и регистрационно-контрольной карточке РД в СЭД, по которому будет осуществляться управление изменением РД в ИС – это реквизит «Тема». Определены темы распорядительных документов, по которым будет запускаться автоматизированный процесс по управлению актуализацией РД.

Событиями, по которым происходит инициация процесса по актуализации РД, являются: кадровые изменения в системе HR (прием, увольнение, длительное отсутствие работников), истечение сроков по квалификациям и допускам (HR, СЭД), наступление сроков актуализации РД, определенных в СЭД.

Предложенное решение основано на взаимодействии указанных в таблице ниже информационных систем.

### Информационные системы и их назначение

№ п/п	Наименование	Функции
1	СЭД	Управление распорядительными документами: создание, согласование, подписание, исполнение. Формирование уведомлений о необходимости внесения изменений в РД. Формирование отчетности по документам, требующим актуализации
2	Система управления персоналом HR	Передаются данные по квалификациям работников, кадровым мероприятиям (увольнение, перевод, длительное отсутствие работника) в СЭД, ссылка на связанный РД в СЭД
3	Система обработки данных и формирования аналитической отчетности	Обработка данных из СЭД для формирования отчетности. Формирование аналитической отчетности.

Внедрение функциональности по актуализации распорядительных документов позволит обеспечить своевременную актуализацию распорядительных документов, а также установить единый порядок в организации по актуализации распорядительных документов.

*Glebova I. G.*

## **MANAGING CHANGES OF ADMINISTRATIVE DOCUMENTS IN THE ELECTRONIC DOCUMENT MANAGEMENT SYSTEM**

*Surgut*

In the article the author examines the results of the study of electronic document management system in the part of managing changes of the administrative documents. The author formulates the problems in managing changes of the administrative documents in the electronic document management (EDS) system, and the main tasks of solving problems.

*Keywords: managing changes, electronic document management system, administrative document, update of administrative documents.*

### **Список использованной литературы**

1. Кампффмейер У. ECM Управление корпоративным контентом : пер. А. С. Деревянко // PROJECT CONSULT : электр. журн. 2006. URL: <http://scip.org.ua/system/files/ECM.pdf> (дата обращения: 20.01.2017).
2. Мелещеня И. Н. Внесение изменений в распорядительные документы организаций // PRO-делопроизводство : электр. журн. 2017. URL: <http://m.sekretariat.ru/article/87243-vnesenie-izmeneni-y-v-raspor-yaditel'nye-dokumenty-organizatsiy> (дата обращения: 17.02.2017).
3. Храмцовская Н. А. Международные стандарты по делопроизводству // Сайт компании «ЭОС» : электр. журн. 2010. URL: [http://www.eos.ru/upload/282293\\_intrmstd09-2005.pdf](http://www.eos.ru/upload/282293_intrmstd09-2005.pdf) (дата обращения: 03.03.2017).
4. Шматалюк А., Коптелов А. Как обеспечить эффективное управление изменениями? // Библиотека CITCITY.RU. 2006. URL: <http://citcity.ru/13937> (дата обращения: 10.03.2017).
5. Севаньякаев В. Роль ECM-систем в информационном обеспечении компании // Библиотека fbk.ru. 2009. URL: [http://www.fbk.ru/upload/images/ecm\\_and\\_integration.pdf](http://www.fbk.ru/upload/images/ecm_and_integration.pdf). (дата обращения: 04.01.2017).
6. Обзор СЭД // SED COM Простое решение : электр. журн. 2016. URL: [http://www.sedcom.ru/ecm\\_survey.html](http://www.sedcom.ru/ecm_survey.html) (дата обращения: 04.01.2017).
7. Таранов В. Управление документами и документооборотом. Системы управления электронными документами в современной организации // Бизнес-форум IT № 9 : электр. журн. 2003. URL: <http://www.directum.ru/514280.aspx> (дата обращения: 05.02.2017).

УДК 658:005:37:004

*Денискина Д. А.*

## **ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ДЕЛЬФИ ПРИ ВЫБОРЕ НАИБОЛЕЕ ЭФФЕКТИВНОЙ ФОРМЫ ОБУЧЕНИЯ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ РАБОТЕ В ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ**

*г. Сургут*

В статье автор рассматривает метод экспертных оценок – метод Дельфи, который был применен в практической деятельности предприятия. Данный метод позволил определить наиболее приемлемую и эффективную форму обучения пользователей работе в информационных системах.

*Ключевые слова: форма обучения пользователей, метод Дельфи.*

Высококвалифицированный персонал является основой эффективного развития любой компании. В связи с этим эффективности и качеству процесса обучения сотрудников уделяется пристальное внимание. Обучение работе в информационных системах должно проводиться для разных целевых аудиторий – это руководители компании, владельцы процессов, бизнес-эксперты, линейные руководители, аналитики, ключевые пользователи, конечные пользователи, первая линия поддержки. Все они выполняют различные функции, следовательно, и подходы к обучению должны быть разными. Также особую роль играет определение формы обучения, способствующую быстрой адаптации пользователя работе в информационной системе.

Для принятия правильного решения, касающегося, например, выбора формы обучения, наиболее подходящими к применению являются методы экспертных оценок. Методы экспертных оценок также широко используются в прогнозировании и перспективном планировании, там, где имеется несколько вариантов решений и необходим выбор наиболее предпочтительного из них. Также эти методы применяются при разработке новых программ в отраслях промышленности, подверженных сильному влиянию новых открытий в фундаментальных науках [1].

Одним из разновидностей количественных методов групповых экспертных оценок является метод Дельфи (рис. 1).



**Рис. 1. Методы экспертных оценок**

Метод Дельфи можно считать наиболее применимым для принятия решения на основе заключения экспертов, например, при выборе наиболее эффективной формы обучения.

Опрос по методу Дельфи проводится с помощью специальных анкет анонимно, таким образом исключаются личные контакты экспертов и коллективные обсуждения. Для проведения этого метода также создается аналитическая группа, которая после каждого тура производит статистическую обработку полученной информации. Итоговые ответы сопоставляются аналитической группой, и обобщенные результаты снова направляются экспертам. На основе данной информации эксперты, по-прежнему сохраняя анонимность, делают дальнейшие прогнозы о будущем, процесс обычно повторяется в 2–4 тура, состоящих из серии анкет, вопросы конкретизируются от тура к туру. Как только начинает появляться совпадение мнений, результаты используются в качестве прогноза [2].

Метод Дельфи является весьма эффективным как в повседневной жизни, так и в профессиональной сфере деятельности, так как он позволяет учитывать мнения всех людей, которые имеют отношение к какому-либо вопросу, с помощью последовательного объединения соображений, предложений и выводов, а затем прийти к конкретному соглашению [3].

Данный метод выбран и применен на практике на одном из предприятий нефтяной промышленности. Так, на первом этапе был произведен подбор экспертной группы, состоящей из 10 экспертов.

На втором этапе была определена проблема – выбор эффективного обучения. Эксперты получили основной вопрос, их задачей было разбиение его на несколько более мелких (прил. 1). Аналитики произвели отбор самых распространенных вопросов, а также составили общий опросник (прил. 2). Полученный общий опросник вновь был представлен экспертам. На основе общего опросника аналитики составили анкету (прил. 3). При этом экспертам нужно было предложить свои способы решения проблемы и изучить альтернативные позиции остальных экспертов. Аналитики выделили основные мнения экспертов по выбору формы обучения (прил. 4). Таким образом, шаги повторялись до тех пор, пока эксперты не пришли к консенсусу. Исследование аналитиками расхождений во мнениях членов экспертной группы указывало на незамеченные до этого тонкости проблемы. В итоге вынесена общая оценка, а также составлены практические рекомендации по решению проблемы.

Аналитической группой проводилась статистическая обработка полученной от всех экспертов информации: производился расчет среднего значения исследуемого параметра, средневзвешенное значение исследуемого параметра, определялась медиана как средний член общего ряда чисел, полученных от экспертов, и область доверительности. В целях целесообразности расчета области доверительности решено было рассчитывать область доверительности через показатель квартиль. Значение квартиля равно  $1/4$  разницы между максимальной и минимальной оценок ряда. Сама область доверительности равна, как минимальная оценка минус значение квартиля, максимальная оценка плюс значение квартиля. Расчеты представлены в табл. 1 и рис. 2. В дальнейшем аналитики выделили основные мнения экспертов. И уже на третьем этапе проверили согласованность мнений экспертов, проанализировали полученные выводы и разработали окончательные рекомендации.

**Пример расчетов методом Дельфи.** Проблема – оценить эффективность дистанционной формы обучения пользователей. Приглашены 10 экспертов. Каждый эксперт получил анкету относительно формы обучения пользователей и выразил свое мнение (прил. 2. Анкета № 2). Экспертам предложено дать себе индивидуальную оценку в баллах в диапазоне от 0 до 10. Уровень эффективности дистанционного обучения пользователей предлагается оценить в диапазоне от 0 до 10. Каждый эксперт работает самостоятельно и анонимно (см. таблицу).

Таблица 1

Расчеты экспертных оценок после 1-го тура

Номер эксперта	Коэффициент самооценки	Уровень эффективности дистанционного обучения – индивидуальная оценка эксперта
1	10	8
2	10	8
3	10	6
4	10	7
5	4	1
6	6	9
7	10	10
8	10	5
9	4	7
10	3	9

Аналитическая группа проводит следующий расчет:

Среднегрупповая самооценка равна  $= (10 + 10 + \dots + 3) : 10 = 7,7$ .

Среднее значение уровня эффективности ДО (простая оценка) равна  $(8 + 8 + \dots + 9) : 10 = 7$ .

Средневзвешенная оценка уровня эффективности ДО равна  $(10 \times 8 + 10 \times 8 + \dots + 3 \times 9) : (10 + 10 + \dots + 3) = 7,18$ .

Медиана в данном случае при четном числе экспертов рассчитывается как среднеарифметическое значение между серединными оценками и будет равна  $Me = (7 + 8) : 2 = 7,5$  (замечание: оценки экспертов по уровню спроса располагаются по возрастанию).

Область доверительности рассчитывается следующим образом:

Определяется минимальная оценка из набора экспертизы – 1, максимальная – 10.

Квартиль будет равна  $(10 - 1) : 4 = 2,25$ .

Следовательно, нижняя граница доверительной области будет равна  $1 + 2,25 = 3,25$ , верхняя –  $10 - 1,25 = 8,75$ .

Таблица 2

#### Область доверительности

Область применения									Оценка экспертов
1	3,25	5	6	7	8	8,75	9	10	
				7	8		9		

Итоговое обобщенное мнение стало основой для выбора эффективной формы обучения пользователей информационных систем. По итогам применения метода Дельфи было принято решение о проведении дистанционной формы обучения посредством MS LYNC; разработке сценария проведения обучения и создания видеоматериалов с помощью MS LYNC по необходимому направлению для каждой функциональной группы пользователей.

Таким образом, мы раскрыли суть метода Дельфи как количественного метода экспертных оценок. Метод Дельфи имеет несомненные преимущества по сравнению с методами, основанными на обычной статистической обработке результатов индивидуальных опросов. Он позволяет уменьшить колебания по всей совокупности индивидуальных ответов, ограничивает колебания внутри групп. Также нами рассмотрено применение данного метода в практической деятельности предприятия нефтяной промышленности, по результатам которого была определена наиболее эффективная форма проведения обучения конечных пользователей – дистанционная форма обучения посредством MS LYKC, способствующая их ускоренной адаптации при работе в информационных системах.

*Deniskina D. A.*

#### APPLICATION OF DELPHI METHOD WHEN SELECTING THE MOST EFFECTIVE FORMS OF TRAINING USERS TO WORK IN THE INFORMATION SYSTEMS

*Surgut*

The article discusses the method of the expert assessments, namely, the Delphi method, which was applied in practical activities of the enterprise. The chosen method allowed us to determine the most appropriate and effective form of training users to work in information systems.

*Keywords: form of user training, Delphi method.*

#### Список использованной литературы

1. Авдулов П. В., Гойзман Э. И., Кутузов В. А. и др. Экономико-математические методы и модели для руководителя. М. : Экономика, 1998.
2. Агафонов В. А. Анализ стратегий и разработка комплексных программ. М. : Наука, 1997.
3. Мартино Дж. Технологическое прогнозирование. М. : Прогресс, 1977.
4. Gordon T., Helmer O. Report on a Long Range Forecasting Study. RAND Paper P-2982. RAND Corporation, Santa Monica, California, 1964.

5. Попов А. М., Сотников В. Н. Экономико-математические методы и модели : учебник для бакалавров ; под ред. проф. А. М. Попова. М. : Юрайт, 2011.
6. Linston H., Turoff M. The Delphi Method: Techniques and Applications. Addison Wesley Longman Publishing Co, 1975.
7. Delphi '98 Umfrage. Zukunft Nachgefracht. Studie zur Globalen Entwicklung von Wissenschaft und Technik. BMBF, 1998.
8. Loveridge D., Georghiou L., Nedeva M. United Kingdom Foresight Programme. PREST. University of Manchester, 1995.

## Приложение 1

### Опросник экспертов

Вопрос: *В чем, на Ваш взгляд, заключается эффективное обучение пользователей информационных систем?*

- 1-й эксперт. Выбор эффективной формы обучения и учебных материалов.
- 2-й эксперт. Эффективный выбор формы обучения и раздаточных материалов.
- 3-й эксперт. Выбор эффективной формы обучения, раздаточных материалов и систем.
- 4-й эксперт. Выбор эффективной формы обучения, оценка уровня подготовленности пользователя.
- 5-й эксперт. Выбор эффективной формы обучения и применяемых систем.
- 6-й эксперт. Выбор эффективной формы обучения.
- 7-й эксперт. Выбор эффективной формы обучения, учебных материалов, оснащение учебных классов.
- 8-й эксперт. Выбор эффективной формы обучения, наличие раздаточных материалов, обучающих систем.
- 9-й эксперт. Выбор эффективной формы обучения, обучающих систем, раздаточных материалов.
- 10-й эксперт. Выбор эффективной формы обучения, раздаточных материалов, систем.

## Приложение 2

### Общий опросник

Вопрос: *Укажите, в чем, на Ваш взгляд, заключается эффективное обучение пользователей?*

- Выбор эффективной формы обучения.
- Наличие учебных материалов, представленных в доступной и структурированной форме.
- Наличие раздаточных материалов.
- Определение уровня подготовленности пользователя.
- Оснащение учебных классов.

### Анкета № 1

1. *Какая форма обучения пользователей, на Ваш взгляд, наиболее эффективна:*
  - очная индивидуальная;
  - очная групповая;
  - дистанционная форма (пользователи проходят обучение самостоятельно, используя тест планы и обучающие программы);
  - дистанционная форма посредством MS LYNC;
  - комбинированная форма обучения.

2. Выберите или опишите, что, по вашему мнению, вызывает большие трудности в процессе обучения пользователей:

- 1) недостаток знаний, умений, навыков работы в информационных системах;
  - 2) отсутствие общего понимания о существующих технологиях в информационных системах и о возможностях информационных систем;
  - 3) нежелание изучать что-либо новое, обусловленное боязнью перемен;
  - 4) другой ответ \_\_\_\_\_.
3. Опишите, каким образом обучение пользователей должно способствовать развитию их личностных, профессиональных навыков?

## Анкета № 2

1. Выберите и оцените по 10-балльной шкале формы обучения:

Очная индивидуальная, очная групповая, дистанционная MS LYNC:

- |  |                                   |
|--|-----------------------------------|
| 1-й эксперт:                               | 6-й эксперт:                      |
| - очная форма обучения – 2 балла;          | - очная линк – 9 баллов;          |
| - дистанционная форма обучения – 8 баллов. | - очная групповая – 1 балл.       |
| 2-й эксперт:                               | 7-й эксперт:                      |
| - очная форма обучения – 2 балла;          | - дистанционная линк – 10 баллов. |
| - дистанционная форма обучения – 8 баллов. |                                   |
| 3-й эксперт:                               | 8-й эксперт:                      |
| - очная групповая – 2 балла;               | - очная групповая – 5 баллов;     |
| - дистанционная линк – 6 баллов;           | - дистанционная линк – 5 баллов.  |
| - очная индивидуальная – 2 балла.          |                                   |
| 4-й эксперт:                               | 9-й эксперт:                      |
| - очная индивидуальная – 3 балла;          | - очная индивидуальная – 2 балла; |
| - дистанционная линк – 7 баллов.           | - очная групповая – 1 балл;       |
|  | - дистанционная линк – 7 баллов.  |
| 5-й эксперт:                               | 10-й эксперт:                     |
| - очная индивидуальная – 9 баллов;         | - очная групповая – 1 балл;       |
| - дистанционная линк – 1 балл.             | - дистанционная линк – 9 баллов.  |

2. Что можно отнести к учебным материалам для пользователей?
3. Что может быть использовано в качестве раздаточных материалов для пользователей?
4. Каков, на Ваш взгляд, уровень подготовленности пользователей?
5. Насколько оснащены обучающие классы?

УДК 50.344.094:550.822.2:004.02

*Егоров А. А., Гавриленко Т. В.*

## МЕТОДИКА АНАЛИЗА ПОРИСТОСТИ И ПРОНИЦАЕМОСТИ КЕРНА ВОЛНОВЫМ АЛГОРИТМОМ

г. Сургут

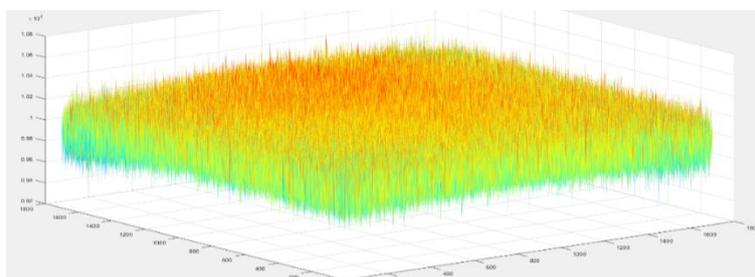
В статье авторы исследуют зависимость проницаемости модели пористой среды от структуры пористости керна. Рассмотрены методики анализа изотропной пористой среды, полученной в результате магнитной резонансной томографии керна Баженовской свиты. Со-

здана 3-мерная цифровая модель ядра на основе исходных данных. Разработаны алгоритмы визуализации пористой структуры цифровой модели ядра, а также его проницаемости и трещиноватости средствами волнового обхода.

*Ключевые слова:* ядро, магнитно-резонансная томография, алгоритм, пористая среда.

Проблема управления флюидами в пористой среде приобретает особую актуальность в связи с потребностью создания технологии «Цифровое месторождение». В нефтегазовой отрасли существует ряд задач, ориентированных на моделирование протекания жидкости и управление месторождением, динамическими воздействиями. Различные теоретические и экспериментальные исследования процессов вытеснения вязких жидкостей из пористых сред проводились достаточно широко. Моделирование такого рода процессов может быть использовано для оптимизации различного рода динамических воздействий на пласт с целью повышения нефтеотдачи. Оперативное решение такого класса задач с учетом пространственно-временных масштабов требует использования суперкомпьютерных технологий терафлопного класса. Данное требование определяется точностью при прямом моделировании течений жидкостей в пористой структуре, в которой необходимо использовать большое количество ячеек для разрешения поровых каналов [1; 2]. С помощью такой модели можно решать класс задач, связанных с построением фильтрационной модели пласта, основанной на использовании статистических оценок.

**Параметры исходной среды.** *Пористая среда* представляет собой сеть межзерновых каналов, образованных внутренне связанными промежуточными пространствами между частицами. Степень изменения зависит от уровня уплотнения и формы частиц, составляющих слой. В основе 3-мерной цифровой модели ядра лежит серия снимков, полученных методом магнитно-резонансной томографии. Размер матрицы составляет 2 560 значений по оси  $X$ , 2 560 – по оси  $Y$  и 8 600 – по оси  $Z$ . Каждая ячейка матрицы представляет собой целочисленное значение в диапазоне от 0 до 65 535. В ячейке хранится денситометрический показатель по шкале Хаунсфилда, где 0 – это линейный коэффициент ослабления относительно дистиллированной воды. Физический размер модели по трем осям – 0,0015276 мм. Объем одного вокселя равен  $35,647 \cdot 10^{-9}$  мм<sup>3</sup>. Ядро имеет форму цилиндра с диаметром 3,9 мм и длиной 13,13 мм. Объем ядра равен 141,17 мм<sup>3</sup>. Исходный размер пространства сканирования томографом составляет 3,9 x 3,9 x 13,13 мм. На рис. 1 представлен участок размером 120 x 120 ячеек из центра среза. Изображение дает представление о неоднородности состава ядра с точки зрения показателей шкалы Хаунсфилда [3].



**Рис. 1. Относительная однородность показателей по шкале Хаунсфилда в срезе № 1 (диапазон изменения значений по оси  $Y$  от 9 700 до 10 300)**

Ключевая характеристика пористой среды – пористость  $m$ , которая равна относительной объемной доле пор в материале. Пористость определяет количество флюида, способное содержаться в единице объема пористой среды. Оценить истинную пористость среды – нетривиальная задача, так как любое физическое воздействие приводит к разрушению материала. Прокачивание через пористую среду флюида с целью определения пористости учитывает только связанные между собой поры, которые могут быть заполнены флюидом извне, и не

учитывают объем изолированных пор, не участвующих в перемещении флюида внутри пористой среды. Для неоднородных пористых сред, свойства которых могут меняться от точки к точке, пористость  $m$  будет приближенной функцией пространственных координат. Магнитно-резонансная томография дает более полную карту пористости, чем любой другой известный метод, не нарушая при этом пористой среды, так как не оказывает непосредственного механического воздействия. Следует заметить, что с момента извлечения керна из скважины до момента его исследования в томографе проходит большой промежуток времени (дни, недели). Существование внутреннего высокого давления и отрицательно давления снаружи керна приводит к его постепенному механическому разрушению. Подобная деформация приводит к изменению величины пористости, которая меняется в зависимости от времени.

На рис. 2 представлен первый срез керна. Значение ячейки для данного среза представлено в цветовом диапазоне по шкале от 0 (светло-зеленый) до 12 000 (синий).

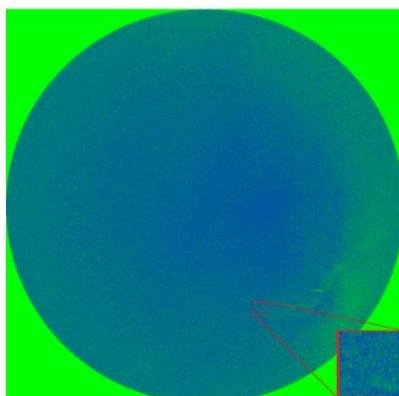


Рис. 2. Томография первого керна

Представление среза средствами цветовой палитры дает более четкое понимание о структурной разности его плотностей. КERN по ориентированности параметров в пространстве является изотропным. При этом наблюдается увеличение пористости по мере удаления от центра керна. Это связано с непрерывным разрушением керна со временем. Распределение плотностей 1-го среза по шкале Хаунсфилда представлено на рис. 3.

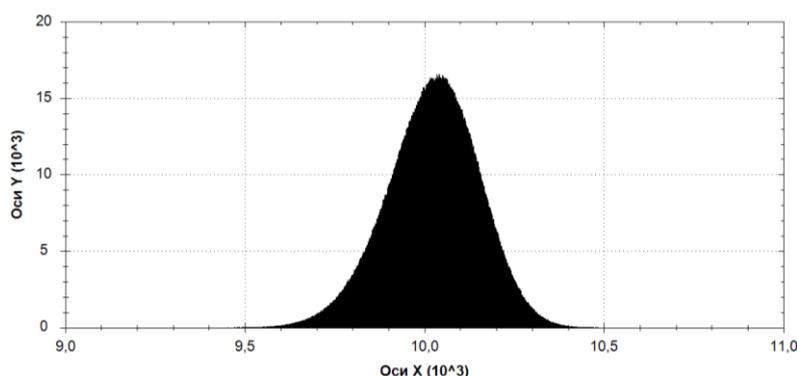


Рис. 3. Распределение плотностей 1-го среза по шкале Хаунсфилда:  
ось  $Y$  – количество ячеек с значением по шкале Хаунсфилда;  
ось  $X$  – шкала Хаунсфилда

Распределение плотностей 1-го среза по шкале Хаунсфилда имеет нормальное распределение. Данная диаграмма подтверждает относительную однородность первого среза.

**Алгоритм обработки данных.** Для более детального изучения раскрытости пор и трещиноватости была разработана абстрактная пространственная двумерная модель фильтрационного течения. При исследовании фильтрационных течений удобно отвлечься от размеров

пор и их формы, допустив, что флюид движется сплошной средой, заполняя весь объем пористой среды. Модель пористой среды строится на основе упрощения исходных данных ядра по принципу бинаризации значений вокселей относительно заданного фильтра. Итоговая модель пористой среды представляет собой матрицу, состоящую из 0 (свободная пора-трещина) и 1 (стенка-непроницаемый элемент).

Алгоритм разработанного программного комплекса анализа двумерных срезов ядра условно делится на следующие этапы:

- 1) задание параметров построения двумерных срезов: номера срезов, количество срезов и размеры сетки;
- 2) построение серии срезов бинаризованных матриц (карт ядра) относительно фильтра; само значение фильтра задается в диапазоне от вокселя с наименьшим значением по шкале Хаунсфилда до вокселя с наибольшим значением;
- 3) прохождение волнового алгоритма по картам ядра;
- 4) визуализация результатов волнового прохода по картам ядра;
- 5) визуализация зависимостей проницаемости ядра от выбранного значения фильтра.

На 1-м и 2-м этапах производится считывание данных и формирование четырехмерных массивов данных ( $x, y, z$ , фильтр). Этап три представляет собой серию итераций прохождения волны-флюида через бинаризованные карты ядра.

**Моделирование и анализ результатов.** Далее проводится серия различных тестов с различными пространственными разрешениями и срезами ядра. Для примера приведены ядра среза № 1 (см. рис. 1) и среза № 39 (рис. 4).

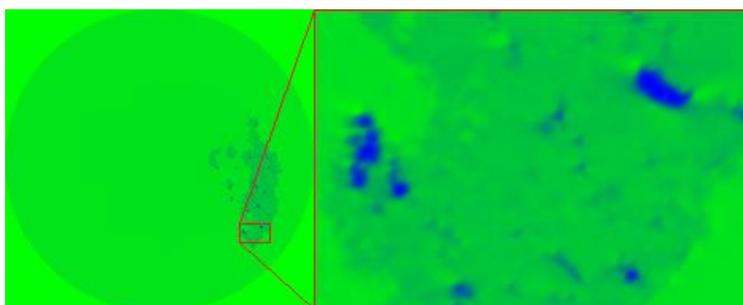


Рис. 4. Томография среза № 39 ядра

Из рис. 4 видно, что в правой области ядра располагается область, имеющая значительно большую плотность. Данная область состоит из менее однородной структуры и содержит вкрапления с плотностью в 2–3 раза большую, чем в срезе № 1. На рис. 4 синим цветом отображены области, имеющие значения по шкале Хаунсфилда около 27 000. На функции плотности распределения также начал проявляться второй пик, отражающий смещения плотностей. На рис. 5 представлено распределение плотностей среза № 39 по шкале Хаунсфилда.

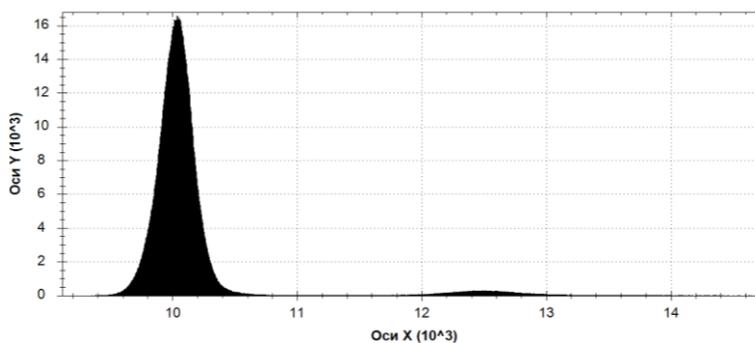
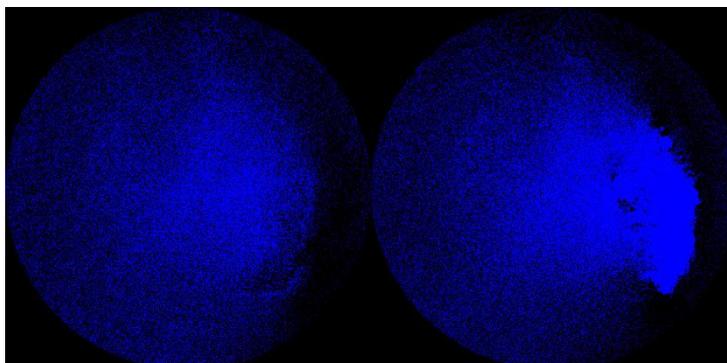


Рис. 5. Распределение плотностей среза № 39 по шкале Хаунсфилда:  
ось  $Y$  – количество ячеек с значением по шкале Хаунсфилда;  
ось  $X$  – шкала Хаунсфилда

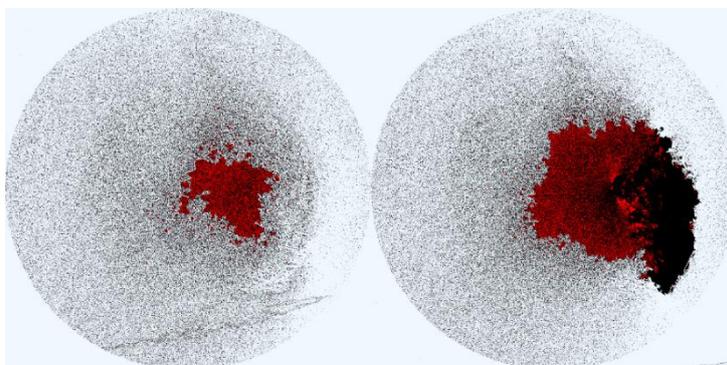
Проверка срезов на проницаемость осуществляется искусственным загроблением показателей по шкале Хаунсфилда и приведением их к бинарному виду. Результат бинаризации представлены на рис. 6. Созданы матрицы-фильтры для слоя 1 (слева) и слоя 39 (справа). Значение условия фильтрации выбрано интуитивно и составляет 10 130.



**Рис. 6. Модель пористой среды с учетом матрицы фильтрации:**  
слой 1 (слева); слой 39 (справа)

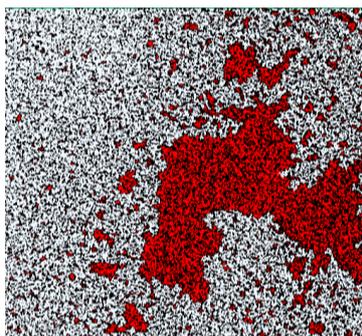
Черным цветом на рис. 6 отображены открытые поры, потенциально способные пропустить флюид. Синим цветом отображены условные стенки пористой среды, препятствующие проникновению флюида.

В результате прохождения волновым алгоритмом были получены карты проницаемости керна с пространственным разрешением 2 560 x 2 560 ячеек. Белым цветом на картах отображены зоны, через которые флюид прошел. Красным цветом отображены поры с невытесненным флюидом. Черным цветом отображены условные стенки пористой среды, препятствующие проникновению флюида (рис. 7).



**Рис. 7. Модель пористой среды с учетом проницаемости флюидом:**  
слой 1 (слева); слой 39 (справа)

На рис. 8 приведено увеличение карты керна до различимости отдельных ячеек.



**Рис. 8. Модель пористой среды с учетом проницаемости флюидом укрупненная**

На рис. 9 видны ярко выраженные центральные зоны, где вытеснение флюида не может произойти по причине замкнутости пор. Помимо центральных зон, присутствуют малые зоны, также задерживающие флюид.

На рис. 9 представлены графики изменения структуры пористой среды (оранжевая и синяя линия) в зависимости от выбранного бинарного фильтра.

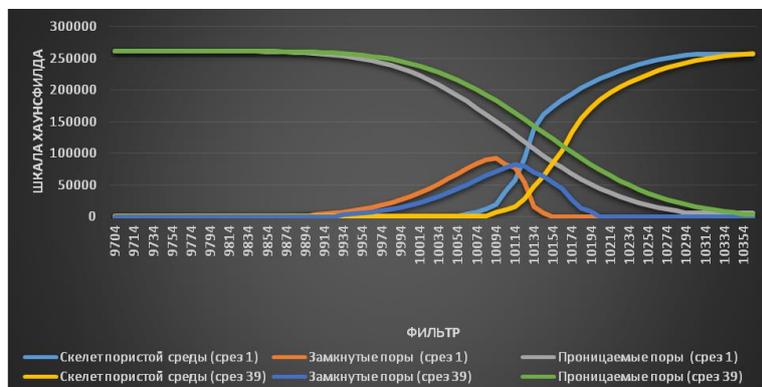


Рис. 9. График проницаемости пористой среды

Графики показывают, что по мере увеличения значения фильтра количество проницаемых областей естественным образом сокращается (серая и зеленая линия).

Таким образом, разработан программный комплекс, предназначенный для изучения пористости и проницаемости двумерных срезов ядра, на основе магнитно-резонансной томографии. Результаты вычислительных экспериментов показывают, что пористая структура данного ядра способна сохранять до 32 % от общего объема пор.

*Egorov A. A., Gavrilenko T. V.*

## METHODOLOGY OF THE ANALYSIS OF THE PERCUSSION AND PERMEABILITY OF THE KERN BY WAVE ALGORITHM

*Surgut*

The paper investigates the dependence of the porosity permeability on the core porosity structures. Methods for analyzing the isotropic porous medium obtained as a result of magnetic resonance tomography of the core of the Bazhenov formation are considered. A 3-D digital core model is created based on the initial data. Algorithms for visualization of the porous structure of digital core models, as well as its permeability and fracturing of the wave discharge means, have been developed.

*Keywords: Kern, magnetic resonance tomograph, algorithm, porous medium.*

### Список использованной литературы

1. Никитин В. Ф., Стамов Л. И., Михальченко Е. В. Трехмерное математическое моделирование течения вязких жидкостей в многосвязной системе каналов и пор // Вестник кибернетики. 2016. № 2. С. 127–137.
2. Смирнов Н. Н., Тюренкова В. В., Киселев А. Б., Никитин В. Ф. Фильтрационные течения в пористой среде // Северный регион: наука, образование, культура. 2015. Т. 2, № 2 (32). С. 74–86.
3. Hounsfield G. N. Computed Medical Imaging // Nobel Lectures in Physiology or Medicine 1971–1980. World Scientific Publishing Co. 1992. P. 568–586.

УДК 004.032.26

Еловой С. Г., Гавриленко А. В., Яценко Е. А.

## АЛГОРИТМИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СИСТЕМЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ РАБОТЫ НЕЙРОННОЙ СЕТИ

г. Сургут

В статье авторы описывают алгоритмическое обеспечение программного комплекса моделирования работы нейронной сети. Рассмотрены реализованные алгоритмы сценариев работы нейронной сети «Черная дыра», «Генератор» и «Рождение».

*Ключевые слова:* нейронная сеть, обучение нейронной сети, алгоритм работы нейронной сети.

Отличительной особенностью применения аппарата нейронных сетей к решению практических задач, в том числе и в области управления аспектами нефтедобывающей деятельности, является возможность обучения. Именно обучение позволяет применять нейронные сети в тех областях, где остальные методики бессильны, но в то же время сам его алгоритм, как правило, является сложной научной задачей.

Технически обучение заключается в нахождении коэффициентов связей между нейронами. В процессе обучения нейронная сеть способна выявлять сложные зависимости между входными данными и выходными, а также выполнять обобщение. После успешного обучения сеть сможет вернуть верный результат на основании данных, которые отсутствовали в обучающей выборке, а также неполных или «зашумленных», частично искаженных данных.

Обучение нейронной сети в настоящее время по-прежнему является нетривиальной и в значительной степени творческой задачей, что сильно затрудняет широкомасштабное и повсеместное применение нейросетевых технологий для различных целей. Обычно на практике производят предварительное моделирование и обучение сети в какой-либо подходящей для этих целей среде, затем экспортируют полученную матрицу коэффициентов в программную или аппаратную реализацию сети.

С целью изучения процесса обучения нейронных сетей разработан программный комплекс, который обеспечивает создание, сохранение, открытие трехмерной нейронной сети, а также предоставляет функционал для проведения вычислительных экспериментов и модуль визуализации нейронной сети. Созданная нейронная сеть может работать в четырех режимах: «Черная дыра», «Генератор», «Рождение», «Гибридный режим». Разница работы заключается в передаче сигналов по нейронной сети.

На первом этапе определяется количество нейронов в модели и формируется матрица, для 2-мерного случая размерностью  $I \times J$  для 3-мерного случая  $I \times J \times K$ , в узлах которой расположены условные нейроны  $U$  (рис. 1).

Все нейроны в модели в начальный момент времени обладают следующими свойствами: каждый нейрон  $U_{ijk}$  ( $i = \overline{1, I}, j = \overline{1, J}, k = \overline{1, K}$ ) в радиусе  $R$  образует от  $E_{0 \min}$  до  $E_{0 \max}$  выходных связей с окружающими его нейронами. Будем обозначать  $Q_{ijk}$  – количество связей  $U_{ijk}$  нейрона.

Каждая формируемая связь характеризуется пропускной способностью от  $V_{0 \min}$  до  $V_{0 \max}$ . Данная характеристика определяет, какая часть сигнала может быть передана от одного

нейрона к другому нейрону по данной связи. Пропускную способность, формируемую связью от нейрона  $U_{ijk}$  к нейрону  $U_{lmn}$ , будем обозначать  $V_{ijk}^{lmn}$ .

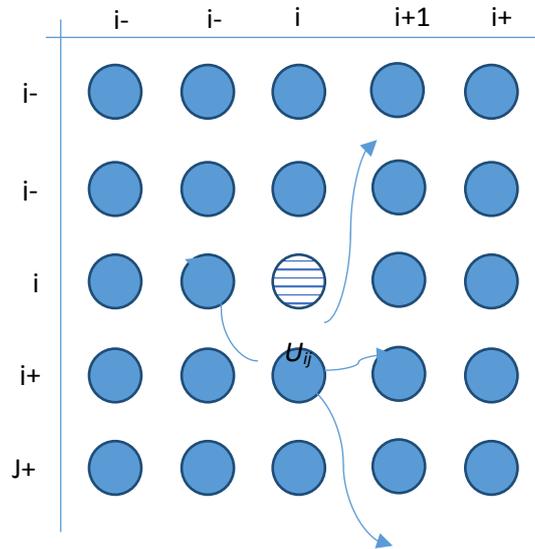


Рис. 1. Исходное состояние модели (нейроны не имеют связей)

Совокупность нейронов и связей между ними представляет собой нейронную сеть  $M(U, E)$ , где  $U = \{U_{ijk}\}$  – множество всех нейронов (узлов), а  $E$  – множество связей (отношений) между узлами,  $E$  представляет собой множество упорядоченных пар вершин с пропускной способностью связи (отношения),  $E = \{E_{ijk}\} = \{U_{ijk}, U_{lmn}, V_{ijk}^{lmn}\}$ . Связи формируются случайным образом.

Общая пропускная способность  $V_{ijk}$  нейрона  $U_{ijk}$  может быть рассчитана, как сумма пропускных способностей всех выходных связей нейрона:

$$V_{ijk} = \sum_{l=1}^I \sum_{m=1}^J \sum_{n=1}^K V_{ijk}^{lmn}.$$

Суммарный максимальный входной поток для нейрона  $V_{ijk}$ :

$$V^{ijk} = \sum_{l=1}^I \sum_{m=1}^J \sum_{n=1}^K V_{lmn}^{ijk}.$$

В общем случае  $V_{ijk} \neq V^{ijk}$ . Количество входных и выходных связей также не равны.

Рассмотрим отдельный нейрон в процессе работы (рис. 2):

1. На вход нейрона поступают сигналы  $x = \{x_1, x_2, \dots, x_q\}$ , где  $q$  – общее число входных сигналов.

2. Все входные сигналы суммируются и формируется суммарный входной сигнал

$$S = \sum_{h=1}^q x_h.$$

3. Оператор  $P$  формирует выходной сигнал  $y = \{y_1, y_2, \dots, y_c\}$  с учетом ограничений накладываемых пропускными способностями связей  $v = \{v_1, v_2, \dots, v_c\}$ ,  $y$ .

Оператор  $P$  равномерно распределяет входной сигнал  $S$  по исходящим связям, т. е. оператор  $P$  формирует вектор  $y = \{y_1, y_2, \dots, y_c\}$  таким образом, что сумма  $\sum_{j=1}^c y_j$  сигналов, проходящих по исходящим связям, должна быть равна  $S$ . Это возможно только при условии, что  $\sum_{j=1}^c y_j \leq S$ . В случае невыполнения данного условия, оператор  $P$  не может быть применен, если применяется один из четырех сценариев.

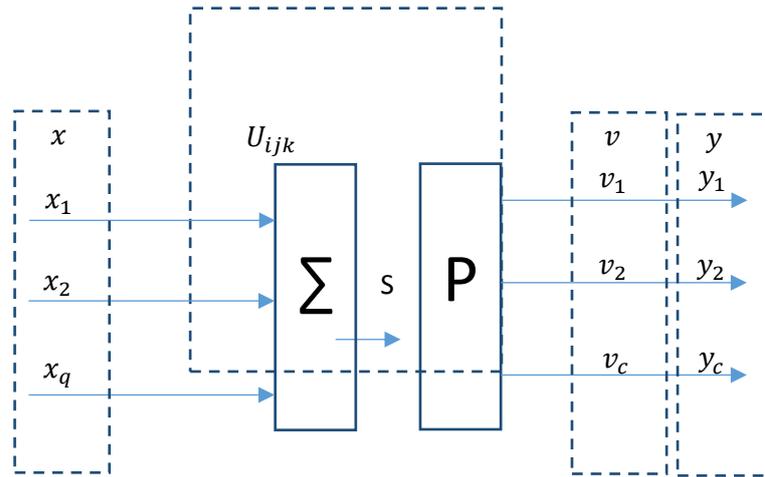


Рис. 2. Схема нейрона

Сценарий «Черная дыра» характеризуется следующим алгоритмом работы сети: при возникновении избыточного сигнала  $\sum_{j=1}^c y_j > \sum_{j=1}^c v_j$  нейрон переходит в состояние, при котором вне зависимости от входного сигнала  $P(S, v) = \{0\}$  т. е. на выходе не формируются сигналы при любых значениях входных сигналов. Можно говорить о том, что нейрон переходит в режим молчания. При этом данное состояние сохраняется бесконечно и не изменяется. Фактически напоминает поломку при перегрузке. Блок-схема работы алгоритма представлена на рис. 3.

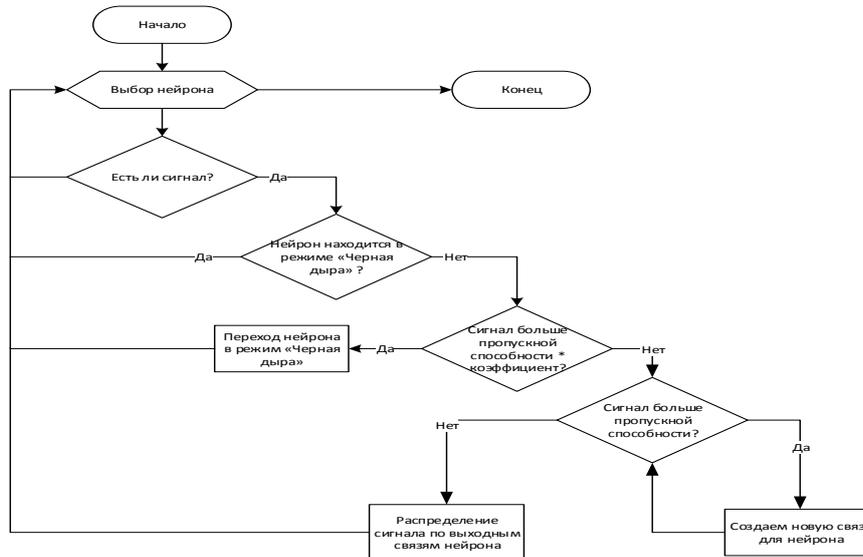


Рис. 3. Блок-схема алгоритма распространения сигнала при применении сценария «Черная дыра»

В случае выполнения сценария «Генератор», вне зависимости от значения  $S$  выходной сигнал формируемый оператором  $P$  имеет следующий вид  $P(S, v) = \{y_1 = v_1, y_2 = v_2, \dots, y_c = v_c\}$ , при  $\sum_{j=1}^c y_j > \sum_{j=1}^c v_j$ . При возникновении перегрузки нейрон переходит в особый режим при котором любые значения поступающие на вход приводят к генерации максимально возможного сигнала на выходных связях. Как и в предыдущем случае данное состояние сохраняется бесконечно и не изменяется. Блок-схемы работы алгоритма сценариев «Генератор» и «Рождение» представлены на рис. 4 и 5.

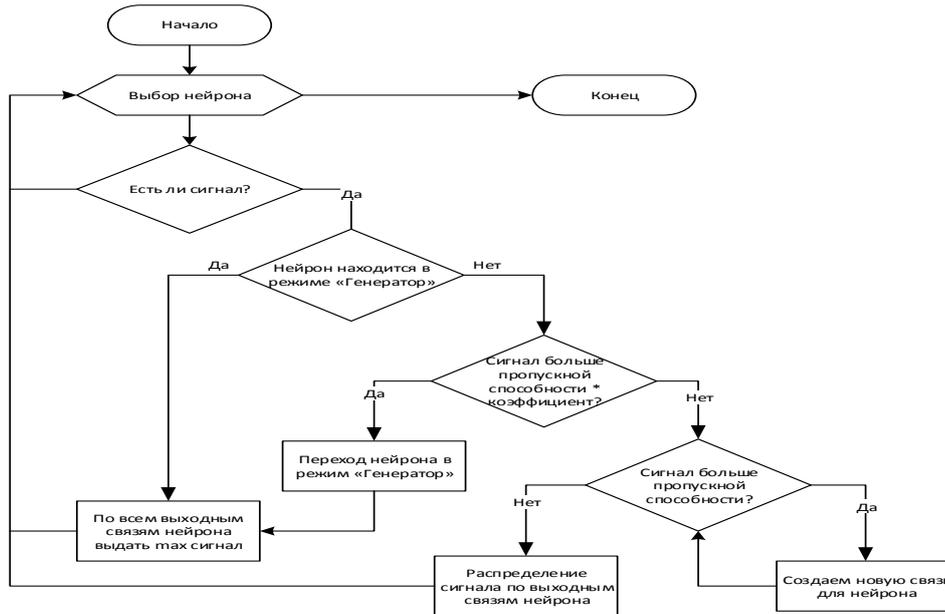


Рис. 4. Блок-схема алгоритма распространения сигнала при применении сценария «Генератор»

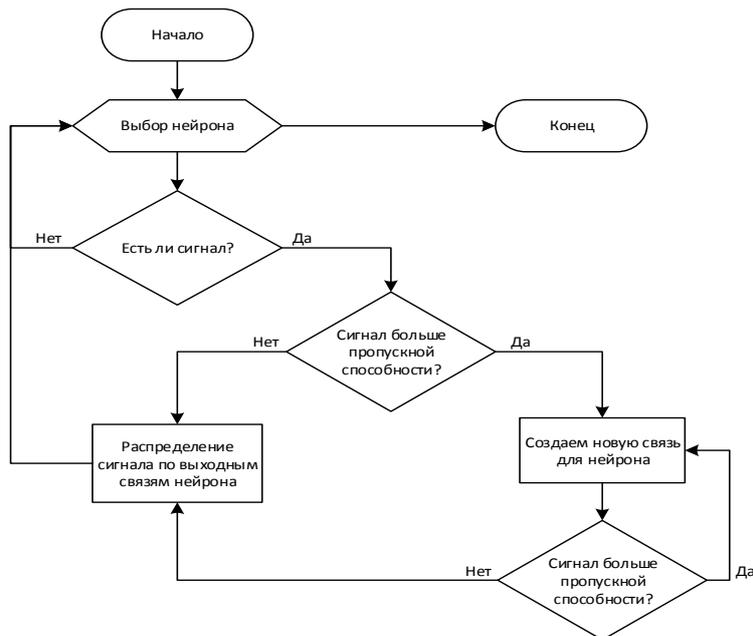


Рис. 5. Блок-схема алгоритма распространения сигнала при применении сценария «Рождение»

При сценарии «Рождение» реализуется следующий алгоритм (блок-схема на рис. 5),  
при  $\sum_{j=1}^c y_j > \sum_{j=1}^c v_j$ .

1. Формируется новая выходная связь, удовлетворяющая начальным условиям (в радиусе  $R$  и с пропускной способностью от  $V_{0 \min}$  до  $V_{0 \max}$ ).

2. Проверяется отношение  $S \leq \sum_{j=1}^{c+1} v_j$ . Если отношение истинно, то применяется оператор  $P$ , в противном случае, повторяем с предыдущего шага.

Избыточный входной сигнал формирует новые выходные связи. При этом структурная сложность модели нарастает.

Сценарий «Гибридный режим» является объединением всех указанных выше сценариев», при  $\sum_{j=1}^c y_j > \sum_{j=1}^c v_j$ , случайным образом выбирается сценарий, который в тот или иной момент времени применяется к нейрону. Вводятся следующие вероятности срабатывания сценариев:  $p_1$  – «Черная дыра»;  $p_2$  – «Генератор»;  $p_3$  – «Рождение».

Разработан программный продукт, позволяющий реализовать моделирование дву- и трехмерных нейронных сетей с переменной размерностью. Планируется его применение для изучения и разработки методик построения и обучения нейронных сетей, решающих целевые задачи.

*Elovoy S. G., Gavrilenko A. V., Yatsenko E. A.*

## ALGORITHMS OF NEURAL NETWORK MODELING SYSTEM

*Surgut*

The description of algorithmic support of the software complex for modeling the operation of a neural network is presented. The realized algorithms of the scenarios of the operation of the neural network "Black Hole", "Generator" and "Birth" are considered.

*Keywords: Neural network, learning neural network, neural network algorithm.*

### Список использованной литературы

1. Аведьян Э. Д. Исторические аспекты развития теории многослойных нейронных сетей. Информационные технологии. 2005. № 12.
2. Каллан Р. Основные концепции нейронных сетей. Вильямс. 2001. 288 с.
3. Круглов В. В., Дли М. И., Голунов Р. Ю. Нечеткая логика и искусственные нейронные сети : учеб. пособие. М. : Изд-во физико-математической литературы, 2001.
4. Розенблатт Ф. Принципы нейродинамики: Перцептроны и теория механизмов мозга. М. : Мир, 1965.
5. Рутковская Д., Пилиньский М., Рутковский Л. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы. М. : Горячая линия-Телеком, 2004.

УДК 336.7:004.9

*Жедик О. И., Бушмелева К. И.*

## **СОВРЕМЕННЫЕ СИСТЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО БАНКОВСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ В СФЕРЕ ИНВЕСТИРОВАНИЯ**

г. Сургут

В статье авторы останавливаются на обзоре методов банковского обслуживания и инвестирования. Особое внимание уделено такому методу, как дистанционное банковское обслуживание, проанализированы современные системы, работающие по этому методу, их функционал, а также автоматизированные способы консультирования в сфере инвестирования.

*Ключевые слова:* дистанционное банковское обслуживание, программное обеспечение, инвестирование, онлайн-консультирование, рынок ценных бумаг.

Основной целью деятельности каждого банка является получение максимальной прибыли, что осуществляется посредством привлечения большого количества клиентов. Клиент, в свою очередь, также желает получить максимальную прибыль от своих вложений и защитить их от рисков потери при инвестировании либо минимально снизить затраты при кредитовании. Однако немаловажным является и критерий удобства обслуживания клиентов.

В настоящее время многие банки выделяют привилегированных клиентов, обслуживание которых осуществляется не в общей очереди, а в комфортных условиях. Однако есть и другие подходы увеличения комфортности обслуживания банковских клиентов. С ростом влияния информационных технологий на различные сферы деятельности все большую популярность приобретает дистанционное обслуживание клиентов банка. Дистанционное обслуживание входит в список сервисных услуг 80 % российских банков. Стоит заметить, что уровень информационной грамотности населения также увеличивается, поэтому эта цифра постоянно увеличивается [3].

Дистанционное банковское обслуживание (*далее – ДБО*) – технология предоставления банковских услуг, разработанная специально для удаленной работы клиентов с банком, чаще всего с использованием компьютерных и телефонных сетей [1].

В Россию подобная система интегрировала достаточно недавно. Однако ежегодно наблюдается стабильное развитие системы ДБО. Суть банковского дистанционного обслуживания состоит в том, что большое количество банковских операций можно осуществлять в заочном режиме без личного присутствия клиента. Список этих операций обширен:

- управлением счетами, картами, вкладами;
- получение выписок;
- совершение платежей (внутренних, межбанковских, оплата услуг);
- приобретение доступных банковских продуктов (счета, карты, вклады);
- инвестирование в ценные бумаги и т. д.

Банковское дистанционное обслуживание включает:

1. Систему «Банк – клиент» (*remote banking и home banking*). Принцип работы системы заключается в удаленном доступе клиента через компьютерную программу. Для работы подобного типа необходимо обратиться в банк для технологического руководства и установки соответствующего программного обеспечения (ПО). Данная система интегрирована из зарубежья.

2. Систему «Интернет – клиент» (*Internet banking и Web-banking*). Эта система не предполагает установки дополнительного программного обеспечения. Для работы в системе до-

статочно иметь доступ в Интернет. В личном кабинете каждый клиент имеет возможность совершать операции, указанные выше. Многие банки в настоящее время имеют специальные приложения для смартфонов, позволяющие использовать данную систему ДБО.

3. Сервис «Телефон – клиент» (phone-banking и SMS-banking). Это самый простой вид ДБО, предоставление и обработка информации в котором осуществляются по телефону. При этом обработка и передача данных происходит с помощью следующих способов:

- клиент общается с оператором колл-центра (служба поддержки клиентов);
- клиент получает информацию при помощи голосового меню;
- клиент получает информацию при помощи смс-банкинга.

Список предоставляемых услуг в данном виде ДБО намного меньше, чем в двух предыдущих.

4. Сервис ATM-banking. Этот вид ДБО предполагает использование устройств банковского обслуживания, к которым относят терминалы и банкоматы.

Также на сайтах многих банков осуществлена функция «калькулятора», который рассчитывает предполагаемую прибыль, исходя из начальных условий вклада. Обычно этими условиями являются период и сумма вклада. В результате работы «калькулятора» клиент получает список предлагаемых банком продуктов. Полагаясь на условия вклада (фиксированная или плавающая процентная ставка, доступность пополнения и/или изъятия части вклада, периодичность капитализации или выплаты процентов и др.), клиент может выбрать максимально прибыльный, по его мнению, продукт.

Подобное онлайн-консультирование касается только такого вида банковских продуктов, как вклад.

В настоящее время юридические и физические лица стараются получить не только максимальную прибыль от своих вложений, но также сделать ее постоянной. Поэтому популярным становится также и инвестирование личных средств. Объектами вложений чаще всего являются предприятия, бизнес-проекты и стартапы [2].

Сегодня для оценки эффективности проектов инвестирования используются три наиболее распространенных отечественных ПО: «Альт-Инвест», Project Expert, ТЭО-ИНВЕСТ; а лучшим из зарубежных программных решений считается COMFAK Expert (Computer Model for Feasibility Analysis and Reporting). Эти программы позволяют планировать бизнес-проекты и оценивать их инвестиционную прибыльность, но не предлагают пользователям консультирование «здесь и сейчас» путем анализа состояния рынка ценных бумаг.

В случае финансового инвестирования банки предлагают клиентам воспользоваться услугами трейдинга или открыть индивидуальный инвестиционный счет. Клиенты могут воспользоваться услугами Интернет-трейдинга с помощью специального ПО. При этом финансовое консультирование по такому виду вложений можно получить только при личном обращении в банк.

Таким образом, несмотря на довольно доступные и широко используемые системы ДБО, у клиентов банка нет возможности получения автоматизированного способа консультирования в сфере инвестирования. Следовательно, проблема создания подобного инструмента вполне актуальна. Причем не важно, будет это отдельное программное обеспечение, онлайн-услуга или мобильное приложение. Любой из этих способов будет востребован клиентом, который желает сэкономить свое время и приумножить капитал.

Для создания подобного приложения необходимо выполнить ряд задач: осуществить сравнение различных инвестиционных стратегий; выбрать математическое обеспечение для анализа фондового рынка, перспективности вложений и оценки рисков; выбрать способ получения актуальных данных состояния фондового рынка, а также данных за предыдущие периоды для анализа окупаемости; выбрать среду для создания программного продукта. Соответственно, можно сделать вывод о необходимости создания аналитической автоматизированной системы принятия решений в сфере финансового инвестирования.

**Zhedik O. I., Bushmeleva K. I.**

## **MODERN REMOTE BANKING SYSTEMS AND THE SOFTWARE IN THE INVESTMENT SPHERE**

*Surgut*

The article is devoted to a survey of methods of banking services and investment. Particular attention is paid to such method as remote banking services. The modern systems working on this method, as well as their functionality are analyzed. Automated ways of advising in the field of investment are also considered.

*Keywords: remote banking services, software, investment, online consulting, securities market.*

### **Список использованной литературы**

1. Гордеева Е. Банковское дистанционное обслуживание – использование и развитие. 2017 [Электронный ресурс]. URL: <http://fb.ru/article/204844/bankovskoe-distantsionnoe-obsluzhivanie-ispolzovanie-i-razvitie> (дата обращения: 20.04.17).
2. Гулиева Д. Х., Егорова Я. П. Автоматизация деятельности коммерческих банков // Молодой ученый. 2016. № 23 (127). С. 215–217.
3. Тазеева А. М., Крамин Т. В. Инновационное развитие банков на основе дистанционного банковского обслуживания // Экономические исследования и разработки. 2017 [Электронный ресурс]. URL: <http://edrf.ru/article/09-02-17> (дата обращения: 20.04.17).
4. Шпилина Д. Ю. Автоматизация банковской деятельности // Экономика и менеджмент инновационных технологий. 2014. № 1 [Электронный ресурс]. URL: <http://ekonomika.snauka.ru/2014/01/3591> (дата обращения: 20.04.17).

УДК 656:004.021

**Зайцев И. Ю., Даниленко И. Н.**

## **МУЛЬТИАГЕНТНЫЕ СИСТЕМЫ В РЕШЕНИИ ЗАДАЧИ МОДЕЛИРОВАНИЯ ГОРОДСКОЙ ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ**

*г. Сургут*

В статье авторы рассматривают несколько подходов к применению мультиагентных систем в сочетании с современными методами машинного обучения к задаче построения децентрализованных, масштабируемых систем моделирования городских транспортных потоков и приводится анализ их эффективности.

*Ключевые слова: мультиагентная система, транспортные потоки, обучение с подкреплением, глубинное обучение.*

В течение последних десятилетий наблюдается неуклонный рост доли городского населения. Вместе с тем усложняется городская инфраструктура, увеличивается количество транспортных средств, ежедневно перемещающихся по городским дорожным сетям. Классические

методы управления движением городского транспорта, основанные на задании фиксированных значений для длительности светофорных фаз, оказываются менее эффективны при динамически изменяющейся плотности транспортных потоков и большой загруженности дорожной сети. Внедрение децентрализованных интеллектуальных систем, способных автоматически адаптироваться к быстро меняющимся условиям, позволяет снизить среднее время передвижения по городу, аварийность, а также вред, наносимый экологии. В следующих разделах рассматриваются различные подходы к моделированию городских транспортных потоков и проектированию алгоритмов светофорного регулирования с использованием мультиагентных систем в сочетании с современными методами машинного обучения.

**1. Микросимуляция.** В отличие от централизованного подхода к планированию дорожного движения, микромоделирование подразумевает построение системы «снизу вверх». Существуют различные подходы к построению подобного рода систем. Одним из них является заимствование принципов молекулярной динамики, определяющих поведение отдельных частиц в потоке вещества, дополненное математическим аппаратом теории принятия решений [1]. При таком подходе поведение каждого транспортного средства определяется *функцией полезности*, которую каждый агент стремится максимизировать. Руководствуясь своими собственными целями, в совокупности группа агентов может генерировать достаточно сложное и эффективное поведение.

*1.1. Моделирование берлинской транспортной сети.* В работе [1] проводилось исследование транспортной сети Берлина. Для симуляции средней интенсивности дорожного движения в расчет принимался не только сам город, но и прилегающие к нему территории. В общей сложности исследование затронуло регион площадью 150 на 250 километров с населением в 6 млн человек. В качестве исходных данных использовались результаты, собранные макроскопической моделью, используемой берлинским департаментом городского планирования. Созданная в ходе исследования сеть насчитывает около 30 тыс. ребер, соединяющих более чем 10 тыс. узлов с присвоенными им координатами. Для ускорения симуляции, реальная пропускная способность дорожной сети была уменьшена до 10 % от ее реального значения. Каждый агент в созданной модели обладает собственным планом событий (действий), задающих последовательность перемещений по городу. Каждое событие является четверкой  $E_i^t = \text{Time}, \text{AgentID}, \text{Type}, \text{Act}$ . План представляет собой вектор, состоящий из событий  $P_i = (E_1^t, E_2^t, \dots, E_k^t)$ . Эффективность выбранного агентом плана оценивается с помощью функции полезности, при этом выполнение действия сопровождается положительным вознаграждением, а время путешествия и опоздания – отрицательным. В общем виде функция имеет вид:

$$U_{plan}(x) = \sum_i U_{act}^i(x) + \sum_i U_{trav}^i(x) + \sum_i U_{late}^i(x),$$

где  $U_{act}^i$  – награда за выполнение  $i$ -го действия;

$U_{trav}^i$  – штраф за перемещение;

$U_{late}^i$  – штраф за опоздание.

Обучающий алгоритм действует следующим образом. В начале симуляции каждому агенту назначается его начальный план действий. Все агенты действуют одновременно, взаимодействуя друг с другом. Каждый агент может корректировать свои планы на основе этого взаимодействия. Обучение продолжается до тех пор, пока система не становится устойчивой. Агенты адаптируются к среде и улучшают свои планы с течением времени, стремясь максимизировать получаемое вознаграждение.

Несмотря на успешное получение некоторых сведений о характере загруженности исследуемой инфраструктуры и построение карты интенсивности транспортных потоков, авто-

ры столкнулись с проблемой взаимоблокировки отдельных участков исследуемой сети, которую им не удалось решить на момент публикации работы.

1.2. *Управление транспортными потоками с учетом движения автобусов.* В работе [8] рассматривается бимодальная стратегия управления транспортной сетью. Авторы работы отдельно выделяют автобусы по причине регулярности их движения. Городская транспортная сеть представлена графом, каждая из дуг которого характеризуется такими параметрами, как длина  $L$ , вместимость  $C$  (измеряемая в длинах «личных» автомобилей), насыщенность  $D$  и др.

В рассматриваемой системе существует четыре разновидности агентов:

- 1) агент-автобус;
- 2) агент-супервайзер, контролирующий регулярность движения агентов-автобусов;
- 3) агент-перекресток, контролирующий планирование светофорных фаз;
- 4) агент, контролирующий фазы и вычисляющий оптимальную длительность циклов.

Оптимальная продолжительность зеленой фазы для каждой дуги рассчитывается по следующей формуле:

$$T = \max \frac{N_i}{D_i} \left( 1 + \frac{L_i}{V_i} \right),$$

где  $N_i$  – количество автомобилей, проходящих по дуге;

$D_i$  – плотность потока;

$L_i$  –длина дуги;

$V_i$  – скорость транспортных средств.

Отличительной особенностью системы является наличие механизма разрешения конфликтов, предназначенного для взаимодействия агентов-перекрестков со вспомогательными агентами, контролирующими фазы. Построение модели осуществлялось с помощью фреймворка JADE. Моделируемая сеть состоит из 6 перекрестков и 3 автобусных маршрутов. Результаты моделирования показали, что явное моделирование городского транспорта с предоставлением приоритета автобусам позволяет снизить время ожидания и не приводит к ухудшению общей дорожной ситуации.

**2. Обучение с подкреплением.** Концепция обучения с подкреплением (RL – reinforcement learning) занимает промежуточное положение между обучением с учителем и обучением без учителя и применяется для управления агентами в средах с ограниченной информацией, требующих последовательного принятия решений. Ключевым уравнением в теории RL является уравнение *Беллмана*, используемое для определения полезности состояния [10]:

$$U(s) = R(s, a, s') + \gamma \max_a \sum_{s'} P(s' | s, a) U(s').$$

Именно это уравнение (в той или иной форме) лежит основе всех RL-алгоритмов. В следующих разделах рассматриваются способы применения алгоритмов теории RL к задаче управления городским транспортным движением.

2.1. *Метод временных разностей, дополненный априорной информацией.* В [6] разработан алгоритм управления движением городского транспорта, основанный на применении обучающихся агентов, дополненный этапом получения агентами априорной информации о городском движении до начала самообучения. Передаваемая информация основана как на теоретических расчетах, так и на собранных статистических данных. Таким образом, агенты имеют возможность осуществить предварительную аппроксимацию оптимальных диапазонов для ряда параметров (например, длительности фаз). Аппроксимированные значения используются в качестве начальных параметров в первом цикле обучения.

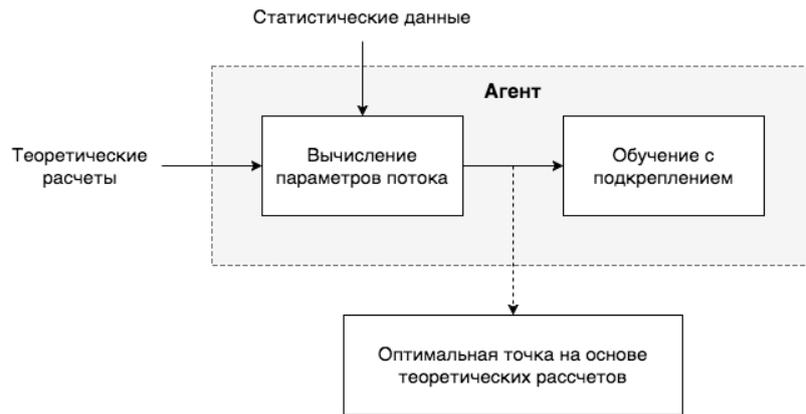


Рис. 1. Схематическое представление методики, реализованной в [6]

В качестве алгоритма обучения используется итеративная версия *алгоритма -обучения без модели*, использующая временные разности (temporal-difference):

$$Q(s, a) \leftarrow \alpha \left( R(s, a, s') + \gamma \max_{a'} Q(s', a') \right) + (1 - \alpha) Q(s, a),$$

где  $\alpha$  – темп обучения;

$\gamma$  – коэффициент обесценивания.

Рассматриваемая в работе дорожная сеть представляет собой решетку с 6 перекрестками. В общей сложности в моделируемой среде насчитывается 24 состояния, каждое из которых обозначает определенное логическое соотношение между интенсивностью транспортных потоков на перекрестках. К примеру, некоторое состояние  $s$  может определяться следующим образом:

$$s = (F_A > F_B) \ \& \ (F_B > F_C) \ \& \ (F_C > F_D).$$

То есть система находится в состоянии  $s$  в том случае, если поток на улице  $A$  интенсивнее потока на улице  $B$ , а поток на улице  $B$  интенсивнее потока на улице  $C$  и т. д. В качестве множества доступных действий  $A(s)$  в каждом из состояний используется вектор корректировки длительности фаз  $a = \langle a_A, a_B, a_C, a_D \rangle$ , где каждый из элементов обозначает приращение времени зеленой фазы светофора. Например, действие  $a_k = \langle +1, -1, 0, +1 \rangle$  приводит к увеличению длительности фазы для улиц  $A$  и  $D$ , сокращение – для улицы  $B$  и отсутствие изменений – для  $C$ . В качестве функции вознаграждения  $R(s, a, s')$  используется соотношение общего количества автомобилей на улицах, примыкающих к перекрестку, и вместимость этих улиц, т. е. максимальное количество автомобилей, которое может одновременно поместиться на улице, взятое с обратным знаком:

$$r_i = - \frac{n_{total}}{n_{max}}.$$

Проверка предложенного метода планирования осуществлялась с помощью моделирования в программной среде Aimsun v6.1. Моделирование показало более высокую эффективность динамического подхода в сравнении с фиксированными значениями времен для циклов переключения светофоров. Однако исследуемая в работе модель характеризуется очень низкой размерностью. В таких случаях прямое применение классического обучения с дискретными состояниями, как правило, не вызывает особых затруднений.

2.2. Алгоритм *max-plus*, дополненный явным взаимодействием между агентами. В работе [5] также предлагается осуществлять контроль над дорожной сетью путем назначения для каждого светофора обучаемого агента. При этом рекомендуется дополнить систему явной координацией между агентами для нахождения более оптимального решения. Кроме того, предполагается, что каждый агент может взаимодействовать только с агентами из смежных узлов сети.

Одним из главных ограничений классических RL-алгоритмов является сложность их масштабирования на случай задач, включающих в себя большое количество состояний. Для того чтобы преодолеть это ограничение, авторы работы обращаются к *динамическому программированию*. Прямое составление полной модели переходов между состояниями по-прежнему требует слишком высоких вычислительных затрат, но, если глобальное состояние мира декомпозируется на множество локальных состояний каждого транспортного средства по отдельности, то задача становится осуществимой.

Глобальное состояние  $s$  разбивается на вектор локальных состояний  $s = \langle s_{pl_i} \rangle$ ,  $p$  обозначает позицию автомобиля;  $l$  – участок (дугу) дорожной сети;  $i$  – индекс перекрестка. Соответственно, правило обновления – значений также декомпозируется и принимает вид:

$$Q_{pl_i}(s_{pl_i}, a_i) = \sum_{s'_{pl_i} \in S'} P(s'_{pl_i} | s_{pl_i}, a_i) \left[ r(s_{pl_i}, s'_{pl_i}) + \gamma V(s'_{pl_i}) \right].$$

Вероятность перехода между состояниями и  $s'$  оценивается через отношение количества переходов из состояния  $s$  в  $s'$  к общему количеству переходов из состояния  $s$ :

$$P(s'_{pl_i} | s_{pl_i}, a_i) = \frac{C(s_{pl_i}, a_i, s'_{pl_{ij}})}{C(s_{pl_i}, a_i)}.$$

В дополнение к декомпозиции глобального состояния на локальные компоненты авторы учитывают взаимодействие между соседними агентами. Для описания взаимодействий используется *координационный граф*, вершины которого соответствуют агентам, а ребра – зависимости между ними. Граф используется алгоритмом *max-plus* для поиска оптимального совместного действия, которое следует предпринять зависимым агентам. Вознаграждения для  $j$ -го агента за выполнение действия  $a_j$  задается следующим образом:

$$\mu_{ij}(a_j) = \max_{a_i} \left\{ Q_{ij}(s, a_i, a_j) + \sum_{k \in \Gamma(i) \setminus j} \mu_{ki}(a_i) \right\} + c_{ij},$$

где суммирование производится по всем соседям  $i$ -го агента, кроме самого  $j$ , а параметр  $c_{ij}$  используется для нормализации значений. Как только алгоритм сходится, каждый агент выбирает действие, максимизирующее награду  $\mu$ .

Опытным путем доказываемость эффективности упомянутого алгоритма не только на древовидных графах (на которых сходимость доказана теоретически), но и на графах, содержащих циклы. Проверка полученного решения производилась в симуляторе городских транспортных потоков The Green Light District.

**3. Искусственные нейронные сети.** Одним из наиболее быстро развивающихся направлений в области современного машинного обучения является набор методик и алгоритмов, известных под общим названием *глубинное обучение* (DL – deep learning) или же искусственные нейронные сети. Последние работы в области обучения нейронных сетей [3; 4; 7]

неоспоримо доказывают их способность решать задачи нелинейной аппроксимации в пространствах высокой размерности. В следующих разделах демонстрируется расширение методик RL на случай пространств высокой размерности на примере решения задач моделирования транспортных потоков.

3.1. *Глубинное Q-обучение.* Авторы работы [9] комбинируют RL с DL, используя алгоритм глубоких Q-сетей (DQN – Deep Q-Network), впервые представленный в [7]. Алгоритм подразумевает замену оптимальной Q-функции, вычисляемой для каждой пары состояние-действие, нейронной сетью, отображающей переданное ей состояние среды и выбранное действие на численное значение, характеризующее полезность сделанного выбора.

В качестве функции вознаграждения  $R(s, a, s')$  использовалась следующая линейная комбинация:

$$r_t = -0.1k - \sum_{i=1}^N (0.1a_i + 0.2b_i + 0.3c_i + 0.3d_i),$$

где  $a$ ,  $b$ ,  $c$  и  $d$  обозначают штрафы за аварию, резкое торможение, задержку и ожидание -го автомобиля соответственно, а  $k$  является логической константой, обозначающей смену светофорной конфигурации (рис. 2).

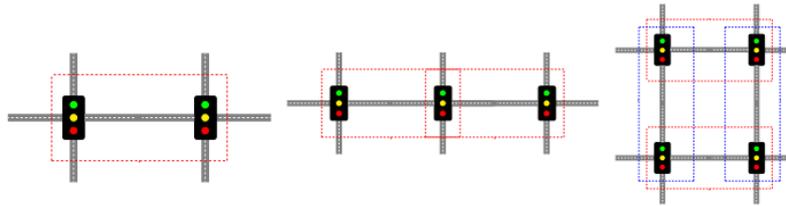


Рис. 2. Мультиагентные конфигурации, протестированные в [9]

На рис. 2 представлены три дорожных конфигурации, состоящие из 2, 3 и 4 агентов соответственно. Авторы применили свой подход в весьма «искусственных» условиях, и их работа, скорее, ставит перед собой цель проверки применимости, представленной в [7] методики к решению задачи транспортного регулирования, чем проектирование полномасштабной системы. Также авторами отмечается, что, в отличие от решения компьютерных аркад, к которым изначально применялся DQN, неоптимальный выбор в условиях управления дорожным движением приводит к более длительным негативным эффектам. Кроме того, длительность эпизодов оказывается значительно выше.

3.2. *Градиент стратегии.* В работе [2] предпринимается попытка решить проблему масштабируемости решений, основанных на RL, на случай реальных городских инфраструктур с большим количеством состояний и возможных действий. В качестве подхода к решению поставленной задачи используется алгоритм DDPG (Deep Deterministic Policy Gradient). Как и в работе [9], основная идея алгоритма заключается в том, что вместо точного значения  $Q$ -функции используется ее параметрическая аппроксимация  $\hat{Q}(s, a) = f(s, a; \theta)$ . Однако применяемый авторами подход более адаптирован к непрерывным пространствам состояний с большим количеством действий. DDPG использует метод градиентного спуска для поиска оптимального значения параметров. В качестве функции потерь используется среднеквадратичное отклонение:

$$L(\theta) = \mathbb{E} \left[ \left( y - \hat{Q}(s, a) \right)^2 \right]; \nabla_{\theta} L(\theta) = \mathbb{E} \left[ \left( r + \gamma \max_a \hat{Q}(s, a) - \hat{Q}(s, a) \right) \nabla_{\theta} \hat{Q}(s, a) \right].$$

Предложенное авторами решение использует две нейронные сети для оценки значений и выбора действий. В качестве состояния среды используется  $n$ -мерный вектор  $s$ , каждый компонент которого определяется пропускной способностью улицы, измеренную расположенным на ней детектором скорости  $s_i = \min\left(\frac{V_{avg}^i}{V_{max}^i}, 1.0\right)$ . Функция вознаграждения определяется следующим образом:

$$r_i = \alpha \cdot n_i \cdot (s_i - b_i),$$

где  $s_i$  – пропускная способность улицы;

$n_i$  – количество автомобилей, прошедших мимо детектора;

$b_i$  – базовая пропускная способность, определяемая через симуляцию.

На рис. 3 изображено схематическое представление использованной авторами архитектуры. Проверка решения осуществлялась на примере нескольких дорожных сетей, одна из которых являлась копией фрагмента реальной городской сети, состоящей из 43 перекрестков, 102 светофоров и 29 детекторов транспортного потока. Достигнутые результаты продемонстрировали способность преодолеть ограниченность базовых RL алгоритмов при их применении к пространствам высокой размерности.

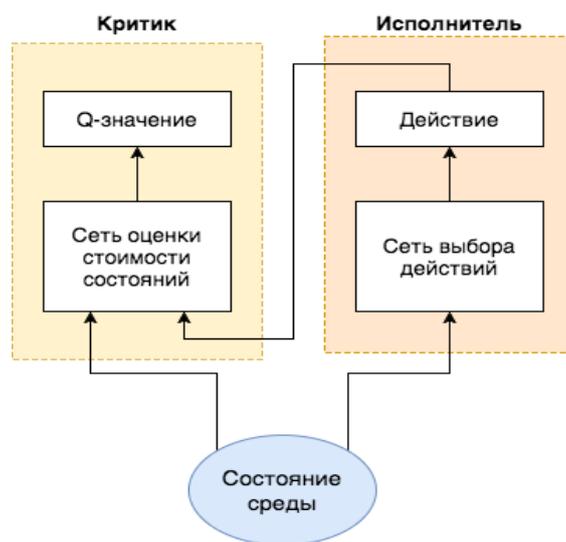


Рис. 3. Схематическое представление механизма принятия решений, используемого в [2]

Таким образом, несмотря на длительную историю применения мультиагентного подхода к задаче управления и моделирования городских транспортных потоков, одной из главных проблем при его применении оказывается сложность масштабирования на случай реальных городских инфраструктур, равно как и обобщение закономерностей, выявленных на отдельных участках, на всю сеть.

По мнению авторов, в настоящее время эффективным подходом для преодоления указанных трудностей оказывается обучение с подкреплением в совокупности с методами глубинного обучения и стохастической оптимизации. Такой комбинированный подход позволяет решить одну из главных проблем, связанных с агентным моделированием городских транспортных потоков, а именно – высокую размерность моделируемого пространства и неустойчивость найденных решений.

*Zaitsev I. Yu., Danilenko I. N.*

## MULTI-AGENT SYSTEMS APPLICATIONS IN URBAN TRAFFIC SIMULATION

*Surgut*

In the paper authors describe several urban traffic modeling methods based on multi-agent systems in combination with modern machine learning techniques, and provide a brief analysis of their effectiveness.

*Keywords: multi-agent system, urban traffic, reinforcement learning, deep learning.*

### Список использованной литературы

1. Beuck U., Reiser M., Strippgen D., Balmer M., Nagel K. Preliminary Results of a Multiagent Traffic Simulation for Berlin // *The Dynamics of Complex Urban Systems*. Berlin. 2008. С. 75–94.
2. Casas N. Deep Deterministic Policy Gradient for Urban Traffic Light Control. 2017. URL: <https://arxiv.org/abs/1703.09035> (дата обращения: 14.04.2017).
3. David S., Aja H., Maddison C. J., Guez A., Sifre L., van den Driessche G., Schrittwieser J., Antonoglou I., Panneershelvam V., Lanctot M., Dieleman S., Grewe D., Nham J., Kalchbrenner N., Sutskever I., Lillicrap T., Leach M., Kavukcuoglu K., Graepel T., Hassabis D. Mastering the game of Go with deep neural networks and tree search // *Nature*. 2016. Vol. 529. С. 484–489.
4. Goodfellow I., Bengio Y., Courville A. *Deep Learning*. MIT Press, 2016, 800 с.
5. Kuyer L., Whiteson S., Bakker B., Vlassis N. Multiagent Reinforcement Learning for Urban Traffic Control using Coordination Graphs // *ECML 2008: Proceedings of the Nineteenth European Conference on Machine Learning*. 2008. С. 656–671.
6. Moghadam M. H., Nasser M. Urban Traffic Control Using Adjusted Reinforcement Learning in a Multi-Agent System // *Research Journal of Applied Sciences* 6(16), 2013, С. 2943–2950.
7. Mnih V., Kavukcuoglu K., Silver D., Rusu A., Veness J., Bellemare, M. G., Graves A., Riedmiller M., Fidjeland A. K., Ostrovski G., Petersen S., Beattie C., Sadik A., Antonoglou I., King H., Kumaran D., Wierstra D., Legg S., Hassabis D. Human-level control through deep reinforcement learning // *Nature*. 2015. Vol. 518. С. 529–533.
8. Tlig M., Bhourri N. A Multi-Agent System for Urban Traffic and Buses Regularity Control // *Procedia Social and Behavioral Sciences* 20. 2011. С. 896–905.
9. Van der Pol E., Oliehoek F. A. Coordinated Deep Reinforcement Learning for Traffic Light Control URL // *30<sup>th</sup> Conference on Neural Information Processing Systems*. Barcelona. 2016.
10. Wiering M., Otterlo M. *Reinforcement Learning: State-of-the-Art*. Springer. 2012. 638 с.
11. Zhao Y., Sadek A. W. Large-scale Agent-based Traffic Micro-simulation: Experiences with Model Refinement, Calibration, Validation and Application // *Procedia Computer Science* 10. 2012. С. 815–820.

УДК 658:005.5:004

*Заринова Л. Р., Бушмелева К. И.*

## **СБОР ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ЗАЯВОК В СИСТЕМАХ ПОДДЕРЖКИ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ SAP SERVICE DESK**

г. Сургут

В статье авторы затрагивают проблему сбора информации для обработки заявок в системах поддержки пользователей SAP Service Desk. При создании заявки предлагаются новые формы заполнения обязательных полей с целью сокращения времени на ее выполнение.

*Ключевые слова:* SAP Service Desk, основные средства.

Рост глобализации экономики и рынков также выражается и в росте конкуренции. Это приводит к тому, что компании вынуждены быстрее адаптироваться к новым условиям. Важным фактором успеха является время, затрачиваемое компанией на оперативное изменение процессов, операций и информационных потоков с целью обеспечения их эффективности, прозрачности и интеграции [1].

В настоящее время крайне важно обеспечить интеграцию и прозрачность бизнес-процессов. Система SAP ERP позволяет осуществлять эффективный контроль всех административных и технологических процессов с целью увеличения их эффективности и прибыльности. Кроме того, это ведет к снижению затрат на интеграцию и развертывание за счет сокращения времени и использования существующих решений и инвестиций в ИТ-сектор [1].

Система охватывает все основные функциональные области компании с точки зрения информационных технологий, включая такие области, как бухгалтерский учет и отчетность, управление человеческими ресурсами, операции, корпоративные услуги [1].

Бухгалтерский учет в SAP ERP: цель данного программного решения – эффективное использование денежных средств компании и повышение прибыльности в долгосрочной перспективе [1].

- Управление человеческими ресурсами в SAP ERP: в каждой компании есть сотрудники, являющиеся важными ресурсами. Управление человеческими ресурсами позволяет эффективно использовать человеческие ресурсы для достижения целей предприятия. Данное программное решение включает в себя все аспекты управления человеческими ресурсами, начиная от принятия на работу и обучение и заканчивая заработной платой.

- Операции в SAP ERP: это программное решение предназначено для автоматизации операций и оптимизации закупок и логистики, а также производства, сбыта и обслуживания.

- Корпоративные услуги в SAP ERP: программное решение предназначено для поддержки процессов охраны труда, окружающей среды, управление недвижимостью и поездками. Сюда также относится разработка эффективных программ стимулирования производства [1].

В каждой отрасли предприятия, например, бухгалтер на своей работе может ошибиться на любом этапе жизненного цикла в основных средствах:

- создание карточки капитальных вложений;
- ввод в эксплуатацию, создание пары единицы оборудования и основного средства;
- формирование акта о приеме-передаче объекта основных средств;
- формирование инвентарной карточки учета объекта основных средств;
- формирование накладной на перемещение объектов основных средств;
- выбытие объекта основных средств: списание, ликвидация.

Для решения проблем пользователей необходимо использовать службу технической поддержки.

Существует множество различных Service Desk (SD), но для SAP ERP есть несколько вариантов служб технической поддержки, в которых учитываются трудозатраты сотрудников Service Desk – это продукты SAP Service Desk.

В настоящее время SAP Service Desk недостаточно самостоятельна и независима. Все ключевые действия в таких системах выполняются человеком [2].

Тем не менее процесс отправления запросов в службу поддержки не так прост, как может показаться на первый взгляд. Он включает заполнение формы, отправку с подтверждениями, описание проблемы или ошибки в системе, отсутствие полномочий на транзакции и прочее [3].

Рассмотрим диаграмму последовательности действий работы службы технической поддержки Service Desk SAP (рис. 1).

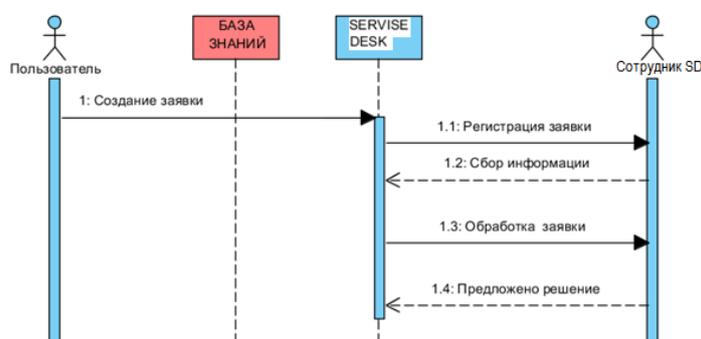


Рис. 1. Диаграмма последовательности действий работы службы технической поддержки «Как есть»

Создавая заявку, пользователь описывает проблему с минимальной информацией, потому что не хватает соответствующих требований к заполнению определенных полей, связанных с каждым ИТ-решением. Сотрудники SD постоянно спрашивают одни и те же вопросы по сборе недостающей информации: название системы, транзакцию, скрины экранов с заполненными полями и выделенной ошибкой. Сотрудник SD по каждой заявке уточняет у пользователя все необходимые данные. Таким образом, затрачивается много времени на сбор данных. Например, заявка поступила в 09:00, сотрудник SD запрашивает недостающую информацию для анализа проблемной ситуации в 9:10, а пользователь отвечает в 9:40. Затем инженер SD обрабатывает заявку, а в 9:50 предлагает решение.

В среднем время выполнения заявки составляет 20 мин, на сбор информации уходит 60 % времени (30 мин).

В связи с этим необходимо классифицировать все поступающие заявки в Service Desk (рис. 2).

По результатам анализа выделяем четыре типа заявок: консультация, запрос на обслуживание, инцидент, регламентные работы. В соответствии с данной классификацией можно разделить ИТ-решения по основным средствам предприятия на две группы: учет и обработка объектов основных средств; выходные формы объектов основных средств. Рассмотрели ИТ-решения основных средств и провели анализ сортировки ИТ-решений по первичным документам (акты) и выходным формам. Получили классификации требований заполнения обязательных полей при создании заявки.

Первая группа «Учет и обработка»:

- активы;
- основные средства;

- РБП-расход будущих периодов;
- НМА – нематериальные активы;
- картотека.

Вторая группа «Выходных форм»:

- ведомость;
- налоговый регистр;
- регистр имущества;
- налог на имущество.

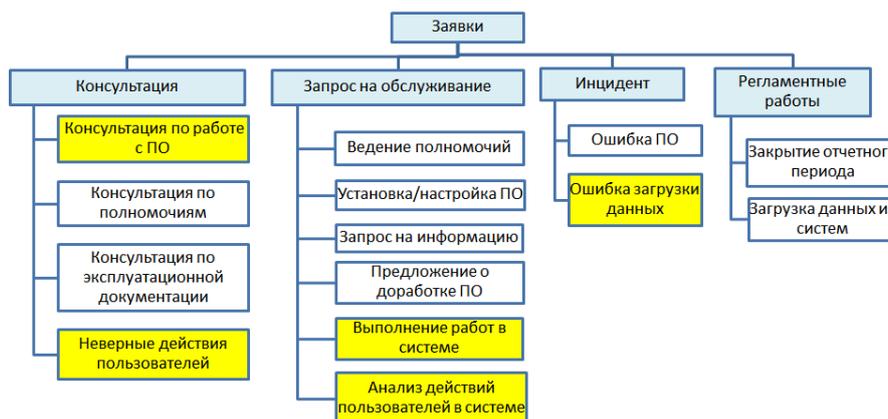


Рис. 2. Категория заявок

Разделив ИТ-решения на две группы, можно предложить новые формы для заполнения заявок (рис. 3). Зеленым цветом выделена шапка заявки, а красным – обязательные поля для заполнения. Первая форма для группы «Учет и обработка», вторая – «Выходных форм».

Рис. 3. Формы заполнения обязательных полей при создании заявки

В первой группе обязательно указывается транзакция, в зависимости от того какое ИТ-решение, выбираем номер акта, инвентарный номер или системный номер. Есть возможность добавить 2 инвентарных номера. Также обязательно прикрепить два файла с заполнением СЭ

и скрином ошибки. Во второй группе нет инвентарных номеров, есть только вложения. Это поможет собрать всю необходимую информацию для оперативного выполнения заявки, а также сократит время, требуемое для решения конкретной проблемы и помощи пользователю.

*Zaripova L. R., Bushmeleva K. I.*

## **INFORMATION GATHERING FOR THE REQUEST PROCESSING IN SAP SERVICE DESK SYSTEMS OF USER SUPPORT**

*Surgut*

In the article the authors consider the problems of the information gathering for the request processing in SAP Service Desk systems of user support. Upon filling the application new forms of obligatory fields are offered, which is aimed at reducing time of the request processing.

*Keywords: SAP Service Desk, fixed assets.*

### **Список использованной литературы**

1. Адельсбергер Х. Х., Пуян Хатами, Таймаз Хатами. Интегрированные бизнес-процессы в среде SAP ERP. Курс молодого бойца : лекции. 2012. С. 16–18.
2. Талызин Д. Г. Автоматизация процессов обработки заявок в системах поддержки пользователей корпоративных информационных систем : дис. // disserCat : электронная библиотека диссертаций. 2010. URL: <http://www.dissercat.com/content> (дата обращения: 16.04.2017).
3. Лучшие системы технической поддержки пользователей. 2014 : веб-обозреватель. URL: <http://webtun.com/webmaster/6384-support-ticket-systems.html> (дата обращения: 16.04.2017).

УДК 504.6:004.94

*Затик С. И., Затик О. С., Острейковский В. А.*

## **БАЗОВАЯ МОДЕЛЬ СИСТЕМНОЙ ДИНАМИКИ ЭКОНОМИКО-ТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ И ПЛАНИРОВАНИЯ РАБОТ ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ ОБСЛУЖИВАНИЮ И РЕМОНТУ ОБОРУДОВАНИЯ С ЦЕЛЬЮ СНИЖЕНИЯ УРОВНЯ ТЕХНОГЕННЫХ РИСКОВ**

*г. Сургут*

Авторы описывают базовую модель системной динамики экономико-технической системы. Модель системы представлена в формате компонентных цепей. Она позволяет решить задачу по формированию графика планово-предупредительных работ для снижения уровня техногенных рисков.

*Ключевые слова: многоуровневая компьютерная модель, метод компонентных цепей, математическое моделирование, техногенные риски.*

Для формализованного описания модели эколого-технической системы (ЭТС) выбран метод компонентных цепей [1; 3]. Обозначим основные характеристики формализма метода компонентных цепей (МКЦ):

- МКЦ – это объектно-ориентированный язык для моделирования сложных и физически неоднородных систем с энергетическими и информационными потоками в связях;
- компоненты таких систем могут иметь различную физическую природу (электроника, мехатроника, робототехника, автомобилестроение и др.);
- исследуемый объект представляется в форме компонентной цепи, модель которой строится из моделей независимых компонентов;
- модель компонента формируется автоматически с учетом четырех основных аспектов – топологического, физического, математического (логического) и геометрического и представляет собой систему алгебро-дифференциальных уравнений в обыкновенных или частных производных; можно строить модели, содержащие логические соотношения;
- для объектов с функционально обособленными подсистемами введено понятие *структуры* – подцепи, допускающей автономное решение; здесь четко разделяются непрерывные (уравнения) и дискретные (алгоритмы) процессы;
- форма уравнений компонентной цепи и ее топологическая структура могут меняться в зависимости от поведения переменных или наступления определенных событий.

#### Метод компонентных цепей для задач системной динамики

Формализованное представление ЭТС в виде компонентной цепи учитывает вид дифференциальных моделей системной динамики:

$$\begin{aligned} \frac{dX}{dt} &= f(X, U, t), \\ Y &= H(X, U), \end{aligned} \quad (1)$$

где  $X = (X_1, \dots, X_n)$  – вектор состояния системы;

$X_1, \dots, X_n$  – переменные состояния;

$U = (U_1, \dots, U_n)$  – вектор входов;

$Y = (Y_1, \dots, Y_n)$  – вектор выходов;

$t$  – текущее время;

$H$  – функция связи входных и выходных переменных;

$f$  – функция связи входных, выходных переменных и времени.

Общая структура экономико-технической системы интерпретирована к виду компонентной цепи для моделей системной динамики (рис. 1). Здесь вектор выходных значений в момент времени  $t$  определяется как сумма значений вектора переменных состояния на данный момент времени и вектора входных воздействий  $\bar{Y}t = \bar{V}Xt + \bar{U}t$ .

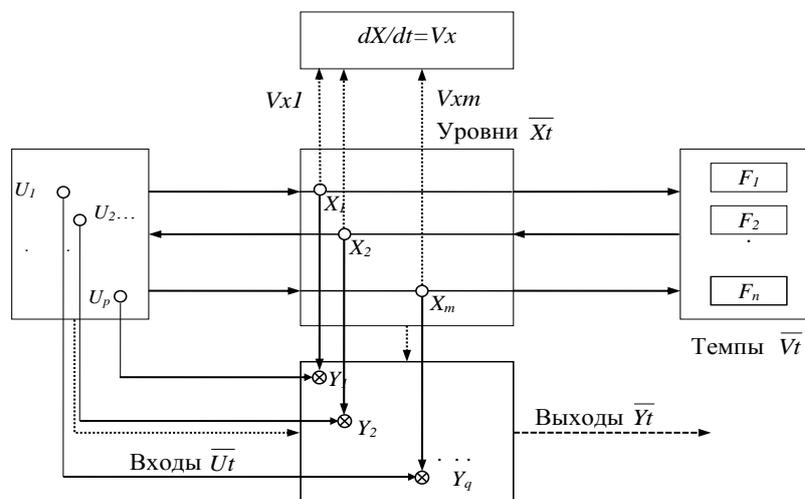


Рис. 1. Компонентная цепь для структуры системной динамики

Здесь использованы следующие компоненты и обозначения:

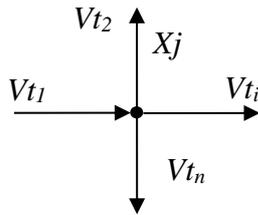
1) источники входной переменной ( $U_1, U_2, \dots, U_p$ ) имеют два типа:

исток 

сток 

2) уровни ( $X_1, X_2, \dots, X_m$ ).

Уровни в компонентной цепи задаются топологическими узлами, которым соответствуют переменные  $X_j$ . Каждому узлу инцидентно определенное количество ориентированных связей (темпов) с переменными  $V_{t_1}, \dots, V_{t_n}$ :



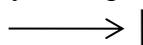
Для каждого узла справедлив узловой топологический закон вида:

$$\sum_{i=1}^n L_i \cdot V_{ii} = 0, \quad (2)$$

где  $L_i = \pm 1$  и задает ориентацию связей – темпов,

$\Sigma$  – знак суммирования.

Особого учета требует нулевой узел (уровень):

 0;

3) темпы ( $F_1, F_2, \dots, F_n$ ).

В отличие от узлов компонентной цепи (рис. 1), которые отображают наиболее существенные, с точки зрения разработчиков модели, состояния выделенных ингредиентов (предмет труда, уровня загрязнения, население и т. д.), ветви компонентной цепи задают возможные переходы их элементов из одного состояния в другое (темпы изменения – ТМР). Переменные ветвей (связи)  $V_{t_1}, \dots, V_{t_n}$  принимаются за характеристики интенсивностей (скоростей), с которыми совершаются переходы элементов из состояния в состояние по соответствующим ветвям цепи.

4) блок интегрирования ( $d/dt \leftarrow$ ) реализуется через обратное дифференцирование и имеет на входе уровни ( $X_1, X_2, \dots, X_m$ ).

Нормативной схемой в моделях системной динамики является одношаговая схема первого порядка:

$$V_x(t+1) = V_x(t) + h \cdot A \cdot V_t, \quad (3)$$

где  $A$  – ( $m \times n$ ) – матрица инцидентий с элементами (0, +1, -1);

$m$  – размерность вектора  $V_x$ ;

$n$  – размерность вектора  $V_t$ ;

$h$  – шаг схемы.

5) общая структурная схема уравнений

Модель системной динамики для компонентной цепи имеет вид:

$$\frac{dX}{dt} = V_x \quad \text{Блок интегрирования} \quad (4)$$

$$V_x = A \cdot V_t \quad \text{Топологический блок}$$

$$V_t = f(X_t, U_t) \quad \text{Компонентный блок} \quad (5)$$

$$Y_t = H(X_t, U_t) \quad \text{Сеть информации}$$

### Базовая модель системной динамики экономико-технической системы в формате компонентных цепей.

Предложена базовая модель системной динамики экономико-технической системы для компьютерного моделирования и планирования работ по техническому обслуживанию и ремонту оборудования (рис. 2). Модель системы представлена в формате компонентных цепей [1; 3]. Компьютерная модель системы позволяет реализовать процедуры анализа состояния системы и синтеза графика планово-предупредительных работ с учетом сроков службы материалов, элементов оборудования и их стоимости, а также ограничений по времени и затратам на ремонт. В качестве основных уровней управления экономико-технической системы взяты следующие:

- уровень техногенных рисков  $G_t$ ;
- готовности оборудования  $N_t$ ;
- материально-технических ресурсов (МТР)  $R_t$ ;
- фонда  $\Phi_t$ .

Каждому из этих уровней соответствует уровневая переменная: количество техногенных рисков [2]; коэффициент готовности оборудования [4]; количество МТР (материалы и элементы оборудования, необходимые для ремонта); размер фонда предприятия (в рублях).

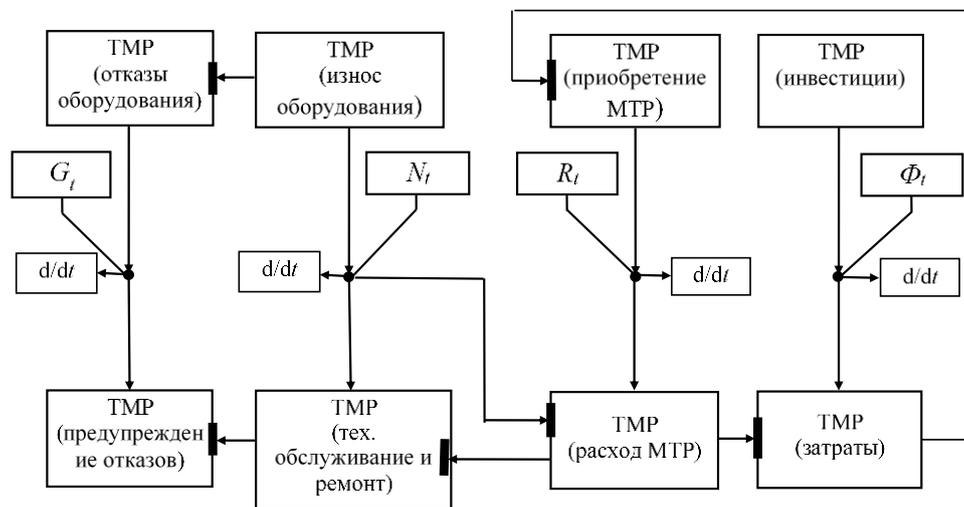


Рис. 2. Взаимосвязь основных уровней модели системной динамики экономико-технической системы

1. *Уровень техногенных рисков  $G_t$*  является переменной уровня. Количество техногенных рисков увеличивается за счет отказов оборудования в результате его износа и снижается путем предупреждения отказов посредством своевременного технического обслуживания и ремонта оборудования. Различают следующие стадии технического обслуживания и ремонта: 1) техническое обслуживание; 2) текущий ремонт; 3) капитальный ремонт; 4) замена на новое оборудование.

Уровень техногенных рисков  $G_t$  за время  $t$  определяется уравнением:

$$dG/dt = PG_t - TG_t, \quad (6)$$

где  $G_t$  – количество техногенных рисков, отказов оборудования, шт.;

$PG_t$  – отказы оборудования в период времени  $t$ , шт. за  $t$ ;

$TG_t$  – предупреждение отказов в период времени  $t$ , шт. за  $t$ .

2. *Уровень готовности оборудования  $N_t$*  является переменной уровня. Коэффициент готовности оборудования увеличивается за счет своевременного технического обслуживания и ремонта (ТОиР) оборудования и уменьшается в ходе износа оборудования и его конструктивных элементов. Срок службы оборудования, а следовательно, и величина межсервисного интервала зависит от вида и фирмы-производителя оборудования.

Уровень готовности оборудования технологического комплекса предприятия определяется уравнением:

$$dN/dt = PN_t - TN_t, \quad (7)$$

где  $N_t$  – коэффициент готовности оборудования, в долях;

$PN_t$  – увеличение коэффициента готовности оборудования в период  $t$ , в долях.

На значение  $PN_t$  оказывают влияние режим эксплуатации, качество и своевременность технического обслуживания и ремонта оборудования, коэффициент ремонтпригодности, показатели модификации и деградации [4];

$TN_t$  – уменьшение коэффициента готовности оборудования в период  $t$ , в долях. Значение  $TN_t$  зависит от износа оборудования за период  $t$ .

3. *Количество МТР  $R_t$*  является переменной уровня. Количество МТР уменьшается за счет расхода МТР при выполнении ТОиР оборудования и увеличивается за счет приобретения.

Запасы МТР предприятия в момент времени  $t$  определяются с помощью следующего уравнения:

$$dR/dt = PR_0 + (PR_t - TR_t), \quad (8)$$

где  $RS_t$  – количество МТР, в ед. ресурса (например, шт., кг);

$PR_t$  – приобретение либо высвобождение МТР за период  $t$ ;

$TR_t$  – расход МТР за период  $t$ , в ед. ресурса на  $t$ .

4. *Размер фонда  $\Phi_t$*  является переменной уровня. Он уменьшается за счет затрат на приобретение МТР и увеличивается за счет инвестиций.

Изменение размера фонда  $\Phi_t$  в момент времени  $t$  определяется уравнением:

$$d\Phi/dt = I_t - Z_t, \quad (9)$$

где  $\Phi_t$  – размер фонда, ед. фонда (например, в рублях);

$I_t$  – темп инвестирования за период  $t$ , ед. фондов на  $t$ ;

$Z_t$  – темп затрат на приобретение МТР за период  $t$ , ед. фондов на  $t$ .

Инвестиции  $I_t$  могут быть как внутренние  $I_t^i$ , так и внешние  $I_t^o$ , определяются по формуле:

$$I_t = I_t^i + I_t^o.$$

Затраты  $Z_t$  задаются функцией:

$$Z_t = f(TR, S)$$

или определяются по формуле:

$$Z_t = TR_t S,$$

где  $TR_t$  – расход МТР, в ед. ресурса за  $t$ ;

$S$  – стоимость 1 единицы МТР, в ед. фонда.

В случае использования нескольких ресурсов для выполнения функции затраты на их использование суммируются. В некоторых случаях может быть суммирование с коэффициентами.

Затраты на техническое обслуживание и ремонт оборудования зависят от нескольких факторов: 1) вид материалов и элементов оборудования; 2) стадия технического обслуживания и ремонта; 3) время и стоимость выполнения 1 мероприятия по обслуживанию и ремонту; 4) стоимость материалов, элементов и оборудования для разных стадий обслуживания; 5) срок службы материалов и оборудования. Четвертый и пятый факторы, как правило, зависят от фирмы-производителя.

Предложенные выше уравнения (6)–(9) описывают процессы в экономико-технической системе.

Целевая функция системы:

$$G_t \rightarrow \min, \quad (10)$$

где  $G_t$  – количество техногенных рисков, отказов оборудования, шт.

Плановые затраты  $Z_{\text{план}}$  на ТОиР также подлежат минимизации:

$$Z_{\text{план}} \rightarrow \min.$$

Ограничение по затратам:

$$Z_t \leq Z_{\text{план}},$$

где  $Z_t$  – затраты на ТОиР, включая закупку материалов и выполнение мероприятий, в рублях;  
 $Z_{\text{план}}$  – плановые затраты на ТОиР, включая закупку материалов и выполнение мероприятий, в рублях.

Ограничения по времени ремонта:

$$T_{\text{ремонта}} \leq 2 \% \cdot T_{\text{экспл}},$$

где  $T_{\text{ремонта}}$  – время, необходимое на выполнение 1 мероприятия ТОиР;

$T_{\text{экспл}}$  – время эксплуатации оборудования.

Целевое значение коэффициента готовности оборудования  $N_t \rightarrow 1$ .

Для обеспечения  $N_t \rightarrow 1$  требуется спланировать мероприятия ТОиР и следовать данному графику.

Таким образом, компьютерная модель экономико-технической системы, созданная с использованием методического аппарата методов системной динамики, интерпретированных в формат метода компонентных цепей, позволяет сохранить реальную топологию системы, сопрягать модели подсистем, проводить многоаспектные исследования, формировать графики планово-предупредительных работ для обеспечения оптимального уровня техногенных рисков.

*Zatik S. I., Zatik O. S., Ostreykovsky V. A.*

**FUNDAMENTAL MODEL OF ECONOMIC AND TECHNICAL  
SYSTEM DYNAMICS FOR COMPUTER MODELLING AND PLANNING  
OF MAINTENANCE WORKS AND REPAIRS OF EQUIPMENT  
FOR REDUCING TECHNOGENIC RISKS**

*Surgut*

The authors describe the fundamental model of economic and technical system dynamics. This model is represented in the form of component circuits. It provides the solution of task, which is to create preventive maintenance and repairs timetable for reducing technogenic risks.

*Keywords: multi-level computer model, component circuits method, math modelling, technogenic risks.*

### Список использованной литературы

1. Дмитриев В. М., Шутенков А. В., Зайченко Т. Н., Ганджа Т. В. МАРС – среда моделирования технических устройств и систем. Томск : В-Спектр, 2011. 278 с.
2. Острейковский В. А. Теория техногенного риска: математические методы и модели : монография. Сургут : ИЦ СурГУ, 2013. 320 с.
3. Форрестер Дж. Мировая динамика. М. : Наука, 1978. 168 с.
4. ГОСТ Р 27.002– 2009. Надежность в технике. Термины и определения.

УДК 373.24:004.9

*Кадиров А. А., Урманцева Н. Р., Иванов Ф. Ф.*

### ЭЛЕКТРОННАЯ КАРТА ИНДИВИДУАЛЬНОГО РАЗВИТИЯ ДОШКОЛЬНИКА КАК ИНСТРУМЕНТ МОНИТОРИНГА ДИНАМИКИ ЕГО ИНДИВИДУАЛЬНОГО РАЗВИТИЯ

*г. Сургут*

В статье авторы рассматривают вопросы создания электронной карты индивидуального развития дошкольника как инструмента мониторинга динамики его индивидуального развития в процессе получения им дошкольного образования в условиях образовательного учреждения. Целью создания и ведения карты является объективное наблюдение за траекторией развития каждого воспитанника дошкольного образовательного учреждения и обеспечение ее своевременной коррекции, выявление положительной и отрицательной динамики развития воспитанников, а также прогноз на определенный период по достижении возраста выпуска из дошкольного образовательного учреждения.

*Ключевые слова: мониторинг динамики индивидуального развития дошкольника, критерии и показатели мониторинга индивидуального развития дошкольника, карта индивидуального развития дошкольника.*

На сегодняшний день в практике деятельности большинства российских дошкольных образовательных учреждений (*далее – ДООУ*), реализующих образовательные программы дошкольного образования, отсутствует опыт работы по систематизации процессов обработки и анализа информации о динамике индивидуального развития дошкольников в электронном виде.

Вместе с тем требования федерального государственного образовательного стандарта дошкольного образования (*далее – стандарт дошкольного образования*) обязывают ДООУ осуществлять наблюдение за динамикой индивидуального развития каждого воспитанника в целях корректного выстраивания его дальнейшей образовательной траектории.

Для исполнения требований стандарта дошкольного образования в ДООУ города Сургута организована работа по ведению карт индивидуального развития ребенка (*далее – КИР*) на бумажных носителях, основное предназначение которых – фиксация и хранение результатов мониторинговых процедур, организуемых в ДООУ в отношении каждого воспитанника.

В связи с этим возникла необходимость в разработке электронной КИР, которая будет предусматривать возможности не только фиксации и хранения данных об актуальном состоянии развития ребенка, но и возможности для графического отображения и аналитической об-

работки информации о динамике развития воспитанников ДОУ, в том числе их интеллектуальных и творческих способностей.

С целью разработки и последующего внедрения электронной КИР в ДОУ города Сургута была изучена структура бумажной КИР, которая состоит из 5 разделов:

1. Пояснительная записка к карте.
2. Общие сведения о ребенке (физиологические особенности).

3. Сводные данные о результатах дошкольного образования ребенка (индивидуальная динамика (траектория) развития ребенка).

3.1. Результаты педагогического мониторинга достижения ребенком планируемых результатов освоения образовательной программы дошкольного образования (образовательные достижения ребенка) [3].

3.2. Результаты педагогического мониторинга интегральных показателей развития ребенка (интеллектуально-мотивационные характеристики детской деятельности).

3.3. Результаты психолого-педагогического мониторинга готовности ребенка к учебной деятельности (сформированность предпосылок к учебной деятельности) [1].

4. Сводные данные о результатах дополнительного образования ребенка.

5. Заключительные сведения (рекомендации специалистов).

В ходе работы по созданию электронной КИР проведены наблюдения за одним из воспитанников ДОУ города Сургута, 2010 года рождения, с целью апробирования всего комплекса возможностей электронной КИР в сравнении с бумажным аналогом.

На рис. 1 представлена информация о результатах мониторинга по одному из 5 разделов КИР – результатам педагогического мониторинга образовательных достижений наблюдаемого ребенка в период дошкольного детства, охарактеризованных по общеприменяемой трехбалльной шкале оценок, где каждой уровневой оценке соответствует качественная характеристика: 1 – низкий уровень развития; 2 – достаточный (средний) уровень; 3 – оптимальный (высокий) уровень [1]. Переход от синего контура к красному является переходом от начала периода к концу по 5 показателям.

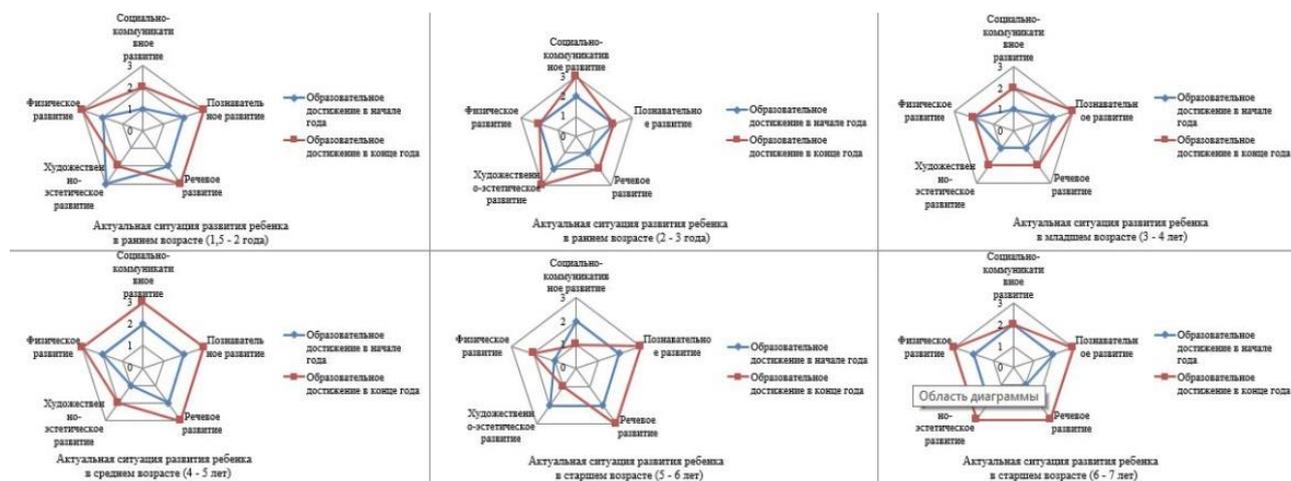
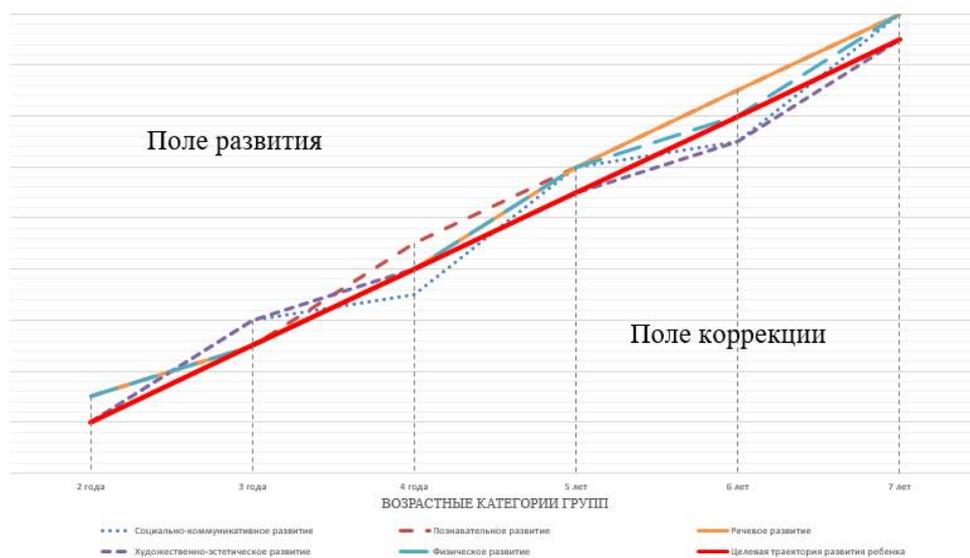


Рис. 1. Диаграмма результатов педагогического мониторинга образовательных достижений наблюдаемого ребенка с 1,5 до 7 лет

Как видно из диаграмм, представленных на рис. 1, наблюдаемый ребенок практически во всех возрастных периодах развивается достаточно благополучно, т. е. с положительной динамикой. Вместе с тем наглядно видны «критические зоны» развития ребенка, по которым необходима соответствующая индивидуальная коррекционная работа педагогов, и «оптимальные зоны», по которым при соответствующей поддержке педагогов, а также при условии поддержания детского интереса к тому или иному виду деятельности можно обеспечить развитие предпосылок одаренности ребенка по этим видам деятельности. При этом информация об

уровне развития ребенка (рис. 1) на отдельных возрастных периодах дошкольного детства по каждому критерию развития, т. е. по каждой образовательной области (направлению развития ребенка), отражена в обобщенном виде.

Обобщенная оценка уровня развития ребенка (рис. 1–3) представлена в формате среднего показателя по каждой области (направлению развития), определяемого среднеарифметическим способом, исходя из результатов педагогической [1] и психолого-педагогической диагностики [3] по целому ряду подкритериев.



**Рис. 2. Диаграмма результатов наблюдения за траекторией развития наблюдаемого ребенка по результатам педагогического мониторинга его образовательных достижений с 1,5 до 7 лет**

В бумажном варианте КИР информация по каждому из подкритериев не отражается, прежде всего, в целях экономии бумаги и из-за стремления исключить «раздувание» объема карты. Вместе с тем вся детальная информация по подкритериям развития ребенка заносится педагогами ДОО в групповые журналы, выполненные в программе Microsoft Word и представляющие из себя 7 распечатанных и скрепленных между собой листов формата А4, на каждом из которых представлены шаблоны готовых таблиц для заполнения. В эти таблицы участники образовательного процесса, участвующие в диагностических процедурах, заносят результаты мониторинга динамики развития ребенка. Это, безусловно, влечет за собой нецелесообразное кратное увеличение временных и трудовых затрат участников мониторинга. Электронная КИР позволяет решить эту проблему.

Кроме того, на рис. 1 представлена возможность электронной КИР перевести информацию о результатах мониторинговых процедур, организуемых в ДОО в соответствии со стандартом дошкольного образования, в диаграммный вид. Для отражения полной картины об актуальной ситуации развития ребенка в каждом возрастном периоде, необходимо представление информации по ряду подкритериев. То есть в отношении возможностей более детального представления результатов мониторинговых процедур в ДОО у электронных КИР объективно имеется непреодолимое преимущество, потому что вручную рисовать диаграммы подобного типа в отношении каждого ребенка практически невозможно.

Электронная КИР позволит обрабатывать результаты мониторинговых процедур не только в отношении отдельного ребенка, но и в контекстах отдельных групп детей, возрастной параллели или всего ДОО в целом.

Если на рис. 1 была наглядно представлена картина об актуальной ситуации развитии ребенка в каждом возрастном периоде, то на рис. 2 визуализирована картина динамики уровня его развития.

В целях отображения динамики развития ребенка в период дошкольного детства и визуализации «оптимальных зон», в пределах которых есть место для развития способностей воспитанника, характеризующихся высокими показателями, и «проблемных зон» для осуществления коррекции развития ребенка, на рис. 2 применен специальный прием, разделяющий шкалы оценивания пропорционально возрастным нормативам и обусловленный неоднородностью применяемых методик, а также необходимостью построения целевой траектории развития [1]. Также для удобства восприятия информации на данной диаграмме задана так называемая целевая траектория развития ребенка, определенная в соответствии с требованиями стандарта дошкольного образования и общепринятыми в современной дошкольной педагогике и психологии целевыми ориентирами развития ребенка в дошкольном детстве [2]. Здесь также возможно представление информации не только в отношении конкретного ребенка, но и в контекстах конкретной группы детей, возрастной параллели или всего ДООУ в целом.

Параллельно с апробированием возможностей электронной КИР в отношении развития наблюдаемого ребенка среди родительской и педагогической общественности ДООУ города Сургута проведены опросы, направленные на оценку целесообразности разработки электронной КИР и ее последующего внедрения в практику деятельности ДООУ города Сургута. Всего в опросах приняли участие:

- 1 702 респондента из числа родительской общественности, что составляет 32 % от общей численности воспитанников ДООУ города Сургута;
- 678 респондентов из числа педагогической общественности, что составляет 34 % от общей численности педагогических работников ДООУ города Сургута.

Информация о результатах опроса представлена на рис. 3.

Так, необходимость получения такой информации с помощью электронных средств, в режиме онлайн, поддержана большей частью родителей, заинтересованных вопросами развития своего ребенка, и отмечающих проблему отсутствия информационного ресурса (инструмента), позволяющего проследить за динамикой развития ребенка.

Среди педагогов перспектива разработки и последующей реализации электронной КИР дошкольника оценена положительно подавляющим большинством респондентов.



**Рис. 3. Результаты опроса среди родителей воспитанников ДООУ.**

Вопрос: «Оцените целесообразность разработки электронной КИР дошкольника и ее последующей реализации в практике образовательной деятельности ДООУ города Сургута»

В ходе работы по созданию электронной КИР планируются также разработка и подбор комплекса:

- подкритериев по каждому обобщенному возрастному критерию развития дошкольника и по всем направлениям мониторинговых процедур, проводимых в ДООУ;
- рекомендаций для педагогов и родителей дошкольников в части осуществления коррекционной (при необходимости) и развивающей работы с ребенком [3].

По окончании работы над созданием электронной КИР дошкольника по согласованию с департаментом образования Администрации города планируется массовое внедрение карты в практику образовательной деятельности ДООУ города, что позволит:

- повысить информированность всех участников образовательных отношений в вопросах развития дошкольников;
- оптимизировать процессы организации и проведения мониторинговых процедур в ДООУ, обработки и анализа их результатов;
- обеспечить выполнение основного принципа стандарта дошкольного образования – принципа индивидуализации, предусматривающего построение образовательной деятельности ДООУ на основе индивидуальных особенностей каждого ребенка, в том числе поддержки ребенка и построения его образовательной траектории или профессиональной коррекции особенностей его развития.

*Kadirov A. A., Urmantseva N. R., Ivanov F. F.*

### **ELECTRONIC MAP FOR INDIVIDUAL DEVELOPMENT OF THE PRESCHOOL CHILD AS A TOOL OF MONITORING THE DYNAMICS OF ITS INDIVIDUAL DEVELOPMENT**

*Surgut*

The article deals with creating the electronic map of the individual development of the preschool child as a tool for monitoring the dynamics of their individual development in the process of obtaining the preschool education in the educational institution. The purpose of creating and maintaining the map is to observe the development trajectory of each pupil of the preschool educational institution and ensure its timely correction. The authors identify the positive and negative dynamics of development of pupils, as well as a forecast for a certain period before the age of graduating from the preschool educational institution.

*Keywords: monitoring the dynamics of the individual development of the preschooler, the criteria and indicators for monitoring the individual development of the preschooler, a map of the individual development of the preschooler.*

#### **Список использованной литературы**

1. Веракса Н. Е. Диагностика готовности ребенка к школе. М. : Мозаика-Синтез, 2010. 112 с.
2. Микляева Н. В., Микляева Ю. В., Виноградова Н. А. Теоретические основы дошкольного образования. М. : Юрайт, 2017. 198 с.
3. Калинина Р. Р. Психолого-педагогическая диагностика в детском саду. М. : Речь, 2011. 144 с.
4. Павлов Н. Л. Планета Excel. URL: <http://www.planetaexcel.ru/techniques/4> (дата обращения: 11.04.2017).
5. Об утверждении федерального государственного образовательного стандарта дошкольного образования : приказ Минобрнауки России № 1155 от 17 окт. 2013. 30 с.

УДК 004.056

*Кожевников Д. С., Увайсов С. У.*

## **ЛЕГКОВЕСНЫЕ (МАЛОРЕСУРСНЫЕ) АЛГОРИТМЫ ШИФРОВАНИЯ В ПРИМЕНЕНИИ К ИНТЕРНЕТУ ВЕЩЕЙ**

*г. Сургут*

В статье авторы дают краткий обзор легковесных (малоресурсных) алгоритмов шифрования информации, криптостойкость которых снижается незначительно при уменьшении объемов требуемых ресурсов для реализации. Приведены сравнения аппаратных реализаций некоторых алгоритмов. В качестве примера рассмотрен блочный алгоритм шифрования Simon.

*Ключевые слова: безопасность информации, Интернет вещей, алгоритм шифрования, simon, легковесная криптография.*

Развитие криптографии, начиная с конца XX в., в большей своей части определялось и, видимо, в ближайшем будущем будет определяться развитием Интернета и интернет-технологий. Определяющим на ближайшие годы направлением развития Интернета будет так называемый Интернет вещей (Internet of Things, IoT), принятый комиссиями Европарламента и Совета Европы в качестве магистрального пути развития информационных и интернет-технологий. Данное направление базируется на переходе от Интернета Персональных Компьютеров к Интернету вещей. Интернет вещей с узко технологической точки зрения – это сеть сетей, состоящих из уникально идентифицируемых объектов («вещей»), способных взаимодействовать друг с другом без вмешательства со стороны человека, через IP-подключение. При этом речь идет не просто об определенном количестве датчиков и простейших исполнительных устройств, а об объединении этих компонентов в единую сеть с аналитическими и/или управляющими системами.

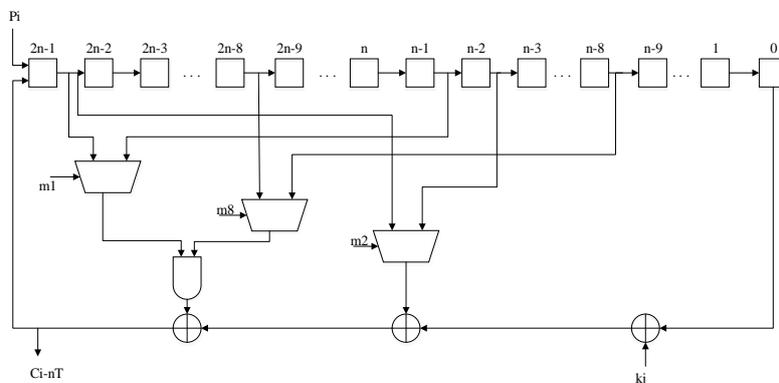
Стремительное развитие указанных технологий делает очень актуальными вопросы, связанные с безопасностью информации. Эксперты настойчиво заявляют о том, что поставщики услуг и устройств рынка IoT нарушают принцип сквозной информационной безопасности, который рекомендован для всех продуктов и услуг в сфере информационно-коммуникационных технологий. Согласно этому принципу, информационная безопасность должна закладываться на начальной стадии проектирования продукта или услуги и поддерживаться вплоть до завершения их жизненного цикла.

В силу условий функционирования разрабатываемых устройств и жестких ценовых ограничений, присущих массовому производству, эти устройства характеризуются значительными ограничениями на используемые ресурсы памяти, вычислительную мощность, источники питания и т. д. Отсюда следуют ограничения на используемые технологии и технологические решения, предъявляемые к средствам низкоресурсной криптографии [1]. Такими ограничениями, применительно к низкоресурсной криптографии в аппаратных реализациях, являются: размер микросхемы, потребляемая энергия, время, затраченное на исполнение программы.

На сегодняшний день самым распространенным и используемым блочным шифром является алгоритм AES (Advanced Encryption Standard). Этот стандарт адаптировался для применения в легковесном шифровании большое количество раз, было создано много реализаций, но особых результатов достигнуто не было. Например, были разработаны упрощенные аппаратные реализации AES-128 с довольно высокой скоростью шифрования, но занимали площадь на кристалле около 2 400 GE (GE – условные логические элементы, Gate Equivalent). Однако в отношении самых ограниченных в ресурсах устройств такое количество выделять для алгоритма – настоящая роскошь. К примеру, некоторые устройства содержат микросхемы

с общей площадью 2 000 GE. Это не единственный недостаток алгоритма AES и совокупность их заставила разработчиков создавать новые алгоритмы. Примерами таких алгоритмов могут служить PRESENT, KATAN, Piccolo и т. д. Каждый из этих стандартов расходует очень мало ресурсов аппаратной реализации, но не обеспечивает высокую скорость шифрования и подстраивается под каждую отдельную реализацию [3].

Поэтому в Агентстве национальной безопасности (АНБ) США были разработаны алгоритмы Simon и Speck. Это семейство блочных шифров, специализированных для малоресурсного шифрования. Блочный шифр Simon наиболее адаптирован под аппаратные реализации. Это сбалансированный шифр Фейстеля с  $n$ -битовым словом, поэтому длина блока равна  $2n$ . Длина ключа кратна  $n$  на 2, 3 или 4, что равно значению  $m$ . Поэтому реализация шифра Саймона обозначается как Simon $2n/nm$ . Например, Simon 64/128 относится к шифру, работающему на 64-битном блоке открытого текста ( $n = 32$ ), который использует 128-битный ключ [3]. Блочный компонент шифра является одинаковым для всех вариантов алгоритма, однако логика генерации ключей зависит от реализации 2-, 3- или 4-кратных ключей. На рисунке показан цикл шифрования одного блока открытого текста.



Цикл шифрования одного блока открытого текста алгоритмом Simon

Как отмечалось ранее, алгоритмы Simon и Speck лучше всего демонстрируют свои преимущества на ограниченных по ресурсам платформах. В таблице сравниваются оптимизированные по размеру реализации по технологии ASIC (от англ. application-specific integrated circuit, «интегральная схема специального назначения») Simon, Speck и некоторых других распространенных блочных шифров. Данные реализации сравниваются по занимаемой площади на кристалле и скорости шифрования. Тактовая частота во всех случаях была фиксированной и составляла 100 кГц. В данной таблице приводятся абсолютно наименьшие реализации Simon и Speck с низкой скоростью шифрования. Эта характеристика может быть в два, четыре и так далее раза выше. При этом занимаемая площадь увеличится совсем ненамного. Например, увеличение скорости шифрования стандарта Simon 128/128 и Speck 128/128 в четыре раза увеличивает занимаемую площадь на кристалле только на 29 GE и 116 GE соответственно [3].

#### Сравнение реализаций алгоритмов

Размер блока/ключа	Название алгоритма	Занимаемая площадь (GE)	Скорость шифрования (kbps)
48/96	Simon	763	15,0
	Speck	884	12,0
	EPBCS	1 008	12,1
64/96	Present	1 030	12,4
	Piccolo	1 043	14,8
	Katan	1 054	25,1

Окончание таблицы

Размер блока/ключа	Название алгоритма	Занимаемая площадь (GE)	Скорость шифрования (kbps)
64/96	Simon	838	17,8
	Speck	984	14,5
64/128	Simon	1 000	16,7
	Speck	1 127	13,8
	Present	1 334	12,1
	Piccolo	1 339	12,1
128/128	Simon	1 317	22,9
	Speck	1 396	12,1
	AES	2 400	56,6

Из таблицы видно, что алгоритмы Simon и Speck, занимая очень малую площадь на кристалле, показывают характеристики по скорости шифрования не хуже оппонентов. При этом длина ключа и блока открытого текста одинакова. Эти алгоритмы также не уступают конкурентам в криптостойкости. Если оставить длину ключа 128 бит, а входной блок текста уменьшить до 64 битов, то площадь на кристалле алгоритма Simon достигнет отметки менее 1 000 GE.

Еще одним преимуществом данных алгоритмов является их гибкость, которая является следствием простоты и прозрачности конструкции. Это позволяет также довольно легко проводить исследования по криптостойкости. Гибкость делает их идеальными для использования в гетерогенных сетях, где алгоритмы оптимизированы для конкретных платформ. Простота позволяет очень легко реализовывать эти шифры и находить оптимальную конфигурацию для различных задач, в отличие от того же AES, где на поиски таких вариаций затрачено десятилетие исследований.

Следовательно, простые и гибкие алгоритмы Simon и Speck являются уникальными среди легковесных шифров и способны поддерживать широкий диапазон размеров входных блоков и ключей, тем самым подстраиваясь под определенные условия ограничения по ресурсам и требованиям к криптостойкости. Это дает надежду, что данные алгоритмы отлично покажут себя в применении к устройствам Интернета вещей, который так глубоко интегрируется в повседневную жизнь.

*Kozhevnikov D. C., Uvaysov S. U.*

## LIGHTWEIGHT (LOW-RESOURCE) ALGORITHMS OF ENCRYPTION APPLIED TO INTERNET OF THINGS

*Surgut*

The article is devoted to a brief review of lightweight (low-resource) information encryption algorithms, the cryptographic stability of which decreases insignificantly with the reduction in the amount of required resources for implementation. Comparison of hardware implementations of some algorithms is given. As an example, the block encryption algorithm Simon is considered. The conclusion is made about the prospects of development and application of lightweight algorithms.

*Keywords: information security, internet of things, encryption algorithm, simon, lightweight cryptography.*

### Список использованной литературы

1. Жуков А. Е. Легковесная криптография. Ч. 1 // Вопросы кибербезопасности. 2015. № 1 (9). С. 26–43.

2. Жуков А. Е. Легковесная криптография. Ч. 2 // Вопросы кибербезопасности. 2015. № 2 (10). С. 2–10.
3. Beaulieu R., Shors D., Smith J., Treatman-Clark S., Weeks B., Wingers L. Simon and Speck: Agile block ciphers for the Internet of Things // The next wave. 2016. № 2 (21). С. 22–39.
4. Abed F., List E., Lucks S., Wenzel J. Differential and Linear Cryptanalysis of Reduced-Round Simon // ePrint : электр. журн. 2013. URL: <http://eprint.iacr.org/2013/526.pdf> (дата обращения: 02.04.2017).

УДК 004.4.052.42

*Коромыслов А. С., Иванов Ф. Ф.*

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ УПРАВЛЕНИЯ ОБРАБОТКОЙ В СОВРЕМЕННЫХ ПРОГРАММНЫХ КОМПЛЕКСАХ, ПОСТРОЕННЫХ НА ОСНОВЕ УЧЕТА, АНАЛИЗА И ЭФФЕКТИВНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГЕНЕРИРУЕМОГО ПОТОКА СОБЫТИЙ**

*г. Сургут*

В данной статье авторы рассматривают принципы работы событийного управления в программах, построенных с помощью объектно-ориентированных языков программирования. Разработана структурная схема анализатора программного кода.

*Ключевые слова: событие, сообщение, анализатор.*

С образованием объектно-ориентированных языков, проектирование программ стало проще. Появление объектно-ориентированных технологий и их развитие привело к событийному управлению.

Событие в объектно-ориентированном программировании – это сообщение, которое возникает в программе при выполнении определенных условий [1].

События предназначены для того, чтобы фиксировать изменения состояния программы.

Для решения поставленной задачи создаются обработчики событий. Обработчик событий – это метод, связанный с событием. При возникновении события выполняется код внутри обработчика событий. Как только программа попадает в заданное состояние, происходит событие, посылается сообщение, а обработчик перехватывает это сообщение. В основном в обработчик не передается ничего либо передается ссылка на объект, инициировавший (породивший) обрабатываемое событие. В особых случаях в обработчик передаются значения некоторых переменных или ссылки на какие-то другие объекты, чтобы обработка данного события могла учесть контекст возникновения события [2].

Непрозрачность алгоритмов обработки, порождаемая инкапсуляцией методов в объекты, отсутствие средств полной трассировки, могут привести к избыточности, дублированию кода и объектов, а также способны привести к непредсказуемым последствиям уже на этапе эксплуатации программы. Исследуя прецеденты возникновения таких ситуаций, можно создать анализатор, который будет показывать, на этапе проектирования, избыточное расходование ресурсов (памяти, времени), и возможные ошибки, которые могут возникнуть в процессе работы программы.

В операционной системе существует единственная системная очередь сообщений. При этом приложения имеют и свои собственные очереди. Каждое сообщение рано или поздно из системной очереди пересылается в очередь сообщений конкретной программы. Сообщение состоит из:

- 1) дескриптора окна сообщения;
- 2) идентификатора для сообщения;
- 3) параметров сообщения.

В процессе исследований был изучен поток событий в специально созданной программе, разработанной на алгоритмическом языке C# в среде Visual Studio. Данная программа представляет собой форму и кнопку, расположенную на ней. По нажатию на кнопку происходит внутри программы событие, которое обрабатывается методом. Чтобы просмотреть генерируемый поток событий использовалась утилита Spy++.

Spy++ – диагностическое инструментальное средство в Visual C++, отображающее дерево процессов, потоков и окон, открытых в системе, а также позволяющее просматривать сообщения и исследовать окна выполняемых приложений.

Окно работы утилиты приведено на рис. 1.

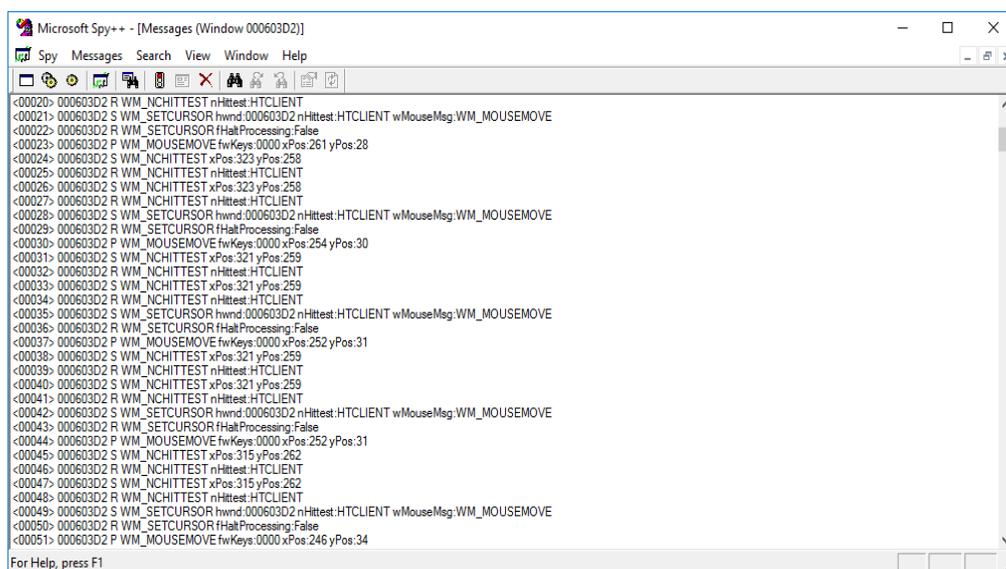


Рис. 1. Окно мониторинга системных сообщений Windows конкретного окна

В окне сообщений данной утилиты отображается следующая информация:

- 1) номер записи;
- 2) дескриптер окна;
- 3) код сообщения;
- 4) идентификатор сообщения;
- 5) параметры сообщения.

Коды сообщений:

*P* – сообщение отправлено в очередь с помощью функции PostMessage. Сведения о конечном размещении сообщения недоступны.

*S* – сообщение отправлено с помощью функции SendMessage. Это означает, что отправителю не будет возвращено управление, пока получатель не обработает и не вернет сообщение.

*R* – сообщение, которое содержит возвращаемое значение *S*-строки.

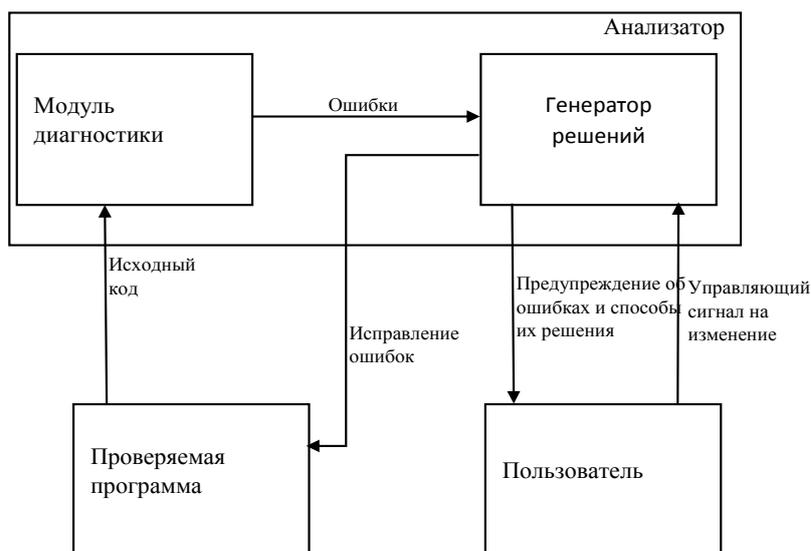
SendMessage и PostMessage. Разница между ними в том, что SendMessage отправляет сообщение и ждет, пока целевое окно обработает это сообщение, а PostMessage просто помещает сообщение в очередь, а программа работает дальше.

Например, на рис. 1 в строке 37 содержится информация, что сообщение отправлено операционной системе с помощью функции PostMessage и говорит о перемещении курсора в окне приложения на указанные координаты.

С помощью программной утилиты Spy++ можно просматривать внешние оконные сообщения событий, адресованные операционной системой конкретному оконному приложению. Это означает, что при отслеживании событий в тестовой программе, выводится информация: о перемещении мыши, изменении размеров окна приложения и т. п. С помощью данной утилиты не удалось просмотреть появление внутреннего события. С целью исследования всего потока событий возникла задача разработать анализатор программного кода, который будет помогать разработчикам избежать ошибок процессов управления в программном комплексе при возникновении и обработке событий, которые невозможно обнаружить обычными тестами.

Анализатор представляет собой встраиваемое расширение для среды разработки Visual Studio.

Структура проектного решения приведена на рис. 2.



**Рис. 2. Структура проектного решения по применению анализатора управления по событиям**

Модуль диагностики обрабатывает весь исходный код проверяемой программы. При обнаружении ошибок и недочетов, их идентификации и локализации, информация передается в генератор решений. Далее генератор решений предлагает пользователю возможные варианты устранения ошибок программы.

Анализатор будет указывать на ошибки в программе и предлагать решения их устранения. Если пользователя устроит предложенный вариант, то он выберет оптимальное для себя решение, в результате которого запустится сценарий изменения кода программы.

Для разработки анализатора была выбрана платформа Roslyn. Для написания анализатора используется объектно-ориентированный язык программирования C#.

Roslyn – платформа с открытым исходным кодом, разработанная корпорацией Microsoft, и содержащая в себе компиляторы и средства для разбора и анализа кода, написанного на языках программирования C# и Visual Basic.

Roslyn используется в среде разработки Microsoft Visual Studio 2015. С помощью средств анализа, предоставляемых платформой Roslyn, можно производить полный разбор кода, анализируя все поддерживаемые конструкции языка.

Среда Visual Studio позволяет создавать на основе Roslyn как встраиваемые в саму IDE (Integrated Development Environment) инструменты (расширения Visual Studio), так и независимые приложения.

Возможно создание диагностик, основанное на использовании стандартного класса *DiagnosticAnalyzer*. Встроенные диагностические Roslyn используют именно это решение. Это позволит произвести интеграцию со стандартным списком ошибок Visual Studio, предоставляют возможность подсветки ошибок в текстовом редакторе и т. д. [3].

Для анализа кода необходимо получить две сущности – синтаксическое дерево и семантическую модель. Синтаксическое дерево строится на основании исходного кода программы и используется для анализа различных конструкций языка.

Семантическая модель предоставляет информацию об объектах и о типах объектов. Это очень мощный инструмент, позволяющий проводить глубокий и сложный анализ.

Можно выделить 3 наиболее часто используемые функции, предоставляемые семантической моделью:

- получение информации об объекте;
- получение информации о типе объекта;
- получение константных значений.

Информацию об объекте предоставляют символы.

Базовый интерфейс символа – *ISymbol*, предоставляет методы и свойства, общие для всех объектов, независимо от того, чем они являются – полем, свойством или чем-то еще.

Для нахождения типа объекта можно использовать интерфейс *ITypeSymbol*. Для его получения используется метод *GetTypeInfo* объекта типа *SemanticModel*. Этот метод возвращает структуру *TypeInfo*, содержащую 2 важных свойства:

- *ConvertedType* – возвращает информацию о типе выражения после выполнения неявного приведения. Если приведения не было, возвращаемое значение аналогично тому, что возвращает свойство *Type*.

- *Type* – возвращает тип выражения, представленного в узле. Если получить тип выражения невозможно, возвращается значение *null*. Если тип не может быть определен из-за какой-то ошибки, возвращается интерфейс *IErrorTypeSymbol*.

Используя интерфейс *ITypeSymbol*, возвращаемый этими свойствами, можно получить всю интересующую информацию о типе [3].

Для проверки работоспособности анализатора разработаны тестовые примеры, которые содержат в себе различные нарушения:

1. Программа, в которой имеются пустые обработчики событий.
2. Программа с событиями, которые ничем не обрабатываются.
3. Программа с событием, которое обрабатывается несколькими обработчиками. Каждый обработчик содержит идентичный код.

Таким образом анализатор должен выявить следующие ошибки:

- 1) пустой обработчик события;
- 2) события, которые ничем не обрабатываются;
- 3) дублирование кода.

При анализе кода можно определить события или обработчики событий. В случае, когда в программе имеются пустые обработчики событий, проверяется наличие обработчиков у события через определение их типов.

В случае с обработчиком события анализатор просматривает его содержание. Если в нем нет кода обработки события, тогда можно сделать вывод, что данный обработчик является лишним, следовательно, пользователю стоит обратить на это внимание.

На данный момент разработана модель анализатора. Следующим шагом будет реализация анализатора и его тестирование на специально разработанных программах.

*Koromyslov A. S., Ivanov F. F.*

## RESEARCH OF MANAGEMENT PROCESSES IN MODERN SOFTWARE COMPLEXES, BUILT ON THE BASIS OF ACCOUNTING, ANALYSIS AND EFFECTIVE USE OF THE GENERATED EVENT FLOW

*Surgut*

In this article the authors consider the principles of operation of event control in programs constructed by using object-oriented programming languages. The structured scheme of program code analyzer is developed.

*Keywords: event, message, analyzer.*

### Список использованной литературы

1. Многоуровневая модель обработки событий. 28.04.2012. URL: <http://habrahabr.ru/post/142980/> (дата обращения: 27.01.2017).
2. Структурные модели программных систем. 28.04.2004. URL: [http://www.comizdat.com/index\\_.php?id=182&in=kpp\\_articles\\_id-](http://www.comizdat.com/index_.php?id=182&in=kpp_articles_id-) (дата обращения: 27.01.2017).
3. Введение в Roslyn. Использование для разработки инструментов статического анализа. 19.05.16. URL: <http://www.viva64.com/ru/b/0399/#ID0EGG> (дата обращения: 27.01.2017).

УДК 004.8

*Мусина С. С., Стяшин А. А.*

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОГРАММНЫХ АГЕНТОВ В ERP-СИСТЕМАХ

*г. Сургут*

В статье авторы рассматривают использование программных агентов в ERP-системах. Описывается понятие ERP-система, методы построения (классический и мультиагентный), программных агентов, их классификация и применение в контексте ERP-систем.

*Ключевые слова: программные агенты, многоагентные системы, ERP-система, микро-сервисы.*

В настоящее время большинство средних и крупных предприятий во всем мире стремятся к переходу с устаревших средств автоматизации деятельности на мощную систему управления – ERP-систему. Термин ERP-система (EnterpriseResourcePlanningSystem) вошел в обиход современного управленческого персонала из английского языка. Это автоматизированная система планирования ресурсов предприятия, которая представляет собой корпоративную информационную систему, предназначенную для автоматизации учета и управления. Она охватывает все участки финансового и управленческого учета, управления персоналом, оперативной деятельности и сервисных служб компании. ERP-системы имеют весьма сложную структуру, а использование большего количества приложений приводит к еще большему увеличению этой сложности.

Программный агент представляет собой автономный процесс, который способен реагировать на среду исполнения и вызывать изменения в ней, при этом выполняя заданные объемы работы совместно с пользователями или прочими агентами.

В настоящее время выделяют четыре основных вида программных агентов, которые определяют базис большинства интеллектуальных систем:

- простые рефлексивные агенты;
- рефлексивные агенты, основанные на модели;
- агенты, действующие на основе цели;
- агенты, действующие на основе полезности.

Наиболее простым из перечисленных является простой рефлексивный агент. Принцип работы построен на том, что он выбирает себе действия на основе текущего акта восприятия, при этом игнорируя накопленную историю актов восприятия.

В целях организации более эффективной работы в условиях частичной наблюдаемости требуется, чтобы агент в выделенный промежуток времени отслеживал конкретную часть задачи, к восприятию которой он способен в текущий момент. Агент, в основе работы которого использована подобная модель, называется агентом, основанным на модели.

Программа агента способна комбинировать информацию о цели и результатах возможных действий. Такого рода агенты принято называть агентами, действующими на основе цели.

В теории программных агентов используется понятие «функции полезности». Функция полезности показывает текущее состояние в виде вещественного числа, обозначающего соответствующую степень удовлетворенности агента. Полная спецификация функции полезности дает возможность принимать рациональные решения, при наличии конфликтующих целей (скорость работы и обеспечение безопасности). Также это возможно, если имеется несколько целей, к достижению которых стремится агент, однако ни одна из них не может быть достигнута со всей определенностью. Вышеупомянутые агенты называются агентами, действующими на основе полезности.

Ученый Стефен Хааг в своей научной работе [5] утверждает, что существуют лишь четыре главных вида интеллектуальных программных агентов:

- 1) торговые боты (агенты-покупатели);
- 2) персональные (пользовательские) агенты;
- 3) агенты для обеспечения наблюдений и мониторинга;
- 4) агенты, предназначенные для поиска и анализа данных.

Стоит подробнее рассмотреть каждый из представленных видов.

**Торговые боты (агенты-покупатели).** Агенты-покупатели занимаются просмотром сетевых ресурсов для получения информации о различных товарах и услугах. Такие агенты известны как «роботы по закупкам», очень эффективно работают с товарами народного потребления, такими как компакт-диски, книги, электронные компоненты и другие продукты «на все случаи жизни».

**Персональные (пользовательские) агенты.** Пользовательские (персональные) агенты представляют собой интеллектуальные агенты, действующие от лица пользователя. К данной категории относятся интеллектуальные агенты, выполняющие следующие задачи:

- проверяют пользовательскую электронную почту, производят ее сортировку по предпочтениям и сортируют по предпочтениям и извещают о приходе важнейших писем;
- делают поиск информации по необходимому пользователю теме или запросу;
- производят сканирование веб-страниц для поиска необходимого текста, который представляет собой часть информации.

- Пользовательские агенты могут быть применены в системах класса ERP, поскольку программный агент может выполнять те же функции и задачи, которые бы выполнял пользователь через интерфейс системы.

**Агенты для обеспечения наблюдений и мониторинга (предиктивные).** Агенты для обеспечения наблюдений и мониторинга применяются для осуществления наблюдений за объектами и последующей передачи информации на считывающее оборудование, например, на компьютерные системы. Подобные агенты применительно к ERP-системам могут отслеживать запасы материалов компании, прослеживать цены конкурентов и предоставлять эти све-

дения руководству компании с целью принятия дальнейших решений, анализировать фондовые манипуляции и т. д.

Также программные агенты можно использовать для мониторинга нагрузки на ERP-систему. Например, агент будет выполнять работы по сбору информации о системе:

- анализировать системную нагрузку;
- определять список ресурсоемкого программного обеспечения;
- определять ответственных специалистов.

Кроме того, после сбора необходимой информации агент будет инициировать работы по оптимизации системы.

**Агенты, предназначенные для поиска и анализа данных.** Такого рода агенты используют информационные технологии для поиска тенденций и закономерностей в массивах информации из разнообразных источников. Пользователь имеет возможность осуществить сортировку данной информации для того, чтобы отобрать конкретно разыскиваемые сведения.

Агенты, предназначенные для поиска и анализа данных, работают в хранилище данных найденной информации. «Хранилище данных» содержит в себе информацию из огромного количества самых разных источников. «Анализ данных» представляет собой процесс просмотра данных в хранилище для нахождения информации, которую можно использовать для целенаправленных действий на предприятии, например, для увеличения количества продаж или сохранения части клиентуры, которая рассматривает возможность ухода к конкурирующим компаниям.

Классификация является одним из наиболее распространенных видов интеллектуального анализа данных, при помощи которой определяются ключевые слова в информации, а затем происходит ее классификация по найденным ключевым словам. Такие агенты потенциально способны обнаруживать существенные изменения в трендах по ключевым показателям, а также выявлять наличие новой информации и оповещать о ее появлении. Например, агент может обнаружить спад в потреблении электроэнергии в отраслях экономики. Топ-менеджмент генерирующих компаний, имея данную информацию, сможет принимать разумные решения в вопросах найма/увольнения сотрудников и/или покупки/аренды оборудования, которые наилучшим образом будут удовлетворять деятельности предприятия и сложившейся конъюнктуре на рынке.

Также с помощью программных агентов можно управлять заказами в ERP и давать рекомендации по их управлению. Целью является получение рекомендаций о том, как должны выполняться заказы, например: формирование заказов на поставку в соответствии со статистическими кадастрами, запасами продуктов, статистическими затратами, временем выполнения.

Стоит отметить, что существует ряд причин, подчеркивающих необходимость и полезность программных агентов, а также агентных технологий в общем. Главная заключается в автономности агентов и их возможностях выполнять действия в фоновом режиме от имени пользователя в ходе решения различных задач, наиболее важными из которых являются:

- сбор информации;
- фильтрация информации;
- использование информации для принятия решений.

Вышеизложенные данные позволяют сделать вывод о том, что в качестве основной идеи программных агентов выступает процесс делегирования полномочий. Для того чтобы реализовать идеи, агент должен:

- иметь возможность осуществлять взаимодействие с пользователем для получения соответствующих заданий и возвращения полученных результатов;
- ориентироваться в среде своего выполнения;
- принимать решения, которые необходимы для выполнения поставленных перед ним задач.

При этом данные возможности программных агентов могут применяться в ERP-системах.

Большинство ERP-систем строятся по классическому модульному принципу, процесс автоматизации в различной степени охватывает все ключевые сферы деятельности компании. Для более эффективного решения задач автоматизации в ERP-системах предлагается использование программных агентов и организация их в мультиагентные системы (далее – МАС) [1]. Автономность программных агентов и способность общения между собой позволяют создавать системы любой сложности, в том числе и ERP.

На рис. 1 изображены классический модульный (слева) и мультиагентный (справа) подходы к построению ERP-систем. Как видно из рис. 1, количество одновременно активных программ в последнем варианте больше, что позволяет быстрее выполнять задачи, поставленные пользователем или вызванные самой системой [4].



**Рис. 1. Архитектуры ERP-системы с применением классического и мультиагентного подходов**

Основой мультиагентного подхода является использование программных агентов, которые представляют собой самостоятельные компьютерные программы, имеющие элементы искусственного интеллекта.

Рассмотрим преимущества применения МАС в задачах ERP-систем:

- Современные агентные платформы способны обеспечить работу программных агентов на множестве рабочих станций для распараллеливания вычислений. Данное преимущество позволит ускорить процесс управления планированием ресурсов при применении менее дорогостоящих технических средств.

- Создание различных агентов для ввода информации в систему позволит решить проблему, связанную с различными форматами данных сторонних данных. Тот же метод применим и для вывода информации в доступной форме и требуемого стандарта.

Функционал ERP можно разделить на разные агенты, которые будут решать отдельные задачи. Также необходим агент, отвечающий за интерфейс, и агент, координирующий деятельность остальных агентов. Поскольку все агенты разрабатываются отдельно друг от друга, то это означает, что они могут обладать разными пользовательскими интерфейсами. Однако, если задачи имеют межмашинный характер, то интерфейсов может и вовсе не быть или вообще какие-то пользовательские интерфейсы могут быть отменены, если решение задач перекладывается на агентов – для межмашинного взаимодействия (M2M) не нужны пользовательские интерфейсы.

В новых научных статьях, посвященных изучению данной проблематики, говорится о переходе на концепцию микросервисов, на основании которой определяется набор взаимодействующих путем обмена сообщениями сервисов [2]. Данные сервисы обладают свойством запускаться самостоятельно.

Микросервисы позволяют облегчить обновление функционала. Реализация отдельных задач может быть выполнена на разных языках программирования, что значительно удешевляет процесс. Однако главным недостатком такой модели является сложное взаимодействие таких микросервисов. С ростом числа микросервисов обмен данными, скрытый внутри монолитной модели, теперь должен быть явно описан. Прежде чем построить ERP-систему с применением микросервисов, необходимо декомпозировать функционал системы до мельчайших задач, а также правил перехода между такими задачами.

Задача перехода ERP-системы к мультиагентному виду на данный момент достаточно сложна, однако некоторые компании пытаются предпринять шаги в данном направлении. Так, например, для российской компании 1С было предложено использовать мультиагентный подход при встраивании модуля непрерывного электронного аудита в ERP-систему, а именно в систему «1С: Управление производственным предприятием». Структура получившейся технологии изображена на рис. 2 [3].

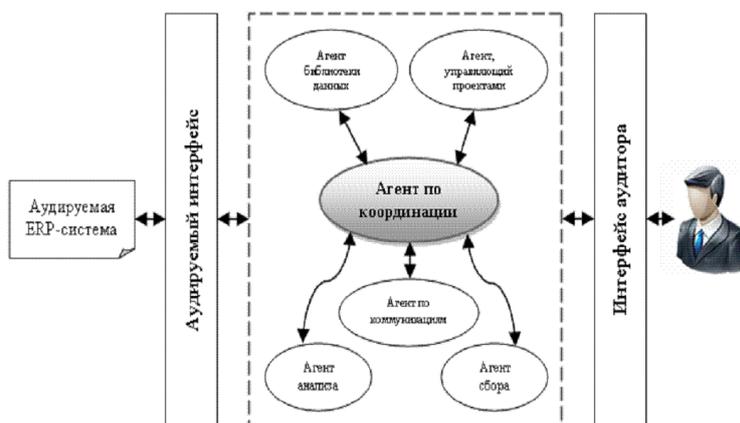


Рис. 2. Структура технологии непрерывного электронного аудита, базирующейся на мультиагентах

Следует отметить, что в связи со сложностью и объемами данных, используемыми в ERP-системах, полный их переход к мультиагентному виду пока что невозможен. Однако решение отдельных задач вполне имеет место быть, первые шаги к ним уже начинают применяться.

Использование программных агентов обеспечит гибкость ERP-системы, ускорит создание нового функционала, а также позволит уменьшить количество ошибок в системе, которые возникают вследствие человеческого фактора.

*Musina S. S., Styapshin A. A.*

## USING PROGRAM AGENTS IN ERP-SYSTEMS

*Surgut*

This article discusses the use of software agents in ERP-systems. The notion of ERP-systems and construction methods (classical and multi-agent) are given. Also, the concepts of software agents, their classification, and application in the context of ERP-systems are described.

*Keywords: software agents, multi-agent systems, ERP-system, micro-services.*

### Список использованной литературы

1. Болдырев Е. В., Душкин Е. А. Применение программных агентов в задачах автоматизированного проектирования // Молодежь и наука : сб. материалов VI Всерос. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых. 2011. URL: <http://conf.sfukras.ru/sites/mn2010/section6> (дата обращения: 07.04.17).
2. Намиот Д. Е., Сухомлин В. А., Шаргалин С. П. Программные агенты в ERP-системах // International Journal of Open Information Technologies. 2016. № 6. URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/programmnye-agenty-v-erp-sistemah> (дата обращения: 07.04.2017).

3. Рябчиков В. Ю. Мультиагентный подход встраивания модуля непрерывного электронного аудита (е-аудит) в ERP-систему // Использование программных продуктов 1С в учебных заведениях : ежегодная конф. 2012. URL: <http://1c.ru/rus/partners/training/edu/the-ses/?y=2012&s=65&t=1742> (дата обращения: 05.04.2017).

4. Скобелев П. О. Мультиагентные технологии для управления ресурсами предприятий в реальном времени. 2011. URL: [http://www.iki.rssi.ru/seminar/2011030204/presentation/20110303\\_03.pdf](http://www.iki.rssi.ru/seminar/2011030204/presentation/20110303_03.pdf) (дата обращения: 05.04.2017).

5. Хаг S. Management Information Systems for the Information Age // Publisher: McGraw-Hill Higher Education. 2006. 224–228 с.

УДК 658:621.31:004.8

*Носова А. Ю., Шайторова И. А., Лысенкова С. А.*

## **СИТУАЦИОННЫЙ ПОДХОД К УПРАВЛЕНИЮ ЭНЕРГООБЪЕКТАМИ**

*г. Сургут*

В данной статье авторы излагают принцип ситуационного управления в сфере энергетики на примере газовых котельных установок, расположенных в Сургутском районе Тюменской области. Рассматривается возможность определения конфликтных ситуаций по значениям набора ключевых показателей в работе котельных.

*Ключевые слова: ситуационное управление, фильтрация данных, контрольные карты шухарта, экстраполяция, прогнозирование.*

В настоящее время повышение энергоэффективности – актуальная проблема в сфере энергетики. Под энергоэффективностью понимаются характеристики, отражающие отношение полезного эффекта от использования энергетических ресурсов к затратам энергетических ресурсов, произведенным в целях получения такого эффекта. Под управлением энергоэффективностью можно понимать уменьшение потребления ресурсов при выполнении заданного равного объема работ [4, с. 10–11; 5–7; 14].

Существующие автоматические системы диспетчерского управления (АСДУ), обеспечивающие визуальный контроль текущего режима работы оборудования, не гарантируют в полной мере рациональных действий персонала во внештатных ситуациях. Необходимость модернизации эксплуатируемых систем контроля и управления технологическими процессами различных электроэнергетических объектов очевидна [3; 10].

Полномасштабная замена существующих систем управления и контроля на системы нового поколения была бы идеальным решением. Однако это влечет за собой огромные единовременные затраты, длительный простой оборудования и серьезную переподготовку персонала.

Альтернативой может стать подсистема ситуационного управления поведением энергообъектов. На основе данных, полученных на вход, система соотносит их с определенными ситуациями, в зависимости от которых, с помощью процедуры экстраполяции, выбирается то или иное решение.

Ситуационный подход уже задействован в сфере электроэнергетики. Об этом можно судить по разработке новой информационной технологии текущего планирования и оперативного управления режимами региональной ЭЭС (электроэнергетическая система) в реальном времени [12]. Также существует модель ситуационного управления гибкими линиями электропередачи в нормальных режимах работы, которая была успешно апробирована в реальных условиях [12].

Целью настоящего исследования является прогнозирование аварийных случаев в работе энергообъектов на основе принципов ситуационного управления. Объектом выступает процесс управления повышением энергоэффективностью на газовых котельных установках.

**Суть ситуационного управления.** Список определений ситуационного управления достаточно большой. В рамках данного исследования под ситуационным управлением будем понимать метод управления сложными объектами (системами) на основе результатов интерпретации ситуаций [10, с. 1].

Суть метода состоит в том, что подробное описание множества ситуаций, складывающихся в процессе функционирования реального объекта, по определенным правилам заменяют укрупненными «макроописаниями» обобщенных ситуаций, каждая из которых с достаточной вероятностью определяет одно из возможных решений задачи. Такая замена позволяет сократить перебор вариантов решений на компьютере и ускорить поиск оптимума.

Ниже перечислены особенности ситуационного управления.

1. Ситуационное управление используется для таких систем, формальное описание которых трудно получить.
2. Ситуационное управление – это непостоянство структуры и функционирования самого объекта управления. С течением времени в нем происходят изменения, которые нельзя предусмотреть заранее при моделировании.
3. Системы ситуационного управления – это системы многокритериального управления и нечеткость задания самих критериев.
4. Это системы, в которых есть наличие людей, обладающих свободой выбора в рамках функционирования системы [3, 9, с. 3–5].

Ниже приведена классическая структура такой системы (рис. 1).

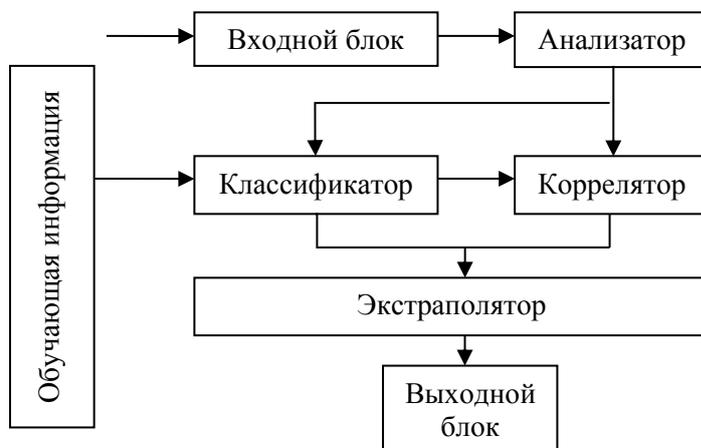


Рис. 1. Структура системы ситуационного управления

Системы ситуационного управления являются семиотическими, т. е. основаны на понятии знака. Соответственно, во входном блоке происходит перевод всей поступающей информации на язык понятий, отношений и имен. Анализатор пытается идентифицировать класс ситуации, а также определяет необходимость вмешательства управляющего воздействия в систему. В корреляторе осуществляется переход к макроописанию ситуации и выбор управляющего воздействия. Экстраполятор моделирует результаты выбранного в корреляторе решения на дальнейшее развитие процесса в объекте управления. Выходной блок преобразует отобранное решение в некоторую стандартную форму, которая выводится на объект управления. Ключевым блоком является классификатор, в который вводятся исходные множества базовых имен, понятий и отношений, а также вся априорно известная информация о полезных обобщенных понятиях, технологических ограничениях, правилах корреляции и трансформации. Построение классификатора осуществляется на основании обучения с помощью специали-

стов, имеющих опыт управления объектом, для которого мы ищем модель управления [9, с. 60–62].

Разработка систем ситуационного управления включает порядка десяти этапов от принятия решения о применимости метода и тщательного изучения объекта управления до пошагового проектирования всех блоков системы и определения программного обеспечения для реализации системы [10, с. 252].

Несмотря на сложность и длительность разработки, у такой системы есть неоспоримое преимущество – она очень гибкая, поскольку процесс ее обучения потенциально бесконечный. Кроме того, такая система открыта для обучения на любом уровне обобщения – можно вводить новые понятия на соответствующий уровень обобщения в классификатор, что сократит время поиска решения самой системой и значительно повысит ее эффективность.

В следующем разделе изложена реализация ситуационного подхода в управлении газовыми котельными установками.

**Разработка алгоритма для прогнозирования аварийных ситуаций на газовых котельных установках.** Как было сказано ранее, разработка полноценной системы ситуационного управления на объекте – задача сложная, трудоемкая и долгосрочная.

Для достижения поставленной нами цели мы позаимствуем принципы ситуационного управления, а также разработаем на их основе алгоритм, позволяющий выявлять аварийные ситуации на производстве для их дальнейшего анализа и устранения причин их возникновения.

Задачи исследования:

1. Изучить ситуационный подход к управлению сложными слабо формализуемыми системами.
2. Определить исходные данные оценки энергоэффективности на объектах производства тепловой энергии и произвести их подготовку для дальнейшего анализа.
3. Разработать алгоритм прогнозирования выхода системы во внештатный режим.

В качестве исходного массива экспериментальных данных исследовались показания датчиков, регистрирующих показания на трех газовых котельных, расположенных в Сургутском районе Тюменской области.

На сегодняшний день данные для оценки эффективности были определены: это три параметра (так называемые сильно зависимые переменные): расход воды, электроэнергия и топлива. По выбранным параметрам имеются массивы данных в виде значений почасового показания датчиков. Эти значения необходимо очистить от «шума», такого как импульсные помехи. Для очистки данных использовался медианный фильтр с апертурой в пять отсчетов к исходному массиву.

Медианный фильтр является нелинейным фильтром, часто использующимся в качестве альтернативы средним значениям. Плавающее окно фильтра (апертуру) можно задавать в зависимости от масштаба выборки и поставленной задачи. Количество отсчетов апертуры традиционно нечетное. Данные, попавшие в окно фильтра, сортируются по возрастанию, и в качестве отфильтрованного значения выбирается медиана. Как правило, медианный фильтр сохраняет общую «картину» исходных данных, сглаживая (или полностью устраняя) неадекватные импульсы [8]. Ниже изображен пример медианной фильтрации (рис. 2).

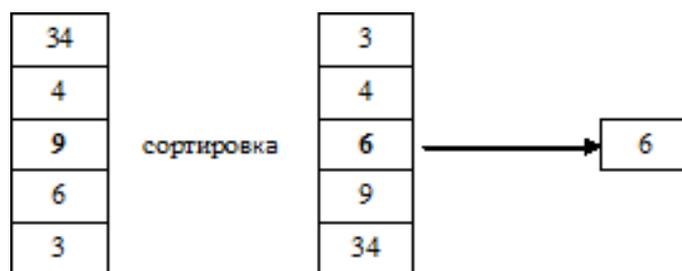


Рис. 2. Пример медианной фильтрации

Далее очищенные данные необходимо проанализировать, затем для каждого параметра надо построить контрольные карты, определяющие границы стабильного состояния работы котельных.

Карты Шухарта – визуальный инструмент, график изменения параметров процесса во времени. Контрольная карта используется для обеспечения статистического контроля стабильности процесса. Она имеет центральную линию (CL), соответствующую эталонному значению характеристики. При оценке того, находится ли процесс в статистически управляемом состоянии, эталоном обычно служит среднее арифметическое рассматриваемых данных или заранее установленное нормативное значение. Также карта Шухарта имеет две статистические определяемые контрольные границы относительно центральной линии, которые называются верхней контрольной границей (UCL) и нижней контрольной границей (LCL) (рис. 3).

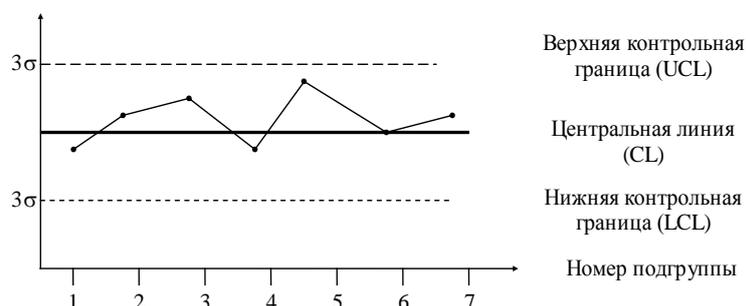


Рис. 3. Пример контрольной карты

Считается, что процесс находится в статистически управляемом состоянии, если точки разбросаны вокруг центральной линии, находятся в контрольных пределах, нет серий и трендов. В других случаях можно говорить о возникновении проблемной ситуации в процессе работы оборудования [4, с. 85–87; 14]. Соответственно, следующим этапом исследования будет определение предаварийных ситуаций на основе экстраполяции данных. Имея формальное описание проблемных ситуаций, можно заблаговременно определить поведенческие дефекты в работе оборудования и предотвратить аварийные останovy, приняв соответствующее решение и устранив причину неполадок.

Финальным этапом исследования станет разработка алгоритма принятия решений при возникновении конфликтных ситуаций в процессе бесперебойной работы котельных установок.

Таким образом, актуальность ситуационного подхода обусловлена постоянным усложнением задач управления во всех сферах деятельности. Системы ситуационного управления призваны справиться со многими из них, в том числе прогнозировать развитие ситуаций, оценивать и оптимизировать принимаемые решения [1].

Поскольку разработка подобных систем очень затратная и трудоемкая, мы использовали только принципы ситуационного управления, а именно идентификацию проблемных ситуаций на производстве на основе выбранных параметров, экстраполяцию данных с помощью контрольных карт и прогнозирование поведения оборудования.

Настоящая работа является лишь зачатком для более масштабного исследования в области прогнозирования работы энергообъектов. Однако уже сейчас можно с уверенностью заявить о применимости ситуационного подхода в определении алгоритма принятия решений.

*Nosova A. Yu., Shaitorova I. A., Lysenkova S. A.*

## SITUATIONAL APPROACH IN ENERGY FACILITIES MANAGEMENT

*Surgut*

This article describes the principles of situation management in power engineering sector via exploring gas boiler plants located in Surgut area of Tyumen region. The possibility of identifying emergency situations through the set of key parameters in boiler plants work is considered.

*Keywords: situation management, data filtering, Shewhart control charts, extrapolation, forecast.*

### Список использованной литературы

1. Будагьянец Н. А. Основополагающие принципы ситуационного управления [Электронный ресурс] : материалы из центра дистанционного образования Элитариум. URL: [http://www.elitarium.ru/principyu\\_situacionnogo\\_upravlenija](http://www.elitarium.ru/principyu_situacionnogo_upravlenija) (дата обращения: 18.11.2016).
2. Буткевич А. Ф. Некоторые практические вопросы интеллектуализации компонентов АСУ ТП электроэнергетических объектов [Электронный ресурс] // Электротехнический рынок : рекл.-информ. Журн. № 3 (21), май-июнь 2008. URL: <http://market.elec.ru/nomer/20/nekotorye-prakticheskie-voprosy> (дата обращения: 20.11.2016).
3. Григоренко В. В., Еськов В. М., Зимин М. И. Адаптивные фильтры в исследовании биомедицинских данных // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. 2016. Т. 15, № 2. С. 304–309.
4. Максимюк Е. В. Модели и алгоритмы поддержки принятия решений по управлению энергоэффективностью источников теплоснабжения : дис. ... канд. техн. наук. Сургут : Изд-во СурГУ, 2015. 138 с.
5. Максимюк Е. В., Микшина В. С. Математическое моделирование для поддержки принятия решений в области обеспечения энергетической эффективности // Качество. Инновации. Образование. 2014. № 8 (111). С. 54–63.
6. Максимюк Е. В., Микшина В. С. Применение регрессионного анализа для повышения степени влияния отдельных узлов оборудования на эффективность работы котельных // Вестник кибернетики. 2014. № 14. С. 12–24.
7. Микшина В. С., Назина Н. Б., Шайторова И. А. Прогнозирование внештатных ситуаций в электроэнергетике на основе методов статистического управления // Вестник кибернетики : Междунар. журн. 2015. № 3 (19). С. 203–208.
8. Медианная фильтрация [Электронный ресурс]: материал из Национальной библиотеки им. Н. Э. Баумана. URL: [http://ru.bmstu.wiki/Медианная\\_фильтрация](http://ru.bmstu.wiki/Медианная_фильтрация) [http://ru.bmstu.wiki/Медианная\\_фильтрация](http://ru.bmstu.wiki/Медианная_фильтрация) (дата обращения: 25.03.2017).
9. Поспелов Д. А. Большие системы (ситуационное управление). М. : Знание, 1975. 64 с.
10. Поспелов Д. А. Ситуационное управление: теория и практика. М. : Наука : Гл. ред. физ.-мат. лит., 1986. 288 с.
11. Прохоренко А. М., Качала Н. М. Оптимизация режимов работы систем теплоснабжения объектов коммунальной энергетики методами ситуационного управления // Фундаментальные исследования. 2012. № 9.
12. Ромодин А. В., Лейзгольц Д. Ю. Модель системы ситуационного управления гибкими линиями электропередачи в нормальных режимах работы // Современные проблемы науки и образования. 2013. № 6.
13. Чукреев Ю. Я. Прототип экспертной системы советчика диспетчера региональной ЭЭС [Электронный ресурс] : материал семинара Ин-та социально-экономических и энергетических проблем Севера Коми научного центра УрО РАН. URL: <http://www.energy.komisc.ru/seminar/Chukr1.pdf> (дата обращения: 26.11.2016).

14. Mikshina V. S., Maksimyuk E. V. Mathematical methods and algorithms for decision support to ensure energy efficiency // Innovative Information Technologies: Materials of the International scientific – practical conference. Part 3. / Ed. Uvaysov S. U. M. : HSE, 2014. P. 295, 296.

УДК 616-07:519.237.7 :004.9

*Павлов С. И.*

## **ПРИМЕНЕНИЕ ФАКТОРНОГО АНАЛИЗА В ЗАДАЧАХ МЕДИЦИНСКОЙ ДИАГНОСТИКИ**

*г. Сургут*

Автор статьи предлагает использовать информационные технологии для решения задач медицинской диагностики, в частности диагностики бронхиальной астмы у детей. Применение математического моделирования позволяет получить знания для создания системы поддержки принятия решений по выявлению детей в большей степени подверженных риску развития бронхиальной астмы.

*Ключевые слова: факторный анализ, медицинская диагностика, дети, бронхиальная астма.*

В современном мире информационные технологии используются во всевозможных областях человеческой деятельности. Особенно продуктивно использовать их в областях исследований, в которых требуется обрабатывать большие объемы информации за короткое время, а также решать нетривиальные слабоформализованные задачи, не имеющие алгоритмов решения. Разработка математических методов решения медицинских задач началась в XX в. [1; 2]. Начиная с 60-х гг. прошлого столетия, активно разрабатывались методы анализа, основанные на алгоритмах принятия решений. Наиболее популярные методы используются в медицине для подтверждения гипотез и выводов, однако в клинической практике они стали завоевывать популярность только в последние годы [3–5].

Состояние атмосферного воздуха год от года становится все хуже. Вопросом особой важности является правильная диагностика пульмонологических заболеваний, развитие и течение которых связано с воздухом, которым мы дышим. Одним из таких заболеваний является бронхиальная астма. Бронхиальная астма является самым распространенным хроническим заболеванием среди детей, поэтому задача диагностики данного заболевания является особенно актуальной для детей до пяти лет [6; 7].

В качестве исходных данных были использованы результаты опроса родителей и клинические обследования 181 ребенка города Западной Сибири. В состав опросного листа входило 50 различных вопросов, на которые родители при помощи диагностирующего врача (для избегания неправильной трактовки медицинских терминов родителями ребенка) отвечали «да» или «нет». В дальнейшем проводилось обследование с использованием инструментальных и лабораторных методов диагностики, в результате которого проверялся предварительный диагноз бронхиальной астмы, полученный на основе опроса.

Цель исследования – получение знаний для создания системы поддержки принятия решений по выявлению детей, в большей степени подверженных риску развития бронхиальной астмы к пяти годам.

Достижение поставленной цели требует решение ряда задач, таких как:

- анализ различных источников в области применения математического моделирования для диагностики бронхиальной астмы;
- выбор метода подготовки и исследования данных;

- построение математической модели зависимости наличия бронхиальной астмы от различных факторов, определяемых с помощью заполнения опросных листов;
- проверка адекватности и точности математической модели.

**Подобные исследования.** В первую очередь необходимо отметить работу, выполненную в клинике детских болезней Московской медицинской академии им. И. М. Сеченова совместно с научным центром здоровья детей РАМН «Дифференциальная диагностика бронхиальной астмы у детей раннего возраста» [7]. В данной работе была получена математическая модель диагностики бронхиальной астмы на основе методов дискриминантного анализа.

Также существует действующий патент на способ дифференциальной диагностики клинико-патогенетических вариантов бронхиальной астмы и начальной стадии хронической обструктивной болезни легких, принадлежащий Научно-исследовательскому институту медицинских проблем Севера Сибирского отделения РАМН. Авторами данного патента являются А. Ф. Колпакова, А. Н. Латышева и С. В. Смирнова [8]. В диагностике используется математическая модель логистической регрессии для определения вероятности развития некоторых болезней легких.

Похожая задача решалась Л. С. Макаровой и Е. Г. Семеряковой в Томском политехническом институте [9]. В этой работе для формирования решающих правил использовались методы нейронных сетей и дискриминантного анализа. Результаты моделирования с помощью нейронных сетей дали худшую точность классификации, нежели дискриминантный анализ. Авторы отмечают, что этот факт возник из-за недостаточного количества данных для обучения нейронной сети.

На основе анализа приведенных источников можно сделать вывод о возможности применения математического моделирования в задачах диагностики бронхиальной астмы у детей до пяти лет. Авторы представленных работ, как правило, указывают на проблему несоответствия размерности исходных данных и размера выборки для получения наиболее адекватной математической модели, именно этот факт придется учитывать при дальнейшем моделировании.

Представленные модели не могут быть применены в настоящем исследовании в связи с различиями в постановке целей и задач, различиями в выборе независимых переменных, использованных для моделирования, различиями в используемых выборках для получения и проверки моделей.

**Подготовка данных.** Используемая выборка может быть описана с помощью признакового пространства. Признаком  $f$  объекта  $x$  будем называть результат измерения некоторой характеристики объекта. Можно определить отображение  $f: X \rightarrow D_f$ , где  $D_f$  – множество допустимых значений признака. Таким образом, отнесение объекта к некоторому классу также является признаком. Множество  $D_f$  может определять совершенно разные признаки, если:

- $D_f = \{0,1\}$ , то  $f$  – это *биномиальный* признак;
- $D_f$  – конечное множество, то  $f$  – это *номинальный* признак;
- $D_f$  – конечное упорядоченное множество, то  $f$  – это *порядковый* признак;
- $D_f = \mathbb{R}$ , то  $f$  – это *количественный* признак.

Пусть имеется набор признаков  $f_1, \dots, f_n$ . Вектор  $(f_1(x), \dots, f_n(x))$  называют признаковым описанием объекта  $x \in X$ . Можно записать признаковые описания всех объектов в одну матрицу, где в каждом столбце будет находиться описание конкретного признака. Такая матрица размера  $\ell \times n$  будет являться *матрицей «объект – признак»*:

$$F = \|f_j(x_i)\|_{\ell \times n} = \begin{pmatrix} f_1(x_1) & \dots & f_n(x_1) \\ \dots & \dots & \dots \\ f_1(x_\ell) & \dots & f_n(x_\ell) \end{pmatrix}. \quad (1)$$

Так как мы не можем представить объект ни в одном виде, кроме признакового описания, то и не будем различать объекты из множества  $X$  и их признаковые описания, определив  $X$  как  $X = D_{f_1} \times \dots \times D_{f_n}$ . Размерность исходного признакового пространства равна 51 количеству

признаков для описания состояния ребенка. Ответы, регистрируемые в опросных листах, могут принимать значения только «да» или «нет», значит все признаки являются биномиальными [10].

Наличие большого количества биномиальных признаков накладывает ограничения на возможные методы моделирования. В таком случае имеет место применение методов снижения размерности, в частности, факторный анализ по методу главных компонент [11].

Факторный анализ методом главных компонент позволяет уменьшить количество переменных, описывающих исходную выборку, за счет выделения собственных векторов и собственных значений ковариационной или корреляционной матрицы. Применительно к данной задаче после выделения главных компонент необходимо получить такое линейное преобразование исходных признаков, при котором слабые корреляции между исходными признаками обратятся в ноль. Для этого следует применить процедуру преобразования базиса, полученного в ходе анализа главных компонент пространства признаков относительно используемой выборки.

$$X' = X_1 \cdot \alpha_1 + X_2 \cdot \alpha_2 + \dots + X_n \cdot \alpha_n, \quad (2)$$

где  $X'$  – полученная главная компонента;

$X_n$  – исходный признак;

$\alpha_n$  – коэффициент преобразования исходного признака.

В результате выделения главных компонент и последующего их вращения методом «Варимакс» было получено 18 компонент, представляющих собой линейную комбинацию исходных признаков. Количество компонент было определено эвристическим правилом «сломанной трости» [8]. Суммарный процент объясненной дисперсии равен 76,903 %.

После процедуры получения и вращения главных компонент проводилась процедура их интерпретации с точки зрения предметной области при помощи компетентных в данной предметной области специалистов. Результаты интерпретации некоторых компонент представлены в табл. 1.

Таблица 1

#### Интерпретация результатов факторного анализа

Номер компоненты	Интерпретация	Процент объясненной дисперсии
1	Компонента является линейной комбинацией признаков, описывающих индекс массы тела (ИМТ) ребенка при рождении и дальнейшие его изменения	7,272
2	Компонента описывает аллергенную отягощенность по линии матери	7,199
3	Компонента описывает причинную связь кашля ребенка с наличием острой респираторной вирусной инфекции	5,839
4	Компонента описывает способ родоразрешения и массу тела ребенка при рождении	5,297
5	Компонента описывает вид вскармливания ребенка с учетом начала использования искусственного вскармливания	3,900

В таблице 1 представлена интерпретация результатов факторного анализа. Приведены пять факторов из 18. Остальные факторы либо объясняют слишком маленький процент дисперсии, либо их интерпретация является затруднительной.

Результаты факторного анализа и их интерпретация сами по себе могут представлять некоторую ценность для специалистов в области пульмонологии или педиатрии, так как обнаруживают связь между некоторыми признаками.

**Построение математической модели.** Процесс математического моделирования требует постановки задачи. Постановка диагноза в данном случае является однозначным отношением конкретного объекта в один из классов: здоров или болен (классификации). Для построения классификатора воспользуемся обучением по прецедентам.

Задано множество объектов  $X$  и множество ответов  $Y$ . Существует функция  $y^*: X \rightarrow Y$ , значения которой  $y_i = y^*(x_i)$  известны только на конечном множестве объектов  $\{x_1, \dots, x_l\} \subset X$ . Пары объектов «объект-ответ»  $(x_i, y_i)$  называются прецедентами. Совокупность пар  $X^l = (x_i, y_i)_i^l$  называется *обучающей выборкой*, где  $l$  – количество прецедентов.

Задача обучения по прецедентам заключается в нахождении зависимости  $y^*$  по обучающей выборке  $X^l$ , т. е. необходимо найти решающую функцию  $a: X \rightarrow Y$ , которая определяет ответ ( $y_i$ ), наиболее приближенный к ответу, полученному с помощью функции  $y^*(x_i)$ . Данное требование также распространяется не только на объекты обучающей выборки, но и на все множество  $X$  [11].

Одним из самых распространенных способов получения классифицирующей функции является уравнение логистической регрессии.

$$P = \frac{1}{1 + \exp \langle x, \beta \rangle}. \quad (3)$$

Для двух классов  $Z = \{-1, +1\}$  в логистической регрессии строится линейный алгоритм классификации  $a: X \rightarrow Z$ , который позволяет отнести объект к одному из двух классов:

$$a(x, \beta) = \text{sign} \left( \sum_{j=1}^n \beta_j f_j(x) - \beta_0 \right) = \text{sign} \langle x, \beta \rangle, \quad (4)$$

где  $\beta_i$  – вес  $i$ -го признака;

$\beta_0$  – порог принятия решения;

$\beta = (\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_n)$  – вектор весов;

$\langle x, \beta \rangle$  – скалярное произведение.

Искусственно введен константный признак  $f_0(x) = -1$ .

Отбор переменных в модель осуществляется с помощью метода прямого отбора (*ForwardSelection*). Расчет коэффициентов при переменных для логистической регрессии производился с помощью алгоритма *Ньютона – Рафсона* [10; 11].

В результате построения математической модели логистической регрессии в модель вошли 11 из 18 исследованных факторов.

**Проверка полученной модели.** Для подтверждения адекватности и точности полученной модели принято использовать следующие показатели. Близость удвоенного логарифма функции правдоподобия, взятого с отрицательным знаком, к нулю указывает на высокое правдоподобие полученной модели. Коэффициент детерминации  $R^2$  Кокса – Снелла и коэффициент детерминации  $R^2$  Наделькеркса являются мерами определенности, они указывают на ту часть дисперсии, которую можно объяснить с помощью логистической регрессии. Часть дисперсии, объясняемой с помощью логистической регрессии, в данном примере составляет 100 % [11].

Таблица 2

Интерпретация результатов факторного анализа

-2Log Правдоподобие	$R^2$ Кокса – Снелла	$R^2$ Нэйджелкерка
0,000	0,742	1,000

Для получения классификационной таблицы воспользуемся процедурой кросс-валидации. Для этого исходная выборка разбивается на десять равных блоков. На девяти блоках проводится построение модели, а на оставшемся блоке производится проверка ее адекватности. Этот процесс повторяется, пока не будет произведена проверка на всех блоках. Результаты процедуры кросс-валидации приводятся в классификационной (сводной) таблице (табл. 3).

Таблица 3

**Классификации исходных данных с использованием логистической регрессии**

Показатель		Предсказано	
		Здоров	Болен
Реальные данные	Здоров	72	0
	Болен	0	102

В таблице 3 приведены результаты классификации с использованием логистической регрессии (9 случаев не использовались ни для обучения, ни для проверки в модели, ввиду пропущенных значений некоторых признаков). Значения в левой верхней и правой нижней ячейках отображают количество верно классифицированных случаев «здоров» и «болен» соответственно. Значения в левой нижней и правой верхней ячейках отображают количество ложноположительных и ложноотрицательных случаев соответственно.

Таким образом, в результате проведенного исследования были решены поставленные задачи применения математического моделирования для диагностики бронхиальной астмы. Получена модель логистической регрессии, позволяющая правильно классифицировать все случаи из обучающей выборки. Стоит отметить, что моделирование с помощью логистической регрессии позволяет получить лучшие результаты по сравнению с дискриминантным анализом (81,395 % верно предсказанных случаев) и деревьями решений (93,023 % верно предсказанных случаев). Дальнейшие исследования в этой области могут стать ядром системы поддержки принятия решения при диагностике бронхиальной астмы у детей до пяти лет.

*Pavlov S. I.*

**FACTOR ANALYSIS IN PROBLEMS OF MEDICAL DIAGNOSTICS**

*Surgut*

The article considers the use of information technologies for solving problems of medical diagnostics, in particular, diagnostics of bronchial asthma in children. The application of mathematical modeling allows gaining knowledge to create a decision support system for identifying children who are at risk of developing bronchial asthma.

*Keywords: factor analysis, medical diagnostics, children, bronchial asthma.*

**Список использованной литературы**

1. Микшина В. С., Алмазова Е. Г. Математическая модель процесса диспансеризации населения // Успехи современного естествознания. 2006. № 11. С. 99–101.
2. Микшина В. С., Алмазова Е. Г. Математическая модель оценки эффективности профилактических осмотров населения // Фундаментальные исследования. 2007. № 7. С. 79–83.
3. Микшина В. С., Егоров А. А. Модель принятия решений хирурга // Вестник Новых медицинских технологий. 2011. Т. XVII, № 4. С. 287–290.

4. Микшина В. С., Егоров А. А. Применение вероятностных сетей для решения задачи классификации в хирургии // Нейроинформатика-2011 : XIII Всерос. науч.-техн. конф. : в 3 ч. М. : НИЯУ МИФИ, 2010. Ч 1. С. 152–163.
5. Микшина В. С., Дарвин В. В., Егоров А. А., Суоров В. А. Интеллектуальная информационная система поддержки принятия решений хирурга по выбору способа завершения операции // Современные проблемы науки и образования. 2011. № 5. URL: <http://www.science-education.ru/99-4930> (дата обращения: 12.04.17).
6. Астма. Информационный бюллетень всемирной организации здоровья. № 307. URL: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs307/ru/> (дата обращения: 12.04.17).
7. Куличенко Т. В., Климанская Е. В., Лукина О. Ф., Баяндина Г. Н. Дифференциальная диагностика бронхиальной астмы у детей раннего возраста. 2000. № 6. С. 25–29.
8. Способ дифференциальной диагностики хронических обструктивных заболеваний легких / Национальная педиатрическая академия науки и инноваций. RU 2262095 C1, дата публ. 10.10.2005.
9. Семерякова Е. Г., Макарова Л. С. Разработка решающих правил для системы поддержки принятия решений дифференциальной диагностики бронхиальной астмы // Вестник науки Сибири. 2012. № 3 (4). С. 162–167.
10. Воронцов К. В. Математические методы обучения по прецедентам (теория обучения машин). URL: <http://www.machinelearning.ru/wiki/images/6/6d/Voron-ML-1.pdf> (дата обращения: 12.04.17).
11. Микшина В. С., Павлов С. И. Снижение размерности пространства состояний пациента в кардиологии с применением факторного анализа методом главных компонент // Север России: стратегии и перспективы развития : материалы Всерос. науч.-практ. конф. Сургут : Изд-во СурГУ, 2015. С. 90–96.
12. Cangelosi R., Goriely A. Component retention in principal component analysis with application to cDNA microarray data, *Biology Direct*. 2007, 2:2.
13. Hastie T., Tibshirani R., Friedman J. *The Elements of Statistical Learning. Data Mining, Inference, and Prediction* Second Edition. Springer. 2009.
14. Бююль А., Цёфель П. *SPSS: Искусство обработки информации. Анализ статистических данных и восстановление скрытых закономерностей* : пер. с нем. СПб. : ДиаСофтЮП, 2005. 608 с.

УДК 665.6/.7:519.87

*Погореловский М. А., Микшина В. С., Назина Н. Б., Заикин П. В.*

## **АГРЕГИРОВАНИЕ СОСТАВА МНОГОКОМПОНЕНТНОЙ СМЕСИ В МАТЕМАТИЧЕСКОМ МОДЕЛИРОВАНИИ СЛОЖНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ**

*г. Сургут*

В статье авторы анализируют данные для создания математической модели многокомпонентных процессов нефтепереработки и нефтехимии на основе непрерывного подхода. Сравниваются методы аппроксимации состава исходного сырья: кривые Пирсона, полином Лагранжа и метод сплайна.

*Ключевые слова: методы аппроксимации, кривые Пирсона, метод Лагранжа, метод сплайна.*

На начало 2017 г. в России насчитывалось 32 действующих нефтеперерабатывающих завода (НПЗ), перерабатывающих 261,6 млн тонн нефти, а также 80 мини-НПЗ с общей мощностью переработки 11,3 млн тонн. За 2016 г. 11 крупных и 21 мини-НПЗ повысили эффективность своих производственных мощностей путем внедрения установок гидрокрекинга.

В настоящее время для нефтеперерабатывающей промышленности характерно развитие процессов, связанных с дальнейшим углублением переработки углеводородного сырья, увеличением выработки светлых продуктов. К их числу относятся гетерогенные каталитические процессы: гидрокрекинг, каталитический крекинг, риформинг, алкилирование, изомеризация и др. Отличительной особенностью таких процессов является их нестационарность, вызванная постепенной дезактивацией и старением катализаторов [1].

Современный этап развития областей нефтехимии и нефтепереработки характеризуется внедрением методов математического моделирования для описания процессов подготовки и переработки нефтяного сырья с целью улучшений технологий. Надежная информация о параметрах моделей, закономерностях их изменения является основой правильного математического описания нефтяных систем и процессов, а также гарантией верных технологических решений. В настоящее время назрела необходимость разработки новых подходов описания свойств сырья, влияния структурных особенностей строения компонентов на его свойства, взаимодействия компонентов внутри нефтяных систем [3].

Целью данной работы является подготовка исходных данных для создания математической модели многокомпонентных процессов нефтепереработки и нефтехимии на основе непрерывного подхода. Разработка непрерывных по составу моделей предполагает использование функций плотности распределения состава, констант скорости и энергии активации по некоторой переменной. В качестве переменной можно использовать молекулярный вес, температуру кипения и т. п. [4].

Моделирование нефтяных процессов является исключительно сложным: постоянно изменяющийся состав исходного сырья; в себе десятки и сотни протекающих реакций, старение катализатора, взаимное влияние компонентов друг на друга, неидеальность наблюдаемых физико-химических свойств и др.

Основные подходы математического моделирования процессов нефтепереработки и нефтехимии, существующие в настоящее время, можно охарактеризовать как попытки создания укрупненных моделей на основе различных подходов:

1. На базе физико-химических представлений поиска функциональных связей:
  - по принципу объединений коллективных свойств и функционального подобия веществ (по гомологическим рядам, функциональным группам и т. д.);
  - по принципу установления корреляций связи между параметрами систем и веществ (кинетических, термодинамических, молекулярных, структурных).

2. На базе математических описаний веществ и процессов: идеи «лампы», использующие методы объединения переменных, предложенные в 60-е гг. Дж. Вэем и Ч. Претером;
  - идеи «непрерывного» описания физико-химических процессов с применением интегро-дифференциальных уравнений;
  - топологического описания систем.

3. На основе теории подобия в применении к химической технологии.

С точки зрения «непрерывного» подхода в математической модели в качестве «вещества» выступает функция плотности распределения вероятностей состава изучаемой фракции. Такую функцию получают в результате аппроксимации эмпирических распределенных смесей исходного сырья конечного продукта [6].

Существуют следующие способы аппроксимации [2]:

- аппроксимация сплайнами;
- аппроксимация отрезками ряда Фурье;
- аппроксимация функциями Пирсона [5];
- аппроксимация полиномом Лагранжа.

При сплайн-интерполяции на каждом интервале строится отдельный полином 3-й степени со своими коэффициентами, которые определяются следующими условиями сшивания соседних сплайнов в узловых точках:

- выполнение условия Лагранжа;

- непрерывность первой и второй производной в узлах  $\varphi'_i(x_i) = \varphi'_{i+1}(x_i), \varphi''_i(x_i) = \varphi''_{i+1}(x_i)$ ;

- условия на концах могут быть различными, в том числе со свободными концами, т. е. описываться уравнениями прямых и в этом случае иметь нулевые вторые производные:  $\varphi''_1(x_0) = 0, \varphi''_n(x_n) = 0$ .

Интерполяция сплайнами требует больших вычислительных затрат, но обеспечивает точное нахождение первой производной.

Использование в качестве функции  $\varphi(x)$  последовательности тригонометрических функций синуса и косинуса приводит к аппроксимирующей функции в виде ряда:

$$\varphi(x) = a_0 + \sum_{i=1}^k a_i \cdot \cos(\omega \cdot i \cdot x) + b_i \cdot \sin(\omega \cdot i \cdot x),$$

где  $k$  – число гармоник;

$\omega$  – частота первой гармоники.

Аппроксимация рядами Фурье может использоваться как для приближения периодических функций, так и непериодических.

В большинстве случаев точность аппроксимации обеспечивается при 10–20 гармонических составляющих ряда Фурье на любом интервале накопления данных. Для неизменной функции точность обеспечивается при любом количестве гармоник и длине интервала накопления данных.

В свою очередь, метод аппроксимации Пирсона основывается на использовании семейства статистических распределений. Метод достаточно универсален и охватывает практически все известные виды статистических распределений. Вид функции плотности распределения определяется уравнением:

$$b_2 x^2 + b_1 x + b_0 = 0.$$

Решением которого является  $k = \frac{b_1^2}{4b_2 b_0}$  – каппа Пирсона, переменная, отвечающая за подбор кривой.

Для исследования возможностей аппроксимации были использованы смеси нормальных парафинов, содержащихся в бензиновых фракциях разных нефтяных месторождений. В таблице представлены составы нормальных углеводородов с различных месторождений России. В смесях обычно содержится пять углеводородов  $C_4 - C_8$

Распределение содержания фракций в нефти

Отгоняется до температуры °С	Месторождение нефти										
	Нефтяные Камни	Нефтяные Камни (северо-восточное крыло)	Нефтяные Камни (юго-западное крыло)	Грязевая сопка (северо-восточное крыло)	Грязевая сопка (юго-западное крыло)	Артемовская	Гюргянская	о. Песчаный (верхний отдел)	о. Песчаный (нижний отдел)	Сангачаль-море	Дуванный-море
85	15	15	0	9	0	0	0	15	5	29	23
100	25	30	30	14	0	0	0	46	11	40	33
120	40	48	50	21	0	0	22	73	28	57	50
140	65	77	80	35	15	0	40	97	38	75	65
150	77	95	93	42	20	0	50	108	45	86	72
160	92	112	110	50	24	21	60	119	53	97	80
180	125	150	143	70	40	40	86	140	76	120	102
200	160	187	180	100	62	62	117	165	103	150	125
220	200	230	209	125	90	92	160	191	134	180	147
240	240	281	243	155	120	124	202	221	169	213	175
260	275	313	277	190	156	155	252	259	212	230	205
280	322	350	312	230	196	185	302	296	260	292	240
300	374	400	348	285	246	231	357	342	310	340	287
320	420	440	388	330	308	270	405	420	0	387	340
330	440	466	407	409	330	289	438	0	385	412	370
350	484	520	460	420	380	340	486	467	436	460	420
360	506	540	40	440	396	370	512	491	460	480	445
380	554	581	520	487	433	410	560	534	504	520	483
400	600	622	558	537	481	470	613	578	545	552	517
420	650	659	594	595	528	512	656	615	586	580	552
440	701	690	631	660	580	568	700	652	625	608	595
450	720	708	653	690	604	595	722	674	640	620	625
460	741	720	670	0	0	615	747	695	658	0	655
470	756	735	694	0	0	633	772	715	676	0	690
480	773	758	719	0	0	659	795	740	693	0	737
490	783	775	750	0	0	0	815	765	712	0	0
500	800	792	780	0	0	0	838	798	732	0	0

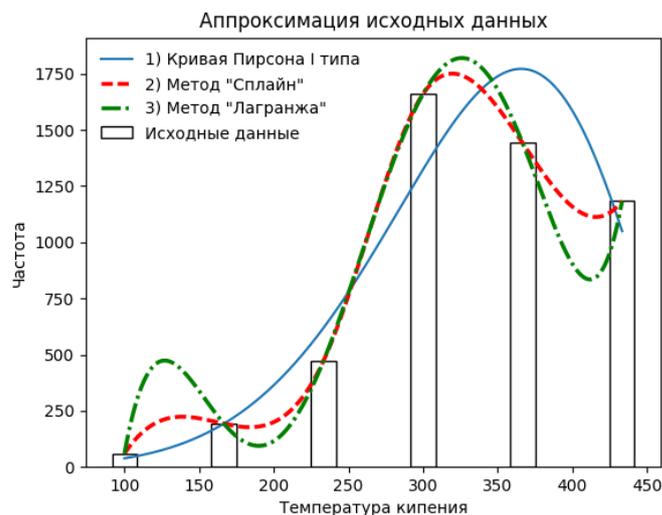
В ходе аппроксимации было выявлено, что кривые типа Пирсона, полином Лагранжа и метод сплайна хорошо аппроксимируют одномодальные исходные данные с высокой адекватностью по трем критериям:  $\chi^2$ , критерий Колмогорова – Смирнова (рис. 1, 2).

Уравнение кривой Пирсона (1), представленной на рис. 1, имеет вид:

$$y = 1772 \left(1 + \frac{x}{8.442}\right)^{10.23} \left(1 - \frac{x}{2.087}\right)^{2.53} . \quad (1)$$

Для проверки адекватности этого уравнения эмпирическому распределению состава критерием  $\chi^2$  получено табличное значение  $=7,67$  и расчетное значение. Так как, то можно сделать вывод о приемлемом уровне адекватности эмпирической функции распределения кривой Пирсона.

По критерию Колмогорова – Смирнова,  $\alpha \rightarrow 1$  при  $K_\alpha = 0,16$ . Это подтверждает высокую адекватность соответствия данного распределения кривой Пирсона.



**Рис. 1. Пример аппроксимации смеси n-парафинов нефти из месторождения «Грязевая сопка» кривыми Пирсона, полином Лагранжа, сплайнами:**  
1 – кривая Пирсона; 2 – полином Лагранжа; 3 – сплайны

Аппроксимирующий полином Лагранжа (2) для исходной смеси месторождения «Грязевая сопка» представляет собой уравнение:

$$y = 4,27 \cdot 10^{-8} x^5 - 5,63 \cdot 10^{-5} x^4 + 0,027 x^3 - 6,44 x^2 + 691,9 x - 2,73 \cdot 10^4 . \quad (2)$$

Для проверки адекватности уравнения (2) эмпирической функции распределения состава критерием  $\chi^2$  табличное значение  $=7,67$  сравнивается с расчетным. Так как – это говорит о приемлемом уровне адекватности эмпирической функции распределения кривой, полученной методом Лагранжа. По критерию Колмогорова – Смирнова, при  $\alpha \rightarrow 1$  коэффициент равен  $K_\alpha = 0,16$  что также подтверждает высокую адекватность экспериментальных и расчетных данных.

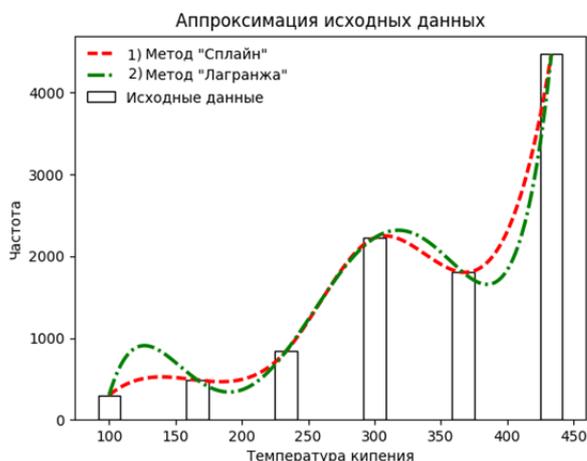
Для экспериментальных данных (см. таблицу) по месторождениям «Нефтяные Камни», «Нефтяные Камни (северо-восточное крыло)», «Нефтяные Камни (юго-западное крыло)», «Гюргянская» не удалось подобрать ни одной кривой Пирсона из семейства, состоящего из 13 типов кривых. Причиной этого является многомодальность соответствующих исходных данных.

На рис. 2 представлены результаты аппроксимации распределений углеводородов в нефти «Нефтяные Камни» полиномом Лагранжа и сплайнами.

Аппроксимирующий полином Лагранжа для исходной смеси месторождения мирующей полином Лагранжа для исходной смеси месторождения «Грязевая сопка» представляет собой уравнение:

$$y = 4,27 \cdot 10^{-8} x^5 - 5,63 \cdot 10^{-5} x^4 + 0,027 x^3 - 6,44 x^2 + 691,9 x - 2,73 \cdot 10^4 . \quad (3)$$

Для проверки адекватности полученного уравнения эмпирическому распределению состава критерием  $\chi^2$ . найденное табличное значение = 7,67. сравнивали с расчетным. Так как, то уровень адекватности эмпирической функции распределения кривой Лагранжа (3) можно считать приемлемым. Критерий Колмогорова – Смирнова  $K_\alpha = 0,16$ , при  $\alpha \rightarrow 1$  подтверждает высокую адекватность эмпирической функции распределения кривой Лагранжа (3).



**Рис. 2. Пример аппроксимации смеси n-0-парафинов нефти из месторождения «Нефтяные Камни» полиномом Лагранжа, сплайнами:**  
1 – полином Лагранжа; 2 – сплайны

Таким образом, для аппроксимации состава смесей углеводородов нефтяной фракции можно использовать как метод кривых Пирсона, так и метод полиномом Лагранжа и B-сплайн. Кривые Пирсона хорошо аппроксимируют эмпирические функции распределения углеводородов в нефтяной смеси по температуре кипения для одномодальных исходных данных.

Полином Лагранжа и B-сплайн можно использовать для аппроксимации состава смесей углеводородов нефтяной смеси. Полученные расчетные уравнения имеют высокую адекватность с экспериментальными данными для любых исходных данных как одномодальных, так и многомодальных.

*Pogorelovsky M. A., Mikshina V. S., Nazina N. B., Zaikin P. V.*

## ALGORITHMS OF APPROXIMATION OF MULTICOMPONENT MIXTURES OF MATHEMATICAL MODELING

*Surgut*

The article is devoted to the preparation of data for the creation of a mathematical model for multicomponent petroleum refining and petrochemical processes based on a continuous approach. Comparison of the methods for approximating the composition of the initial raw materials (the Pearson curves, the Lagrange polynomial, and the spline method) is given.

*Keywords: approximation methods, Pearson curves, Lagrange method, spline method.*

### Список использованной литературы

1. Бесков В. С. Математическое моделирование каталитических процессов переработки углеводородного сырья // Катализ в промышленности. 2008. № 6. С. 41–46.

2. Голубинский А. Н. Методы аппроксимации экспериментальных данных и построение моделей // Вестник Воронежского института МВД России. 2007. № 2. С. 138–143.
3. Заикин П. В., Мишкина В. С. Непрерывный подход в моделировании кинетики реакций многокомпонентной смеси // Вестник кибернетики. 2014. № 1. С. 25–31.
4. Микшина В. С. Математическое моделирование процесса гидрокрекинга бензиновых фракций : дис. ... канд. техн. наук: 05.17.08. Томск. 1983. 188 с.
5. Погореловский М. А., Заикин П. В. Программа визуализации кривых семейства Пирсона. Российская Федерация : пат. № 2016613923. от 15.02.2016 г.
6. Сваровская Н. А. Серийно-индивидуальный подход в моделировании многокомпонентных гомогенных процессов нефтехимии и нефтепереработки : дис. ... д-ра техн. наук: 02.00.13. Томск. 2000. 278 с.

УДК 338.45:622.3:004

*Прохоренко Н. А.*

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ DATA MINING В НЕФТЯНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

*г. Сургут*

В статье автор рассматривает методы Data Mining, которые могут использоваться для поиска зависимостей или знаний в базах данных. Рассмотрен метод нейронных сетей и два типа нейронных сетей, применяемых в Data Mining, – карты Кохонена и сети Хопфильда.

*Ключевые слова:* Data Mining, знания, базы данных, нейронные сети.

Data Mining – это новая технология в IT, затрагивающая многие области науки и бизнеса. Сейчас, когда даже в небольших компаниях скапливается большое количество баз данных, из которых могут быть получены новые полезные знания, эта технология способна принести прибыль. Особенно, в крупных компаниях, занимающихся нефте- и газодобычей, а также банках и страховых организациях.

Технология Data Mining в будущем способна изменить окружающий мир. Так как все больше данных частного характера будет сохраняться в базах данных, то можно будет делать различные прогнозы о будущем человека. В том числе с большой долей вероятности можно будет предсказать, что данный человек совершит преступление. Поэтому к этой технологии надо относиться с некоторой долей осторожности и заранее предусмотреть все возможные варианты развития событий, даже презумпцию невиновности. Если сейчас человек задает и получает ответ на вопрос – «Почему?», так как большое значение играют причинно-следственные связи. То в будущем на основании данных из разных баз данных можно будет получить знание, которое нельзя обосновать причинно-следственной связью, но тем не менее это будет такое знание, которое с большой долей вероятности можно назвать достоверным. Особенно это касается науки и научных открытий, где само наличие эмпирического опыта и причинно-следственной связи является важным для открытия новых законов природы.

Для поиска взаимосвязей между параметрами в базах данных можно использовать нейронные сети – самоорганизующиеся карты Кохонена, либо нейронные сети Хопфильда. При этом надо понимать, что нейронные сети могут обучаться с учителем или без него. Необходимо провести анализ базы данных.

Под анализом БД здесь понимается комплекс мероприятий, направленных на выявление скрытых закономерностей в базах данных с использованием аппарата искусственных

нейронных сетей для решения задачи, которая в рамках автоматизированного интеллектуального анализа данных может трактоваться следующим образом: сети, называемые картами Кохонена, – это одна из разновидностей нейронных сетей, однако они принципиально отличаются от рассмотренных выше, поскольку используют неконтролируемое обучение. Напомним, что при таком обучении обучающее множество состоит лишь из значений входных переменных, в процессе обучения нет сравнения выходов нейронов с эталонными значениями. Можно сказать, что такая сеть учится понимать структуру данных.

Идея сети Кохонена принадлежит финскому ученому Тойво Кохонену (1982). Основной принцип работы сетей – введение в правило обучения нейрона информации относительно его расположения. В основе идеи сети Кохонена лежит аналогия со свойствами человеческого мозга. Кора головного мозга человека представляет собой плоский лист и свернута складками. Таким образом, можно сказать, что она обладает определенными топологическими свой-

ствами (участки, ответственные за близкие части тела, примыкают друг к другу и все изображение человеческого тела отображается на эту двумерную поверхность) [1].

Самоорганизующиеся карты могут использоваться для решения таких задач, как моделирование, прогнозирование, поиск закономерностей в больших массивах данных, выявление наборов независимых признаков и сжатие информации. Наиболее распространенное применение сетей Кохонена – решение задачи классификации без учителя, т. е. кластеризации.

Напомним, что при такой постановке задачи нам дан набор объектов, каждому из которых сопоставлена строка таблицы (вектор значений признаков). Требуется разбить исходное множество на классы, т. е. для каждого объекта найти класс, к которому он принадлежит. В результате получения новой информации о классах возможна коррекция существующих правил классификации объектов. К числу распространенных применений карт Кохонена относятся разведочный анализ данных и обнаружение новых явлений.

**Разведочный анализ данных.** Сеть Кохонена способна распознавать кластеры в данных, а также устанавливать близость классов. Таким образом, пользователь может улучшить свое понимание структуры данных, чтобы затем уточнить нейросетевую модель. Если в данных распознаны классы, то их можно обозначить, после чего сеть сможет решать задачи классификации. Сети Кохонена можно использовать и в тех задачах классификации, где классы уже заданы, тогда преимущество будет в том, что сеть сможет выявить сходство между различными классами [1].

**Обнаружение новых явлений.** Сеть Кохонена распознает кластеры в обучающих данных и относит все данные к тем или иным кластерам. Если после этого сеть встретится с набором данных, непохожим ни на один из известных образцов, то она не сможет классифицировать такой набор и тем самым выявит его новизну.

Таким образом, на большом наборе данных можно найти взаимосвязанные кластеры и выявить скрытые закономерности, которые аналитик сможет превратить в знания и, соответственно, повысить эффективность бизнес-процессов. Карты Кохонена изображают информацию в виде цветных карт.

Также для этих задач возможно использовать нейронные сети Хопфилда:

1. Качественное решение задачи определения значений полей БД, ассоциативно связанных с известными значениями других полей.
2. Решение задачи прогнозирования значений набора полей БД при заданных значениях другого набора полей.

Имея систему, схожую с ассоциативной памятью, а также формальные правила переноса информационного содержимого анализируемой БД в эту память, можно решить поставленную задачу. При этом используется ассоциативность такой системы и по значению некоторого фактора «ключа» извлекаются ассоциативно близкие значения других факторов.

Один из возможных путей реализации ассоциативной памяти состоит в том, чтобы построить распределенную динамическую систему или сеть из дискретных элементов, аттракторами которой являются типичные картины-образы. В настоящее время принято сопоставлять

различным образом, запомненным нейронной сетью, установившиеся режимы или аттракторы соответствующей динамической системы. Каждая такая картина будет обладать своей областью притяжения, и всякое начальное условие, представляющее собой какую-то допустимую картину, обязано попасть в одну из ее областей притяжения. С течением времени в ходе эволюции эта начальная структура трансформируется в наиболее близкую из хранящихся в памяти структур-аттракторов, а именно в ту, области притяжения которой она принадлежала. Следовательно, подавая на вход в качестве начального условия для такой распределенной системы некоторую структуру, мы будем осуществлять ее автоматическое распознавание, которое будет параллельным. В роли такой распределенной динамической системы предлагается использовать искусственную нейронную сеть [2].

Предлагаемое решение в общем виде выглядит следующим образом. Искусственная нейронная сеть обучается на записях анализируемой реляционной базы данных. В процессе обучения нейронная сеть становится гносеологической моделью, обучающей БД. Полученную таким образом модель пользователь может использовать для прогнозирования и исследования ассоциативных связей, скрытых в БД.

В качестве такой модели рекомендуется использовать сеть, представляющую собой конкретную реализацию динамической системы с ассоциативной памятью, предложенную Хопфилдом.

Поле факторов для данной задачи является содержание реляционной БД. В представлении совокупности факторов в виде содержания реляционной БД заключается первичная подготовка данных для решения поставленной задачи. Тем самым задаются структурные отношения, и задача сводится к определению семантической близости содержимого полей заданной структуры. Так как бинарные искусственные нейронные сети оперируют двоичными векторами, то требуется дополнительная обработка исходных данных с целью приведения к виду, представляемому таким вектором. Необходимый для искусственной нейронной сети вектор получается конкатенацией двоичных векторов, представляющих поля реляционной БД [2].

Каждое поле реляционной БД обобщенно может быть отнесено к одному из двух типов: числовое, символьное. Значение символьного поля заносится в соответствующий каждому полю словарь. Для того чтобы повысить эффективность процедур поиска значений в словаре и их кодирование, содержимое словарей ранжируется, повторяющиеся значения исключаются. Значения числовых полей представляются иначе. Диапазон значений каждого из числовых полей (к числовым полям относятся и те, которые содержат даты) разбивается на интервалы, а каждое конкретное значение представляется интервалом, к которому оно принадлежит. Точку на числовой оси можно представить вырожденным интервалом. Замена числовых значений интервалами обеспечивает большую гибкость представления. Аналогом словарей для числовых полей является перечень интервалов.

После того как были сформированы словари и наборы интервалов, они подвергаются кодированию. То есть каждому значению в словаре или интервалу в наборе ставится в соответствие двоичный код, представляющий впоследствии это значение или интервал в нейронной сети. Размерность кода (длина кода) для каждого словаря и набора (другими словами, для каждого поля) определяется мощностью множества разнообразных значений в словаре или наборе, а также способом кодирования. Различные варианты кодирования могут существенно сказываться на качестве работы ассоциативной памяти, представленной нейронной сетью Хопфилда, что подтверждается результатами макетного моделирования [2].

Формирование словарей и их кодирование является подготовительным этапом обучения нейронной сети. Каждая запись БД представляется в виде двоичного вектора и участвует в формировании весовых коэффициентов связей между формальными нейронами сети. Само обучение осуществляется в соответствии с правилом Хебба.

Из обучения желательно удалить повторяющиеся записи БД. Так как повторная запись вектора в ассоциативную память, представленную нейронной сетью, неблагоприятно сказыв-

вается на энергетическом ландшафте этой сети: удваивается глубина энергетического минимума, соответствующего такому вектору. Более глубокий минимум обычно имеет более широкую область притяжения, а это уменьшает области притяжения соседних минимумов и искажает соответствующие притягивающие векторы. В предельном случае это может привести к тому, что в системе останется всего один очень глубокий минимум энергии, область притяжения которого захватывает все возможные спиновые конфигурации. У системы формируется как бы «навязчивая идея», что, конечно, крайне нежелательно.

Таким образом, методы Data Mining могут пригодиться в нефтяной сфере, так как в силу ее специфики развита IT-область и многие компании имеют крупные БД, которые тяжело обработать статистическими методами. Тем не менее там могут содержаться знания, которые могут улучшить бизнес-процессы добычи, транспортировки, переработки нефти и газа, увеличить прибыль профильных банков и страховых компаний через нахождение знаний, которые будут способствовать минимизации издержек и увеличение прибыли. Также методы Data Mining можно использовать для определения выдавать ли кредит определенному человеку или более точно рассчитывать страховые риски на основании уже имеющейся информации.

*Prokhorenko N. A.*

## USE OF DATA MINING TECHNOLOGIES IN OIL INDUSTRY

*Surgut*

This article discusses the Data Mining methods that can be used in finding dependencies or knowledge in databases. In particular, the neural networks method and two types of neural networks used in Data Mining – Kohonen maps and Hopfield networks.

*Keywords: Data Mining, knowledge, databases, neural networks.*

### Список использованной литературы

1. Чубукова И. А. Data Mining : учеб. пособие. 2-е изд., испр. М. : Интернет-университет информационных технологий : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2008. 382 с. (Сер. «Основы информационных технологий»).
2. Сборник научных трудов НГТУ. 1999. № 3 (16). С. 56–63. URL: <http://insycom.ru/html/Articles/1999/Sbor99.pdf> (дата обращения: 16.04.2017).

УДК 004.8

*Рожков А. П., Иванов Ф. Ф.*

## МОДЕЛЬ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ, ОСНОВАННОЙ НА ЭКСПЕРТНОМ ЗНАНИИ И УГЛУБЛЕННОЙ ОБРАБОТКЕ ДАННЫХ О ПРОБЛЕМНОЙ ОБЛАСТИ

*г. Сургут*

В данной статье авторы рассматривают модель интеллектуальной информационной системы, построенной на основе многоагентной технологии, одним из элементов которой является виртуальный эксперт. Разработана структурная схема взаимодействия агентов системы с участниками приобретения, создания и использования нового знания.

*Ключевые слова: искусственный интеллект, многоагентная система, экспертная система, самообучение, виртуальный эксперт.*

Актуальной проблемой современности становится рост объемов информации, степени сложности описания систем и трудоемкости модификации схемы обработки данных. Интеллектуализация всех форм деятельности человека осуществляется с применением вычислительной техники экспертных и интеллектуальных систем (ЭС и ИИС). Привлечение экспертов и дальнейшая с ними работа является важной частью работы ЭС. Однако в силу человеческого фактора (нехватка времени, нежелание учиться новому) исследование проблемной области может быть затруднено [1]. Ставится задача усовершенствовать механизмы ЭС путем создания подсистемы «Виртуальный эксперт», обучающегося с помощью знаний, предоставленных экспертами. В качестве основы для ИИС была рассмотрена многоагентная технология.

Система, в которой несколько агентов могут общаться, передавать друг другу некоторую информацию, взаимодействовать между собой и решать поставленную задачу, называется многоагентной (далее – МАС). В МАС задачи (или подзадачи) распределены между агентами [3]. Многоагентные системы зародились на пересечении теории систем и распределенного искусственного интеллекта. С одной стороны, речь идет об открытых, активных, развивающихся системах, в которых главное внимание уделяется процессам взаимодействия агентов как причинам возникновения системы с новыми качествами. С другой стороны, достаточно часто МАС строятся как объединение отдельных интеллектуальных систем, основанных на знаниях. МАС обычно состоит из следующих основных компонент:

- множество организационных единиц, в котором выделяются: подмножество агентов, манипулирующих подмножеством объектов;
- множество задач;
- среда, т. е. некоторое пространство, в котором существуют агенты и объекты;
- множество отношений между агентами;
- множество действий агентов (например, операций над объектами).

По методам действия разделяют интеллектуальные и информационные агенты [2].

Интеллектуальные агенты представляют собой интеллектуальную конструкцию или программное обеспечение, которое осуществляет некоторый набор операций от имени пользователя или другой программы с определенной степенью независимости и автономии, таким образом, используют определенные знания и представления для достижения цели. Интеллектуальные агенты содержат наборы правил, которые позволяют осуществлять самоорганизацию. Интеллектуальный агент для достижения своих целей способен на гибкие автономные действия. Его характеризуют три свойства: реактивность, проактивность и социальная активность.

Под информационным агентом понимается информационная конструкция, которая может воспринимать внешний мир и воздействовать на него с помощью заданного алгоритма действий. Информационные агенты содержат набор алгоритмов. В информационных агентах выделяют программные агенты [4].

Программные агенты – информационные конструкции, существующие только в программной среде. Они выполняются асинхронно в соответствии с предписанной целью, располагают индивидуальной моделью внешнего мира, которую строят на основе поступающей информации, а также благодаря обучению способны адаптироваться к изменениям в окружении. Агенты можно рассматривать как элементы сложной системы, которой является многоагентная система.

По степени внутреннего представления картины мира и способу реализации поведения выделяют два типа агентов – реактивные и интеллектуальные [5].

Реактивные агенты имеют примитивную внутреннюю модель внешнего мира. Для них характерно использование концепции состояния и простейших правил поведения типа «стимул – реакция». Реактивные агенты широко применяются в автоматных моделях. Они могут

использовать правила, алгоритмы, темпоральные логики. Их достоинствами являются прозрачность и верифицируемость.

Интеллектуальные агенты отличаются тем, что имеют встроенную базу знаний (далее – БЗ) (правил) и развитый механизм планирования действий. Также они обладают самостоятельной моделью внешнего мира и способны принимать решения на этой основе. Они постоянно выполняют такие функции, как интерпретация восприятия внешнего мира, решение проблемы, формулировка вывода и определение действия. Они направлены на восприятие динамических условий в окружающей среде. Их действие влияет на условия в этой среде, они способны на рассуждения.

При использовании технологии МАС проектируемый «Виртуальный эксперт» будет одной из трех автономных подсистем со своими задачами, функциями и связями с другими компонентами системы. Эксперт по знаниям (администратор) определяет первоначальные условия для верификации экспертов и методов обработки данных. БД и БЗ могут физически находиться на одном носителе. Агенты должны быть независимы от БД и БЗ, что приведет к их усложнению либо к существенным ограничениям составления интерфейсов эксперта.

На рисунке представлена схема проектируемой ИИС, где «Анализатор входных данных», «Расчетно-аналитический блок» и «Виртуальный эксперт» являются агентами. С системой взаимодействуют «Пользователь», «Эксперт» и «Администратор». Интегрированная база данных (далее – ИБД) хранит данные, предоставленные экспертами, а также статистику по проблемной области, которую подразделяют на две части: для построения модели и для проверки ее адекватности. БЗ проектируется на основе продукционной модели знаний. Стрелками обозначена связь и направление передачи управляющих сигналов или потоков данных между объектами системы.

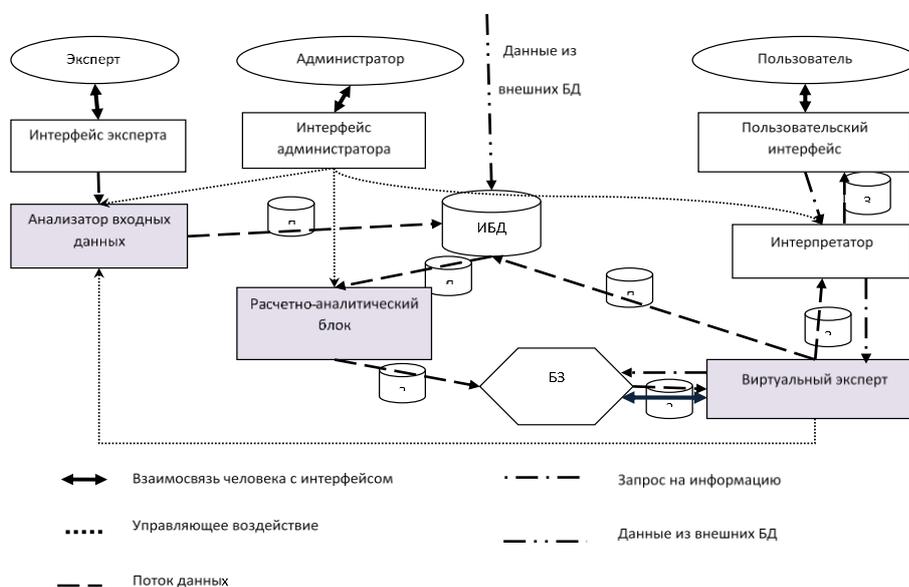


Рис. Общая структура ИИС

«Анализатор входных данных» является реактивным агентом. Данная подсистема проводит первоначальную обработку экспертных данных: проверка входных данных по критериям, поставленным администратором системы, и подготовка их к записи в ИБД. Функции анализатора входных данных:

1. Проверка компетентности экспертов.
2. Блокировка дублирования данных.
3. Проверка на непротиворечивость.

После достаточного развития БЗ подсистема «Виртуальный эксперт» также участвует в формировании ограничений на вход в систему.

«Расчетно-аналитический блок» является информационным агентом, который извлекает знания из предоставленных экспертами данных и имеющейся статистике по проблемной области. Основные функции данной подсистемы:

1. Обработка экспертных данных, цель – сокращение пространства признаков, нахождение числовых значений коэффициентов функции или описание характера ее поведения.
2. Нахождение математической модели предметной области с помощью статистических и экспертных данных.
3. Проверка адекватности полученной математической модели с помощью контрольной выборки.

«Виртуальный эксперт» является интеллектуальным агентом, который участвует в создании новых знаний из уже имеющихся в БЗ с помощью методов обучения без учителя – кластеризация, поиск ассоциативных правил и фильтрация выбросов. Также после достаточного развития (определяется администратором системы) подсистема будет формировать новые условия на проверку экспертов в агенте «Анализатор входных данных», предоставлять новые данные в БД и обрабатывать запросы пользователя. Основные функции подсистемы:

1. Обслуживание пользователя знаниями из БЗ по запросу.
2. Формирование и передача данных в ИБД в связи с запросом пользователя.
3. Участие в оценке экспертов через анализатор входных данных.
4. Самообучение на основе знаний в БЗ.

В конечном итоге «Виртуальный эксперт» может заменить экспертную группу и обеспечить систему новыми знаниями до существенных изменений в области знаний в предметной области с последующим набором новой экспертной комиссии.

Дальнейшее исследование данной системы требует реализации агента «Виртуальный эксперт» и проверки методов извлечения знаний из существующей БД.

*Rozhkov A. P., Ivanov F. F.*

## **MODEL OF THE INTELLIGENT INFORMATION SYSTEM BASED ON EXPERT KNOWLEDGE AND IN-DEPTH PROCESSING OF DATA ON THE PROBLEM AREA**

*Surgut*

This article discusses the model of the intelligent information system based on the multi-agent technology with the element of the virtual expert. The authors developed the structural scheme of the system of interaction between agents and participants of acquisition, creation, and use of the new knowledge.

*Keywords: artificial intelligence, multi-agent system, expert system, self-study, virtual expert.*

### **Список использованной литературы**

1. Анохин А. Н. Методы экспертных оценок : учеб. пособие. Обнинск : Изд-во ИАТЭ, 1996. 148 с.
2. Булгаков С. В. Применение мультиагентных систем в информационных системах: // Перспективы науки и образования : науч. журн. 2015. Вып. 17.
3. Граничин О. С. Разработка мультиагентных систем // ИНТУИТ: сетевой ресурс. 2014. URL: <http://www.intuit.ru/studies/courses/10618/1102/lecture/17394?page=1> (дата обращения: 14.04.17).

4. Кияев В. В. Управление на базе мультиагентных систем // ИНТУИТ: сетевой ресурс. 2015. URL: <http://www.intuit.ru/studies/courses/13833/1230/lecture/24081> (дата обращения: 14.04.17).

5. Новиков Ф. А. Искусственный интеллект: представление знаний и методы поиска решений : учеб. пособие. СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2010. 240 с.

УДК 004.056

*Сабиров Р. А., Увайсов С. У.*

## **ПРИМЕНЕНИЕ СРЕДСТВ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В ПРОМЫШЛЕННЫХ СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ**

*г. Сургут*

В статье авторы анализируют причины, которые привели к текущей ситуации информационной безопасности в Industrial Control System. Рассмотрена система управления информацией и событиями безопасности и ее применение для отражения атак на архитектуру ICS.

*Ключевые слова:* информационная безопасность, Industrial Control System, автоматизированное рабочее место, Supervisory Control And Data Acquisition, Intrusion Detection System, Host-based intrusion detection system, Information Technology, системы управления информацией и событиями безопасности.

В настоящее время наблюдается тенденция к устойчивому росту злоумышленных действий на Industrial Control System (далее – ICS). В процессе функционирования ICS сталкиваются с проблемами обеспечения информационной безопасности (далее – ИБ) [1].

Причины, приведшие к текущей ситуации информационной безопасности в ICS:

- При проектировании систем ICS не учитывались требования информационной безопасности. Акцент был сделан на достижение высокой производительности систем, снижение расходов на техническое обслуживание и минимизацию времени простоя.

- В отличие от IT-инфраструктур, ICS построены на устаревших компонентах и устройствах.

- Разнородность и фрагментарное внедрение компонентов, разных производителей в одной ICS [5].

- Средства обеспечения информационной безопасности ICS не могут иметь активную защиту, которая при обнаружении вредоносного трафика или состояния полностью блокирует его работу.

Внутренние атаки начинаются с установки вредоносного ПО в один из компонентов ICS (ими могут быть компьютеры, автоматизированное рабочее место (далее – АРМ), Programmable Logic Controller (PLC), Human Machine Interface (HMI), серверные станции, Supervisory Control And Data Acquisition (SCADA) и т. д.) (см. рисунок). Дальнейшие действия атаки будут направлены в сторону целевого устройства [4].

Внешние атаки направлены на наружный слой защиты – браузеры, межсетевые экраны (МЭ), однонаправленные шлюзы безопасности (ОШД), каналы передачи данных (КПД), брандмауэры и межсетевое пространство Information Technology (IT) и ICS.

Оба варианта векторов атак приводят к аномальному функционированию ICS, которое можно выявить путем проведения анализа полученных показаний с зараженных устройств.

Системы управления информацией и событиями безопасности (СУИСБ) получают сообщения как из ICS, так и IT-архитектур. СУИСБ предназначены для анализа информации,

поступающей от различных систем (Data Leak Prevention (DLP), IDS, SCADA, HMI и т. д.) (см. рисунок), и дальнейшего выявления отклонения от нормального функционирования. Этот способ производит анализ данных журналов, содержащих отметки времени записи и передачи данных. Log-журналы должны использовать зашифрованный метод передачи данных для предотвращения атак Man in the middle (MitM).

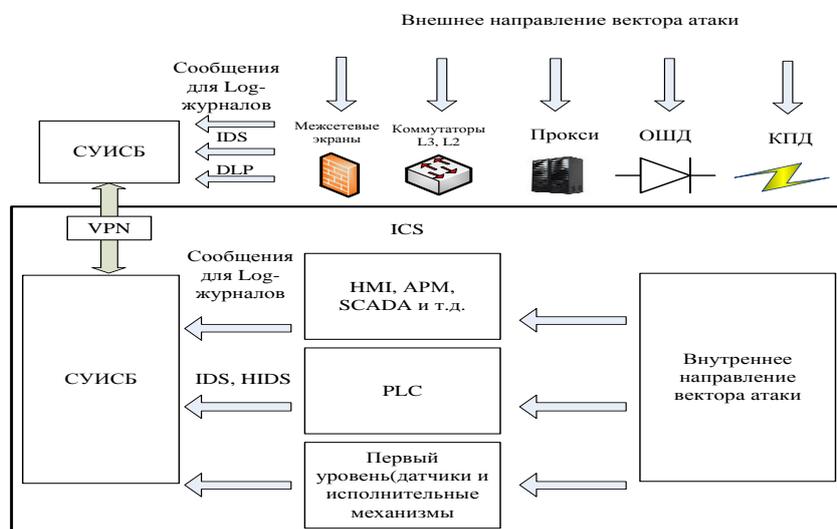


Рис. Схема применение СУИСБ в ICS

Процесс выявления вредоносного воздействия должен соответствовать обязательным принципам защиты (обеспечение «конфиденциальности», «доступности» и «целостности») информации и не вмешиваться в управление технологическим процессом. Промышленные предприятия, в которых используются СУИСБ, будут получать сведения из log-журналов мгновенно, следовательно, обнаружение атак начнет осуществляться быстрее и точнее. Если бы на Иранской атомной электростанции (АЭС) в Натазе функционировали и мониторились журналы управления событиями, указывающие на неверные данные на мониторах HMI, процесс обнаружения атаки (Stuxnet 2010) мог бы быть быстрее.

Осуществление атаки «подмены привилегий» доверенного объекта с присвоением прав доступа возможно в системах, где используются нестойкие алгоритмы идентификации и аутентификации. Учитывая найденные уязвимости в компонентах ICS, опубликованные в докладе Positive Technologies 2016, можно предположить, что ICS находится в группе риска [2].

Использование СУИСБ должно предотвратить несанкционированный доступ к дистанционному управлению компонентов ICS, осуществлять запись всех сетевых коммуникаций и других вредоносных действий. В результате оповещение специалиста по информационной безопасности об обнаружения вредоносной команды (удаления каталога, передача файлов с внешнего носителя или намеренного переконфигурирования межсетевого экрана) будет осуществляться мгновенно.

Сегодня злоумышленники уже не являются обычными энтузиастами в области IT, а являются хакерами, финансируемыми государствами [3]. Кроме того, нужно учитывать, что инсайдером может оказаться сотрудник, который готов осуществить вредоносные воздействия на архитектуру ICS. Для того чтобы минимизировать последствия, связанные с человеческой деятельностью, организации должны в равной степени учитывать риски в результате вредоносных атак внешних и внутренних злоумышленников, а также риски от неумышленных действий своих сотрудников.

Специалисты безопасности ICS для минимизации рисков должны обратить внимание на следующие инциденты в журналах событий:

- аномальное состояние работы системы, вызванное аппаратным сбоем или ошибкой программного обеспечения;
- отклонение от нормальной работы, вызванной ошибкой, произведенной уполномоченным лицом;
- отключение или повреждение оборудования, вызванное внешним или внутренним воздействием в ICS.

СУИСБ для предотвращения последствий, вызванных ошибками сотрудников, дополнительно должны отслеживать «необычные» команды, такие как доступ к библиотеке, загрузка файлов, а также изменения в настройке системы. Развернутые инструменты отслеживания человеческого поведения могут создать сильную защиту, в отличие от стандартных средств осуществления пассивной защиты (IDS).

Таким образом, атаки, инициированные сотрудниками, чаще всего используют известные ранее уязвимости, которые были вызваны недостаточной защищенностью архитектуры, а также ошибками ПО. В связи с этим у злоумышленников есть возможность получения несанкционированного доступа к системе. Организации каждый день учатся противостоять новым угрозам ICS: атакам на внешнюю и внутреннюю IT и ICS-архитектуру, атакам, связанным с подменой привилегии, Advanced Persistent Threat (APT), атаками нулевого дня, предотвращением неумышленных, но при этом вредоносных действий сотрудников.

Атаки на ICS могут вызвать аварийный останов или повреждение ICS. Для обеспечения информационной безопасности критически важной инфраструктуры не существует универсального решения, поэтому требуется рассматривать вопрос о развертывании нескольких мер, параллельно работающих систем информационной защиты, таких как СУИСБ, IDS, HIDS.

*Sabirov R. A., Uvaysov S. U.*

## **APPLICATION OF INFORMATION SECURITY FACILITIES IN AUTOMATED PROCESS CONTROL SYSTEMS**

*Surgut*

The article analyses the reasons that led to the current situation of information security in ICS (Industrial Control System). The authors consider the information and security event management system, as well as its application for repelling attacks on the architecture of ICS.

*Keywords: Information security, Industrial Control System, automated workstation (ARM), Supervisory Control and Data Acquisition, Intrusion Detection System, Host-based intrusion detection system, Information Technology, Information and Security Event Management System.*

### **Список использованной литературы**

1. Цыбулин А. М. Архитектура автоматизированной системы управления информационной безопасностью предприятия // Известия ЮФУ. Технические науки. Ростов-на-Дону : Изд-во ЮФУ, 2014. С. 58.
2. Безопасность промышленных систем в цифрах // Positive Technologies URL: [http://www.ptsecurity.ru/download/SCADA\\_analytics\\_russian.pdf](http://www.ptsecurity.ru/download/SCADA_analytics_russian.pdf) (дата обращения: 14.04.17).
3. Случаи кибератак на промышленные системы последних дней (Германия, Южная Корея) // SecurityLab.ru. URL: <http://www.securitylab.ru/blog/personal/shipulin/120344.php> (дата обращения: 12.04.17).
4. Угрозы информационной безопасности в АС // Ashers Attic. URL: <http://asher.ru/security/book/its/05> (дата обращения: 15.04.17).

5. Еременко В. Т., Мишин Д. С., Паромохина Т. М., Еременко А. В., Еременко С. В. Направления и проблемы интеграции автоматизированных систем управления для предприятий с непрерывным технологическим циклом // Информационные системы и технологии. Орел : Пресса России, 2014. С. 51.

УДК 005.92:004.8:004.9

*Семенов К. Г.*

## **ВОЗМОЖНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ И МОДЕЛЬ ИНФОРМАЦИОННОГО РОБОТА В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ ДОКУМЕНТАМИ DIRECTUM**

*г. Сургут*

В статье автор рассматривает построение модели программного робота в системе управления документами DIRECTUM, обеспечивающего автоматизацию бизнес-процессов документооборота, основанное на внесении в платформу системы новой функциональности по организации взаимодействия с этой системой по подобию и вместо человека. Предложенное расширение платформы системы DIRECTUM позволит получить ряд новых положительных свойств системы управления документами, таких как:

- 1) возможность не изменять программное обеспечение по реализации бизнес-процесса, а использовать уровень программного робота, этот уровень будет имитировать действия человека, выполняющего эту работу;
- 2) возможность «подключать – отключать» робота, пробуя, как идет процесс;
- 3) универсальность подхода обеспечит возможность в одних случаях использовать программных роботов, а в других – эту работу будут выполнять люди;
- 4) увеличение производительности труда сотрудников, исключение ошибок ручного ввода и корректировки данных.

*Ключевые слова: программный робот, инфробот, модель, предметно-ориентированное программирование, система управления документами, СУД DIRECTUM.*

Робот – автоматическое устройство, созданное по аналогии с живым организмом, предназначенное для осуществления производственных и других операций, которое действует по заранее заложенной программе и получает информацию о внешнем мире от датчиков. Робот самостоятельно осуществляет производственные и иные операции, обычно выполняемые человеком. Внешний вид и конструкция современных роботов могут быть весьма разнообразными.

Программный робот, или бот, – специальная программа, выполняющая автоматически и/или по заданному расписанию какие-либо действия через те же интерфейсы, что и обычный пользователь программных систем [1].

Инфробот – это организационный и программный объект, действующий в среде информационных систем управления предприятием и выполняющий ответственную работу за человека или вместе с ним [2].

Хочется отметить, что основное отличие робота от других автоматических устройств – это выполнение операций в «человеческом» стиле, т. е. прототипом выполняемых действий робота являются человеческие действия. Это касается как электронно-механических устройств, так и чисто «виртуальных» устройств, таких как программные роботы, у которых даже нет отдаленного подобия «руки» либо каких внешних признаков, в которых бы обнаруживалось «человекоподобие».

На основании этого можно сформулировать еще одно определение робота: «Программный робот – это программа, способная заменить человека-пользователя полностью или частично во всей автоматизированной системе или в ее выделенной части».

### **Программные предметно-ориентированные компоненты системы DIRECTUM**

Система DIRECTUM – корпоративная система электронного документооборота и управления взаимодействием, нацеленная на повышение эффективности работы всех сотрудников организации в разных областях их совместной деятельности [3].

Предметно-ориентированный инструмент разработки IS-Builder позволяет создавать и дорабатывать компоненты системы посредством визуальной настройки их форм и задания вычислений на встроеном языке ISBL. Он предназначен для адаптации системы к нуждам предприятия.

Наличие в системе возможности доступа к элементам управления на уровне объектной модели позволяет организовать управление документами по аналогии с «человеческим взаимодействием», но при этом нет необходимости взаимодействовать через пользовательские интерфейсы. Напротив, «бот», ввиду отсутствия возможности получения доступа к объектам системы на других уровнях, функционирует с использованием пользовательского интерфейса. Использование объектной модели при реализации прикладного программного робота позволит достаточно легко обеспечить подобие «человеческого подхода» в работе с системой управления документами.

### **Общие требования к созданию новой компоненты «робота» системы DIRECTUM**

Робот в системе DIRECTUM представляет собой фоновый процесс. Задача – это объект системы DIRECTUM, предназначенный для автоматизации деловых процессов организации. В объекте системы «Задача» содержится информация о работах, которые необходимо выполнить, задается порядок их выполнения, а также о пользователях, которые будут их выполнять. В рамках задачи может быть создано множество заданий. Задание – работа в пределах задачи, которую необходимо выполнить одному из исполнителей задачи. Задания создаются автоматически в процессе обработки маршрутов «задач».

Робот в системе DIRECTUM в описываемой модели однозначно идентифицируется пользователем. Назначение (роль) робота в данной модели – это робот-помощник конкретного пользователя. При этом в системе DIRECTUM для одного пользователя может работать один робот. Для модели в DIRECTUM может присутствовать два вида робота:

1. **Олицетворенный** – это робот, который работает от пользователя, у которого есть работник. Работник – запись справочника «работники», в системе DIRECTUM «работник» соответствует конкретному сотруднику предприятия.

2. **Обезличенный** (системный) – это робот, который работает от пользователя, у которого нет работника. «Пользователи» без «работника» осуществляют идентификацию, как правило, системных и служебных процессов в системе DIRECTUM.

Полномочия робота определяются уровнем прав пользователя в системе DIRECTUM. Действия робота нет необходимости отличать от действий пользователя.

Принцип работы робота можно представить следующим образом: он выполняет работы в СУД DIRECTUM по типу обычного пользователя. Основным моментом выполнения любой работы является начало ее выполнения (в нашем случае – инициализации и старта программы). Для определения условий и момента выполнения той или иной функциональности (запуска определенных программ с заранее определенными параметрами), необходимо обратиться к «прототипу робота» – человеку, «сотруднику предприятия на производстве».

На производстве сотрудник предприятия выполняет различные действия, работы. Эти действия определены, как правило, его должностными обязанностями, должностные же обязанности сведены в его должностную инструкцию. На основе должностных обязанностей сотрудник предприятия самостоятельно либо при помощи руководителя формирует план работ на какой-нибудь период. Этот план определяет сроки выполнения работ, а также условия для их выполнения (параметры выполнения).

Работник предприятия в производственном процессе руководствуется выдаваемыми оперативными заданиями. Это значит, что любая работа инициируется информацией, поступающей от руководителя работнику.

Для робота необходимо определить два варианта создания условий для начала выполнения тех либо иных действий. Этими вариантами будут инициализация действий по расписанию и инициализация по обрабатываемым роботом входящих сообщений. Расписания действий, иначе, планировщик заданий, широко распространен во многих прикладных бизнес-системах. Обработка входящих сообщений в прикладной информационной системе предприятия должна быть реализована не только на взаимодействии между пользователями, но и пользователями и системой.

В системе DIRECTUM на уровне базового функционала реализован механизм ЗЗУ (задачи, задания, уведомления). Данный механизм является основным для осуществления взаимодействия пользователя с системой DIRECTUM. Этот механизм выгодно использовать для реализации запуска робота от входящих сообщений.

Варианты инициализации выполняемой работы роботом:

1. План (список) работ по расписанию. Прототипом этого варианта может являться планировщик заданий в Windows.

2. Инициализация по анализу задач, заданий, уведомлений пользователя. Прототипом для реализации могут являться правила обработки писем в Outlook. При этом олицетворенный робот может выполнять только задания своего пользователя или по механизму «замещения». Обезличенный пользователь сможет выполнять любые задания в системе DIRECTUM.

Функциональность самих инициализированных действий робота в системе DIRECTUM выгодно осуществить посредством старта задачи по типовому маршруту. Немаловажное отличие от выполнения аналогичной функции пользователем вручную – это то, что задач может быть инициировано множество и по различным условиям, и они будут выполняться одновременно, так как механизм их выполнения в системе DIRECTUM является асинхронным.

Логика задачи определяется логикой типового маршрута (ТМ). Технология разработки ТМ в DIRECTUM хорошо отработана и позволит реализовать любую функциональность.

Предполагаемые требования, предъявляемые к роботу:

1. Может иметь срок жизни: ограниченный (с ... по ...) или неограниченный.  
2. Может иметь график работы.  
3. Своего робота пользователь может запустить или остановить в любой момент.  
4. Пользователь может настроить функциональность своего робота путем замены «правил инициализаций» выбором из predetermined (из справочника).

5. Варианты «правил инициализаций и функциональности выполняемых действий» создаются программистом по техническому заданию.

6. ТМ для задачи, выполняемой роботом, может быть из состава уже реализованных в рамках тех или иных бизнес-процессов, так и специально разработанные под робота для осуществления той или иной функциональности выполняемой работы.

7. Пользователь должен иметь полную возможность также выполнить ряд действий вручную в системе, независимо от робота.

### **Описание модели программного робота**

На рис. 1 изображена диаграмма контекста программного робота в системе DIRECTUM. Данная модель показывает, что робот является частью системы DIRECTUM. Пользователь имеет возможность управлять роботом. В функции управления роботом входит также возможность запустить и остановить его в любой момент, тем самым передавая ему определенные обязанности либо возвращая их себе.

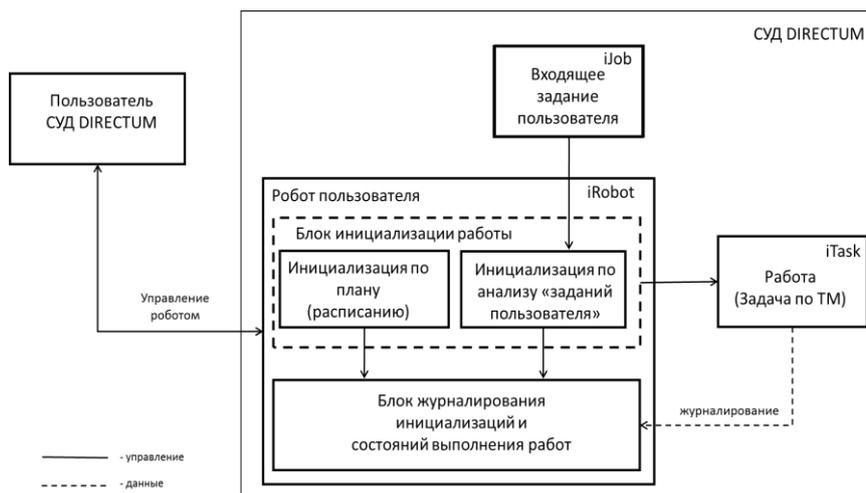


Рис. 1. Диаграмма контекста программного робота в системе DIRECTUM

Также пользователь может изменять настройку робота, добавляя либо удаляя определенные планы работ, с заложенной в них функциональностью.

Обработка входящих заданий осуществляется посредством обработки правил. Правила также могут добавляться либо удаляться пользователем из настроек робота. В каждом правиле обработки входящих заданий, как и в расписании, присутствует функциональность обработки этого правила, расписания. Данные функции управления роботом отражены на диаграмме взаимодействия рис. 2.

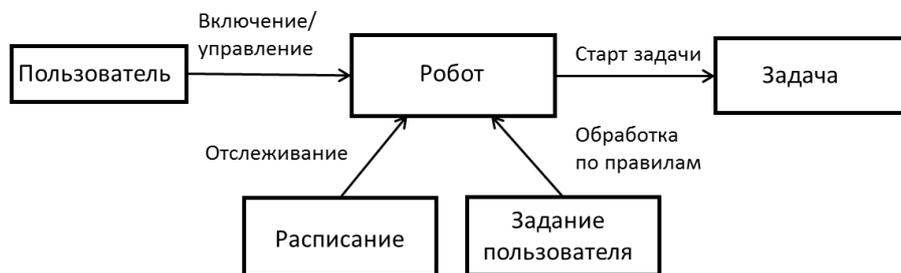


Рис. 2. Диаграмма взаимодействия программного робота

Выполнение действий расписания либо правил осуществляется посредством задачи, выполняемой по типовому маршруту. Типовой маршрут является атрибутом расписания и правила обработки входящих заданий. Использование задачи для обработки функциональности робота дает такие преимущества, как: асинхронность выполнения от работы робота, который после запуска задачи продолжает отслеживать расписание и производить обработку входящих заданий по каждому правилу.

На рис. 3 изображена диаграмма состояний робота. Данная диаграмма показывает, что робот будет находиться в состоянии ожидания, пока не возникнет момент времени, удовлетворяющий расписанию, либо придет входящее задание пользователю, от которого работает пользователь.

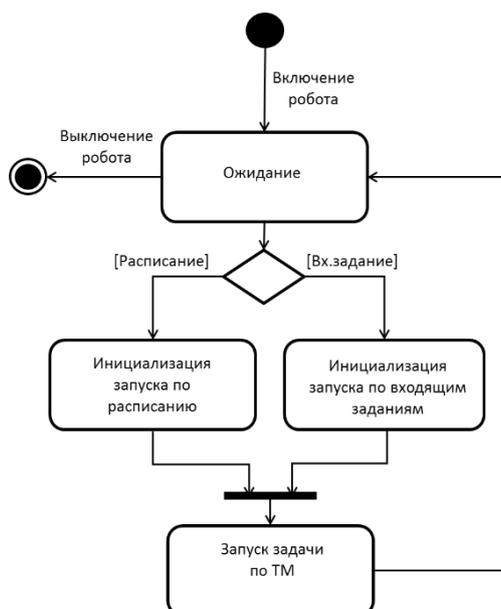


Рис. 3. Диаграмма состояний программного робота в системе DIRECTUM

По этим событиям произойдет определение параметров запуска функциональности на основе задачи по типовому маршруту, далее произойдет запуск задачи. После запуска задачи робот перейдет в режим ожидания до следующего события.

Таким образом, представленная модель может быть реализована в системе DIRECTUM либо с использованием прикладного языка ISBL системы DIRECTUM, либо внешним к системе прикладным объектом (сервисом), либо непосредственно компонентой системы DIRECTUM. Каждый из этих вариантов реализации будет иметь и достоинства, и недостатки (дополнительная нагрузка на систему, простота исполнения и т. п.). Хотелось отметить, что представленная модель робота позволит решать следующие задачи:

- 1) выполнять всю функциональность пользователя в СУД DIRECTUM, не связанную с интеллектом;
- 2) робот пользователя сможет сосуществовать параллельно с пользователем, выполняя часть его функциональности;
- 3) данная модель может реализовывать любые схемы взаимодействия робот-пользователь (линейные, иерархические, циклические);
- 4) постепенно наращивая функциональность робота, возможно осуществить полное вытеснение пользователя, не меняя структуру бизнес-процесса;
- 5) наличие робота у пользователя позволит снизить нагрузку с работника, а соответственно, позволит увеличивать производительность выполняемых работ;
- 6) робот позволит исключить выполнение действий человеком в выполняемых им работах;
- 7) трудоемкость реализации робота для конкретного пользователя в данной модели не превысит объема изменений, вносимых в программное обеспечение для реализации функциональности бизнес-процесса в «классической реализации», и не потребует изменения (модификации) бизнес-процесса;
- 8) использование данного программного робота позволит исследовать бизнес-процесс на предмет избыточности и оптимальности; при этом для исследования нет необходимости изменять сам бизнес-процесс.

*Semenov K. G.*

## **ROBOT SOFTWARE MODEL IN THE DOCUMENTS MANAGEMENT SYSTEM DIRECTUM**

*Surgut*

The article describes the construction of a model of the software robot in the document management system DIRECTUM, which provides automation of business processes workflow. It based on the introduction of new functionality system of interaction with it in the image and instead of the person into the platform. The proposed expansion of DIRECTUM system platform will provide a number of new positive properties of a document management system such as:

- 1) the ability not to alter implemented software of the business process. It has the ability to use the software of the robot level and therefore simulate the actions of the person who performs the work;
- 2) the ability to "connect – disconnect" the robot and to monitor a process;
- 3) universal approach will allow using software robots in some cases, and people doing the job in other;
- 4) the increase of employee productivity, the elimination of manual data entry and error correction.

*Keywords: software robot, information robot, model, object-oriented programming, document management system, DIRECTUM.*

### **Список использованной литературы**

1. URL:[http://www.krugosvet.ru/enc/nauka\\_i\\_tehnika/tehnologiya\\_i\\_promyshlennost/RO-BOT.html](http://www.krugosvet.ru/enc/nauka_i_tehnika/tehnologiya_i_promyshlennost/RO-BOT.html) (дата обращения: 12.10.2016).
2. Инфороботы в архитектуре Digital Real-Time Enterprise : сб. ст. / под ред. Р. Д. Гимранова. М. 2016.
3. Directum – корпоративная система электронного документооборота [Электронный ресурс]. URL: <http://www.directum.ru/315540.aspx> (дата обращения: 12.10.2016).
4. Система электронного документооборота и управления взаимодействием. Объектная модель IS-Builder. Компания DIRECTUM. 2013. 597 с.

УДК 004.6.05

*Сиднев С. М., Острейковский В. А.*

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ОПТИМИЗАЦИИ ВРЕМЕНИ ИСПОЛНЕНИЯ ИТ-ИНЦИДЕНТОВ В СЛОЖНЫХ КОРПОРАТИВНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ**

*г. Сургут*

В статье авторы рассматривают математическую модель, минимизирующую общее время завершения ИТ-инцидентов, взвешенное на основе их приоритетов.

*Ключевые слова: ИТ-инцидент, назначение, планирование.*

По мере возрастания роли информационных технологий в компании, растет и потребность в обеспечении хорошего уровня сервиса, обеспечении максимальной доступности ИТ-услуг. Под ИТ-услугой следует понимать услугу, ориентированную на удовлетворение потребностей компании (бизнеса) в эффективном функционировании и развитии путем поддержания и совершенствования ИТ-инфраструктуры [3]. Бизнес-пользователь должен иметь возможность получить решение своих проблем, если они возникают, как можно быстрее, а также работать в любое время.

Управление инцидентами – это процесс, с помощью которого службам технической поддержки удается восстановить нормальное функционирование ИТ-услуг после их сбоя. Качество и эффективность разрешения ИТ-инцидентов в крупных корпорациях могут быть повышены за счет оптимизации времени их разрешения, а также за счет оптимизации времени назначения ИТ-инцидента операторам служб технической поддержки [3].

В статье предлагается модель линейного программирования, минимизирующая общее время завершения ИТ-инцидентов, взвешенное на основе их приоритетов. Основное влияние на подготовку модели оказала работа [4], предлагающая математическую модель распределения и планирования спасательных подразделений после стихийных бедствий.

**Подготовка модели.** В нашей формулировке в начальный момент времени доступен набор из  $n$ -инцидентов, которые назначаются сотрудникам одним центральным агентом. Также, если сотрудник начинает обрабатывать инцидент, то он должен завершить обработку этого инцидента без перерыва на обработку других. Очевидно, что из всего набора инцидентов в первую очередь необходимо решать инциденты с более высоким приоритетом, соответственно, имеющие больший вес.

В реальной жизни ИТ-инциденты поступают в службу поддержки в разные моменты времени и тот факт, что в начальный момент времени необходимо иметь набор инцидентов, может показаться недостатком нашего подхода. Однако это не так. Покажем простой пример, почему может быть лучше подождать определенное время пока не наберется пул инцидентов, вместо того, чтобы сразу назначать инциденты сотрудникам по мере их поступления. Одна из причин заключается в том, что часто все сотрудники в настоящее время заняты и, следовательно, нет никакой потери времени при накоплении инцидентов, прежде чем назначить их исполнителям. При этом даже в случае, когда некоторые сотрудники готовы обработать инцидент немедленно, может быть лучше (с точки зрения общего взвешенного времени завершения) сначала собрать несколько инцидентов и уже затем назначить их исполнителям. Рассмотрим сценарий, в котором служба поддержки состоит только из одного сотрудника.

Предположим, что в начальный момент времени (в 0 минут) поступил инцидент со средним приоритетом и соответствующим весом 4. Время его решения составляет 20 минут. Второй инцидент поступил через 10 минут. Он имеет очень высокий приоритет и соответствующий вес 16. Время его решения составляет 30 минут. Если сразу при поступлении назначить первый инцидент сотруднику, то ему понадобится 20 минут, после чего он сможет приступить к решению второго инцидента.

Таким образом, общее взвешенное время завершения составит  $4 \cdot 20 + 16(20 - 10 + 30) = 720$  минут. Если подождать появления второго инцидента и запланировать (сначала решить второй инцидент, а только потом первый), то общее взвешенное время завершения составит  $16 \cdot 30 + 4(30 + 20) = 680$  минут. Конечно, данный пример может быть адаптирован для гораздо более сложных сценариев.

Определения, необходимые для формулирования математической модели:

$I := \{1, \dots, n\}$  – набор всех ИТ-инцидентов. При этом  $i, j \in I$ .

$K := \{1, \dots, m\}$  – набор штатных сотрудников службы поддержки. При этом  $k \in K$ .

$T_j^k \in \mathbb{R}^{\geq 0}$  – время, необходимое сотруднику  $k$ , для решения инцидента  $j$ .

$T_j^k \in \mathbb{R}^{\geq 0}$  – время, необходимое сотруднику  $k$ , для реагирования на инцидент  $j$ .

$\theta_j^k \in \mathbb{R}^{\geq 0}$  – время, необходимое для достижения сотрудником  $k$  места, в котором инцидент  $j$  может быть обработан. Не зависит от инцидентов, обработанных перед  $j$ , так как считаем, что сотруднику всегда нужно вернуться на рабочее место для получения следующего инцидента.

$\omega_j$  – вес инцидента  $j$ , зависящий от уровня его приоритета. Чем выше приоритет, тем больше вес инцидента.

$T_j^{react\max}$  – максимальное приемлемое время до начала реакции на инцидент  $j$ , зависящее от уровня его приоритета.

$T_j^{comp\max}$  – максимальное приемлемое время до предоставления решения на инцидент  $j$ , зависящее от уровня его приоритета.

Такие времена могут быть предложены, например, IT Infrastructure Library [2].

Также обозначим следующие переменные:

$$cap_j^k = \begin{cases} 1, & \text{если сотрудник } k \text{ способен обработать инцидент } j \\ 0, & \text{иначе} \end{cases}$$

$$X_{ij}^k = \begin{cases} 1, & \text{если инцидент } i \text{ исполняется сотрудником } k \text{ непосредственно перед инцидентом } j \\ 0, & \text{иначе} \end{cases}$$

$$Y_{ij}^k = \begin{cases} 1, & \text{если инцидент } i \text{ исполняется сотрудником } k \text{ (в любое время) перед инцидентом } j \\ 0, & \text{иначе} \end{cases}$$

**Математическая модель.** С указанными выше обозначениями можно представить следующую модель линейного программирования:

$$(1) \sum_{j=1}^n \omega_j \sum_{k=1}^m \left( \sum_{i=0}^n (T_j^k + \theta_j^k) X_{ij}^k + \sum_{l=1}^n (T_l^k + \theta_l^k) Y_{lj}^k \right) \rightarrow \min$$

при следующих условиях:

$$(2) \sum_{i=0}^n \sum_{k=1}^m X_{ij}^k = 1, \quad j = 1, \dots, n;$$

$$(3) \sum_{j=1}^{n+1} \sum_{k=1}^m X_{ij}^k = 1, \quad i = 1, \dots, n;$$

$$(4) \sum_{j=1}^{n+1} X_{0j}^k = 1, \quad k = 1, \dots, m;$$

$$(5) \sum_{j=0}^n X_{j,n+1}^k = 1, \quad k = 1, \dots, m;$$

$$(6) Y_{il}^k + Y_{lj}^k - 1 \leq Y_{ij}^k, \quad i = 0, \dots, n, \quad j = 1, \dots, n+1, \\ k = 1, \dots, m, \quad l = 1, \dots, n;$$

$$(7) \sum_{i=0}^n X_{il}^k = \sum_{j=1}^{n+1} X_{lj}^k, \quad l = 1, \dots, n, \quad k = 1, \dots, m;$$

$$(8) X_{ij}^k \leq Y_{ij}^k, \quad i = 0, \dots, n, \quad j = 1, \dots, n+1, \quad k = 1, \dots, m;$$

$$(9) \sum_{k=1}^m \sum_{i=1}^n Y_{ii}^k = 0;$$

$$(10) \sum_{l=0}^n X_{lj}^k \geq Y_{ij}^k, \quad i = 0, \dots, n, \quad j = 1, \dots, n+1, \quad k = 1, \dots, m;$$

$$(11) \sum_{l=1}^{n+1} X_{il}^k \geq Y_{ij}^k, \quad i=0, \dots, n, \quad j=1, \dots, n+1, \quad k=1, \dots, m;$$

$$(12) \sum_{k=1}^m \left( \sum_{i=0}^n (\tau_j^k + \theta_j^k) X_{ij}^k + \sum_{l=1}^n (\tau_l^k + \theta_l^k) Y_{lj}^k \right) \leq T_j^{compmax}, \quad j=1, \dots, n;$$

$$(13) \sum_{k=1}^m \sum_{i=1}^n \tau_i^k Y_{ij}^k \leq T_j^{reactmax}, \quad j=1, \dots, n;$$

$$(14) \sum_{j=1}^{n+1} (X_{ij}^k + X_{ij}^k) \leq 2 \cdot cap_i^k, \quad i=1, \dots, n;$$

$$(15) Y_{jj}^k = 1, \quad j=1, \dots, n, \quad k=1, \dots, m;$$

$$(16) X_{ij}^k, Y_{ij}^k \in \{0, 1\}, \quad i=0, \dots, n, \quad j=1, \dots, n+1, \quad k=1, \dots, m.$$

(1) – целевая функция минимизации общего времени завершения инцидентов, взвешенного на основе их приоритетов. В дополнение к существующим  $n$ -инцидентам добавляем два фиктивных инцидента – 0 в качестве начальной точки и  $n+1$  – в качестве конечной точки. Фиктивные инциденты не требуют времени обработки ( $T_0^k = T_{n+1}^k = 0$ ).

(2) – заверяет, что перед каждым реальным инцидентом непосредственно исполняется ровно один инцидент.

(3) – удостоверяет, что после каждого реального инцидента непосредственно выполняется ровно один инцидент.

(4) и (5) – подтверждает, что каждый сотрудник начинает с фиктивного инцидента 0 и заканчивает фиктивным инцидентом  $n+1$ . –ограничение транзитивности, которое заверяет, что сотрудник  $k$ , который обрабатывал инцидент  $i$  перед инцидентом  $l$  и инцидент  $l$  перед инцидентом  $j$ , также обрабатывал инцидент  $i$  перед инцидентом  $j$ .

(7) – если перед реальным инцидентом непосредственно выполнялся другой инцидент, то после него также должен непосредственно выполняться инцидент.

(8) – каждый непосредственно предшествующий инцидент является также общим предшественником.

(9) – запрещает рефлексивные отношения предшествующих инцидентов.

(10) и (11) – удостоверяет, что если сотрудник  $k$  обработал инцидент  $i$  перед инцидентом  $j$ , то должен быть инцидент, который он обработал непосредственно после  $i$ , и инцидент, который он обработал непосредственно перед  $j$ . (12) и (13) – ограничения по целевому времени реакции и времени решения. (14) – заверяет, что инциденты выдаются тем сотрудникам, которые могут с ними справиться.

(15) – перед решением инцидента сотрудник должен на него сначала среагировать.

Таким образом, предложена модель линейного программирования, минимизирующая общее время завершения ИТ-инцидентов, взвешенное на основе их приоритетов. Следовательно, задача оптимизации времени исполнения ИТ-инцидентов в сложных корпоративных информационных системах приближается к задачам исследования операций [1].

В дальнейшем предполагаем найти оптимальное решение по предложенной модели.

*Sidnev S. M., Ostreykovsky V. A.*

## OPTIMIZATION MODEL OF COMPLETION TIME OF IT-INCIDENTS IN COMPLEX CORPORATE INFORMATION SYSTEMS

*Surgut*

In the article, the authors develop a model that minimizes the sum of completion time of IT-incidents weighted by their priority.

*Keywords: IT-incident, assignment, scheduling.*

### Список использованной литературы

1. Вентцель Е. С. Исследование операций: задачи, принципы, методология : учеб. пособие. М. : Дрофа, 2006. 206 с.
2. ИТ Сервис-менеджмент. Вводный курс на основе ITIL. 2-е изд. : NL, Amersfoort: Wilco Printers, 2005. 292 с.
3. Сиднев С. М., Острейковский В. А. Обзор и поиск решений оптимизации времени разрешения ИТ-инцидентов // Наука и инновации XXI века : сб. ст. Всерос. конф. (1–2 декабря 2016 г., г. Сургут): в 3 ч. Сургут : Изд-во СурГУ, 2017. Ч. 1. С. 65–69.
4. Wex, F., Schryen, G., Feuerriegel, S., Neumann, D. Emergency Response in Natural Disaster Management: Allocation and Scheduling of Rescue Units // European Journal of Operational Research. 2014. № 235. С. 697–708.

УДК 616.1-073

*Урманцева Н. Р.*

## СПОСОБЫ ИЗМЕРЕНИЯ КРОВОТОКА В СОСУДАХ, ОСНОВАННЫЕ НА РЕШЕНИИ ОБРАТНОЙ ЗАДАЧИ

*г. Сургут*

В статье автор рассматривает следующие способы измерения кровотока в сосудах, основанные на решении обратных задач, и их физические принципы: ультразвуковая доплерография, различные виды ангиографии, компьютерная томография, лазерная доплеровская флоуметрия. Анализируются альтернативные подходы: сейсморазведка и шумовая диагностика. Строится классификация заболеваний кровеносных сосудов по характеру изменения их геометрии.

*Ключевые слова: сердечно-сосудистая система, головной мозг, обратная задача, эффект Доплера, флоуметрия.*

Измерение кровотока в сосудах головного мозга осуществляется с помощью следующих классических медицинских подходов:

- 1) оценка пропускной способности сосудов с помощью эффекта Доплера (ультразвуковая доплерография УЗДГ, а именно транскраниальная доплерография);
- 2) оценка пропускной способности сосудов на основе фиксации подвижности стенок с использованием контрастного вещества:
  - рентгеноконтрастная ангиография;

- мультиспиральная компьютерная томография с контрастированием;
- магнитно-резонансная ангиография;

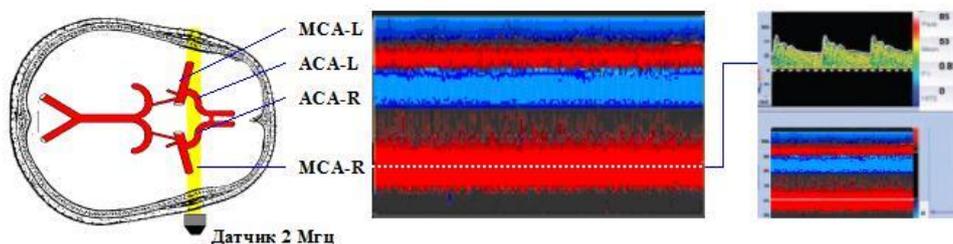
3) лазерная доплеровская флоуметрия как метод исследования микроциркуляции.

Транскраниальная доплерография (ТКДГ) – неинвазивный метод ультразвукового исследования сосудов головного мозга, позволяющий оценить скорость кровотока по внутричерепным (интракраниальным) сосудам для выявления гемодинамически значимых изменений [2].

В отличие от датчиков, которые применяются для исследования экстракраниальных отделов магистральных сосудов (общая сонная, внутренняя и наружная сонные артерии и др.), использующих частоту 4 и 8 МГц в непрерывном режиме инсонации, при ТКДГ используются датчики более низкой частоты (1.5–2 МГц), работающие в импульсном режиме. Последний позволяет избирательно оценивать кровоток на различных глубинах инсонации. На практике датчики прикладываются в области темпоральных «окон» или доступов (височного, орбитального и затылочного). Ультразвуковые волны, излучаемые датчиком, проходя через мягкие ткани, кости черепа и ткань мозга, сталкиваясь с движущимися эритроцитами в сосудах, снабжающих головной мозг, отражаются с изменением частоты посланного сигнала. Датчики улавливают отраженный сигнал, при этом изменение частоты (частотный или «доплеровский» сдвиг) прямо пропорционально скорости кровотока. Кровоток в сосудах неоднороден, имеются потоки с разными скоростями (наиболее медленные – пристеночные, профиль скорости параболический), прибор преобразует отраженные сигналы в набор скоростей, отображая их в виде спектров. Измерения проводятся в режиме реального времени, отображая характерные изменения кровотока в фазу систолы и диастолы. Наиболее часто используются следующие параметры: максимальная и минимальная скорости, средняя скорость, пульсатильный и резистивный индексы.

Разрешающая способность метода позволяет убедительно оценивать кровоток на уровне средней, передней и задней мозговой артерий, отходящих от них ветвей, соединительных артериях виллизиева круга, основной и позвоночных артериях.

Одна из новейших технологических разработок – метод цифровой доплерографии в М-режиме. М-режим позволяет сканировать потоки на глубине от 30 до 90 мм. Результат выводится непрерывно в виде цветной шкалы в специальном М-окне. Красным цветом кодируются потоки с направлением к датчику, синим – от датчика (рис. 1). В отличие от стандартной методики нет необходимости менять глубину для локации сосуда, поскольку все потоки автоматически сканируются на всех глубинах. Глубина выбирается только для отображения и измерения доплеровского сигнала [5].



**Рис. 1. Датчик 2МГц из правого височного доступа лоцирует в М-режиме одновременно 4 сосуда: правую среднюю мозговую артерию (МСА), правую и левую переднюю мозговую артерию (АСА), левую МСА**

Рентгеноконтрастная ангиография является методом диагностики с помощью рентгеновских лучей. Внутри сосуда вводится контрастный препарат, который непроницаем для X-лучей, в то время как другие ткани для них прозрачны. На аппарате изображается сосуд в динамике. Такое исследование дает сосудистому хирургу много информации для принятия ре-

шений, однако проведение ангиографии небезопасно, поскольку в некоторых случаях возможна серьезная аллергическая реакция на контрастные препараты. Бывают случаи ранения артерий и вен при введении пункционного катетера. В настоящее время этот метод лучше использовать при проведении внутрисосудистых операций, для окончательной диагностики и лечения. В диагностическом плане его вытеснили компьютерная и магнитно-резонансная томография.

При методе мультиспиральной компьютерной томографии (далее – МСКТ) с контрастированием контраст вводится внутривенно, а рентгеновские срезы обрабатываются мощным компьютером. Полученные изображения формируют очень четкую картину сосудов с их анатомией (рис. 2). Хорошо виден ход сосудов, атеросклеротические бляшки, аневризмы и боковые ветви. При необходимости можно исследовать и венозную систему. МСКТ сосудов вытесняет контрастную ангиографию в диагностике артериальной и венозной патологии [3].

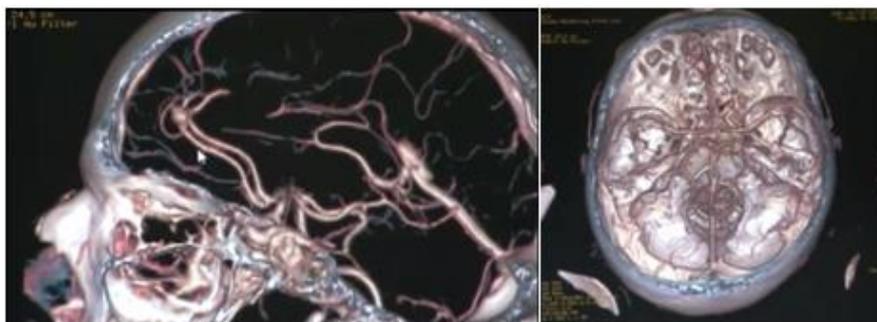


Рис. 2. КТ сосудов головного мозга (вид сбоку и вид сверху)

Магнитно-резонансная ангиография (МРА) использует другие принципы визуализации сосудов – явление ядерного магнитного резонанса. Способ основан на измерении электромагнитного отклика атомных ядер, чаще всего ядер атомов водорода, а именно на возбуждении их определенным сочетанием электромагнитных волн в постоянном магнитном поле высокой напряженности. По степени визуализации уступает МСКТ, однако при использовании специальных программ позволяет оценить кровоснабжение тканей (рис. 3). Преимущество МРА является использование другого контраста для усиления рисунка, этот контраст не вызывает аллергических реакций.

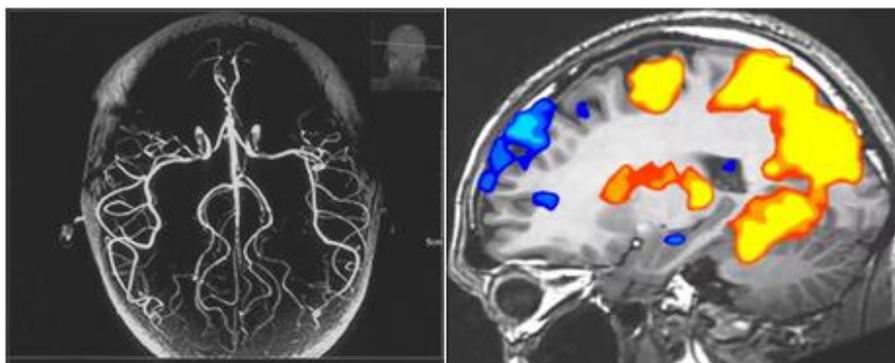


Рис. 3. МРА (часть снимка) и функциональная МРТ головного мозга (в режиме реального времени)

Рентгеновская томография используется также в нефтегазодобывающей отрасли. Исследование горных пород традиционными методами в современных условиях повышения роли нетрадиционных коллекторов, представляющих собой сложнопостроенные и неоднородные геологические тела, увеличения значимости трудноизвлекаемых запасов нефти и газа тре-

буют усовершенствования подходов к изучению керн, повышающих точность оценки фильтрационно-емкостных свойств. Одним из сравнительно новых для нефтяной отрасли методов, дополняющих и расширяющих возможности традиционных, является рентгеновская томография. Современные возможности метода позволяют исследовать горные породы на различных уровнях разрешения, а также получать большой объем данных по фильтрационно-емкостным свойствам пород [4].

Лазерная доплеровская флоуметрия (ЛДФ) – новый методический подход при диагностических исследованиях, обеспечивающий детальный анализ состояния микроциркуляции в области патологического очага, основанный на выделении ритмических составляющих гемодинамических потоков в тканях. Данный метод позволяет оценить общий уровень периферической перфузии, выявить особенности состояния и регуляции кровотока в микроциркуляторном русле, что особенно важно при дифференцированном подборе терапии. Метод является объективным, точным, благодаря возможности длительной экспозиции, воспроизводимым, высокочувствительным по отношению к малейшим изменениям кровотока.

Для диагностики применяется зондирование ткани лазерным излучением. Обработка отраженного от ткани излучения основана на выделении из зарегистрированного сигнала доплеровского сдвига частоты отраженного сигнала, пропорционального скорости движения эритроцитов. В ходе проводимых исследований обеспечивается регистрация изменения потока крови в микроциркуляторном русле – флоуметрия.

Физические основы метода ЛДФ заключаются в следующем. Существуют оптимальные соотношения между длиной волны зондирующего излучения и размером частицы, от которой возможно получить детектируемый сигнал – при уменьшении длины волны зондирующего излучения уменьшается размер детектируемой частицы. В отличие от ультразвуковых методов диагностики, основанных на эффекте Доплера, при применении более коротковолнового зондирующего лазерного излучения возможно получить отраженный сигнал наибольшей амплитуды от отдельных эритроцитов из более тонкого слоя, около 1 мм. Этот слой зондирования может содержать в зависимости от типа ткани следующие звенья гемомикроциркуляторного русла: артериолы, терминальные артериолы, капилляры, посткапиллярные вены, вены и артериоло-веноулярные анастомозы [1].

Схема взаимодействия лазерного излучения с тканью показана на рис. 4.

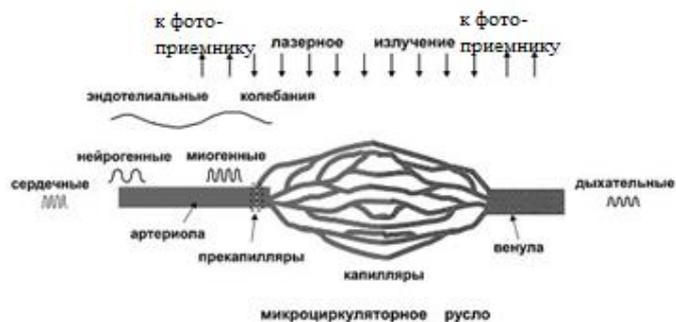


Рис. 4. Схема зондирования ткани лазерным излучением

При взаимодействии лазерного излучения с тканью отраженный сигнал имеет две составляющие: постоянную и переменную. Постоянный сигнал обусловлен отражением от неподвижных структур зондируемой ткани. Переменный сигнал связан с движущимися частицами – эритроцитами. Регистрируемый на ЛДФ-грамме (рис. 5) колебательный процесс является результатом наложения колебаний, обусловленных активными и пассивными факторами, представленными на рис. 5.

В качестве альтернативных методов исследования, основанных на решении обратной задачи, рассматриваются: сейсморазведка и шумовая диагностика.

Сейсморазведка – раздел разведочной геофизики, основанный на регистрации искусственно возбуждаемых упругих волн и извлечении из них полезной геолого-геофизической информации. В кардиологии на воздействиях подобного характера построена ударно-волновая терапия – современный метод безоперационного лечения ишемической болезни сердца (инфаркта миокарда, стенокардии, вызванной ими сердечной недостаточности). Метод основан на использовании акустических волн, генерируемых с помощью специального оборудования. Сфокусированные ударные волны воздействуют на зону миокарда с недостаточным кровообращением и способствуют образованию новых и расширению имеющихся сосудов, тем самым устраняя дефицит кровоснабжения и восстанавливая адекватную работу сердца. В момент воздействия ударной волны пациент не испытывает никаких болевых ощущений.

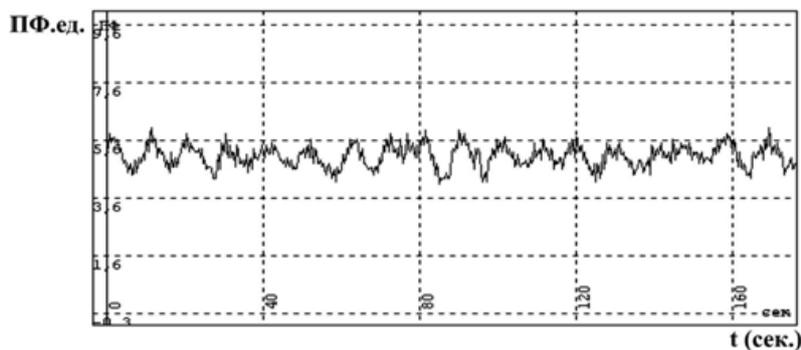


Рис. 5. Пример ЛДФ-граммы

Использование шумовой диагностики относится к области ядерной энергетики, а именно к шумовым методам диагностики реакторов с водой под давлением типа водо-водяной энергетический реактор ВВЭР. Этот метод предназначен для контроля в режиме реального времени пульсаций технологических параметров, например, для контроля и выявления аномальных пульсаций расхода теплоносителя, в том числе опасных для его нормальной эксплуатации. Тепловыделяющий элемент (твэл) окружают трубками с водой и, как только в жидкости возникают конвекционные процессы, усиливается шум.

Геометрия сосуда играет определяющую роль в формировании характера кровотока и изменяется при проявлении различных патологий. Среди заболеваний кровеносных сосудов можно выделить следующие группы по характеру изменения геометрии сосуда:

- 1) сужение просвета – атеросклероз, тромбоз;
- 2) сужение сосуда – стеноз различной этиологии (рис. 6);
- 3) локальное расширение – аневризма;
- 4) патологическая извитость (рис. 6);
- 5) травматическое повреждение – истончение стенки, разрывы.



Рис. 6. Виды поражения брахиоцефальных артерий (МСКТ-ангиография)

Таким образом, чрезвычайно важной задачей является проведение исследований состояния мозга и его сосудов. Существующие инструментальные методы, среди которых ультразвуковая доплерография, магнитно-резонансная томография/ангиография, компьютерная позитронно-эмиссионная томография, являются дорогостоящими для основной массы населения и не всегда позволяют исследовать с требуемой точностью такую сложную систему, как мозг. Учитывая современные достижения вычислительной техники и математики, наиболее эффективным аппаратом исследования представляется математическое моделирование, а разработка эффективных методов моделирования является актуальной задачей.

Математические модели, используемые для построения и предсказания кровотока, основываются на исследованиях течения вязкой несжимаемой жидкости в пористой среде с упругими границами. Для обработки экспериментальных данных используется метод регуляризации А. Н. Тихонова, основанный на минимизации сглаживающего функционала для интегрального уравнения Фредгольма первого рода [6].

*Urmantseva N. R.*

## **METHODS OF BLOOD CIRCULATION MEASUREMENT BASED ON THE SOLUTION OF THE INVERSE PROBLEM**

*Surgut*

The author considers the following methods for measuring blood flow in vessels based on solving inverse problems and their physical principles: ultrasonic dopplerography, various types of angiography, computed tomography, laser Doppler flowmetry; as well as the alternative approaches: seismic tomography and noise diagnostics. The classification of diseases of blood vessels is presented according to the nature of the change in their geometry.

*Keywords: cardiovascular system, brain, inverse problem, Doppler effect, flowmetry.*

### **Список использованной литературы**

1. Крупаткин А. И., Сидоров В. В. Лазерная доплеровская флоуметрия микроциркуляции крови. Руководство для врачей. М. : Медицина, 2005. 256 с.
2. Куликов В. П. Ультразвуковая диагностика сосудистых заболеваний. М. : СТРОМ, 2007. 512 с.
3. Морозов С. П., Насникова И. Ю., Сеницын В. Е. Мультиспиральная компьютерная томография / под ред. С. К. Тернового. М. : ГЭОТАР-Медиа, 2009. 112 с.
4. Савицкий Я. В. Современные возможности метода рентгеновской томографии при исследовании ядра нефтяных и газовых месторождений // Вестник ПНИПУ. Геология. Нефтегазовое и горное дело. 2015. № 15. С. 28–37.
5. Соколова Е. Ю., Фролова А. Н. Транскраниальная доплерография. URL: <http://www.nevromed.ru/diagnostica/tcd> (дата обращения: 12.04.2017).
6. Тихонов А. Н., Арсенин В. Я. Методы решения некорректных задач. М. : Наука : гл. ред. физ.-мат. лит., 1979. 285 с.

УДК 004.738.5.056

*Щербина А. В., Конник С. И.*

## БЕЗОПАСНОСТЬ В СЕТИ ИНТЕРНЕТ

г. Сургут

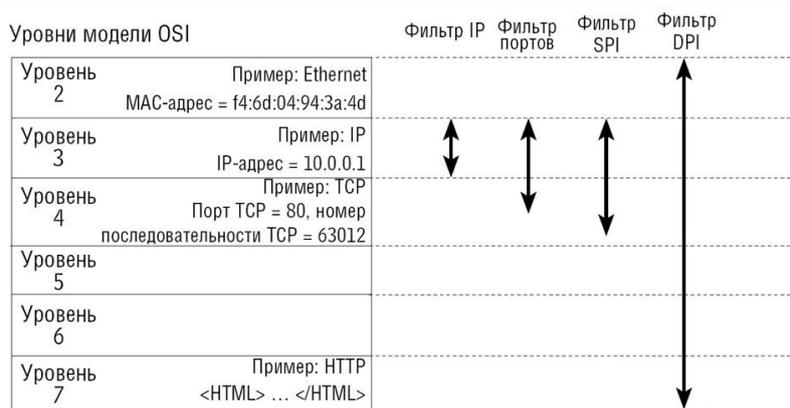
В статье рассматривается технология накопления статистических данных, проверки и фильтрации сетевых пакетов по их содержимому Deep Packet Inspection. С каждым годом количество пользователей Интернета увеличивается, поэтому проблема безопасности в сети Интернет очень актуальна.

*Ключевые слова:* интернет, сеть, Deep Packet Inspection, технология накопления, фильтрация, безопасность.

Ежедневно, каждый человек проводит в интернете большое количество времени. Нельзя забывать, что современный Интернет – это не только источник полезной и достоверной информации, но и угроза компьютерной безопасности как технической, так и информационной. Это различные вирусы и вирусная реклама, пропаганда суицида и педофилии, услуги по подделке документов, наркоторговля через сеть, бойкот или домогательства кого-либо и многое другое. Но существуют специальные механизмы, которые могут помочь избежать этих опасностей и защитить свою личную безопасность и свое личное пространство, которые и рассматриваются в этой статье.

Сетевой трафик в сети Интернет проходит через два порта TCP: передача видео, просмотр Web-страниц, использование электронной почты, прослушивание Web-радио, средства обмена сообщениями в режиме реального времени, а так же компьютерные игры используют из 65 535 доступных портов TCP и UDP всего лишь порт 80 HTTP и порт 443 HTTPS. В данной ситуации в целях обеспечения безопасности фильтрация по портам оказывается почти бессмысленной. Решение о блокировании или открытии портов HTTP и HTTPS принимается достаточно быстро, но дополнительно ограничить функционирование этих портов такой брандмауэр больше никак не сможет. Надо отметить, что системы сетевой безопасности всегда совершенствовались в соответствии с тенденциями развития Интернета. Если в девяностые годы прошлого века было достаточно фильтрации IP-адресов, то с двухтысячного года уже пришлось отфильтровывать отдельные порты TCP/UDP. Технология контекстной проверки пакетов на основе статуса соединения TCP стала в полной мере актуальной спустя некоторое время. В настоящее время одну из наилучших возможностей для идентификации всевозможных программ и сервисов Web, использующих порты TCP HTTP и HTTPS, предоставляет технология подробного анализа пакетов.

Технология Deep Packet Inspection обеспечивает полную и подробную проверку пакетов данных. Модуль включает в себя отвечающую за распределение по классификациям протоколов программную библиотеку. Производители брандмауэров могут интегрировать модули, разработанные различными специализированными компаниями, и использовать их в качестве основы для создания собственных продуктов, например, системы обнаружения и предотвращения вторжений, решения для мониторинга или фильтры приложений (рис. 1). Принципы работы антивирусного программного модуля обеспечения и Deep Packet Inspection очень похожи. Они используют своего рода механизмы сканирования, действие которых основано на том, что у всех распознаваемых протоколов имеются свои точные сигнатуры. Сканирующий механизм в модуле сравнивает с сохраненными сигнатурами протоколов передаваемые пакеты. Пакет считается классифицированным и поступает в распоряжение других программ при обнаружении соответствия [1].



**Рис. 1. Использование на практике технологии Deep Packet Inspection**

Для систем, использующих модуль Deep Packet Inspection, очень важно, чтобы наборы протоколов были всегда актуальными, поскольку только в этом случае можно добиться высокой эффективности работы модуля. Если используются частные протоколы, нужно быстро обновлять их сигнатуры, в противном случае протокол окажется вне контроля. Самая большая сложность заключается в частом изменении нестандартных протоколов, в то время как основные протоколы очень редко подвергаются изменениям или правкам.

Модуль Deep Packet Inspection делает проверку всех уровней модели OSI – со второго по седьмой. К любому из них может быть применены критерии фильтрации. Все же, одно из главных преимуществ фильтра приложений на базе Deep Packet Inspection – это возможность контролировать информацию на прикладном уровне и классифицировать сотни протоколов без привязки к конкретному порту TCP или UDP.

Для определенных типов сетевого трафика устанавливает приоритет качество сервиса. К примеру, для того чтобы потоку данных VoIP обеспечить более высокий приоритет, QoS протокола использует классификацию, проведенную системой. Возможное применение технологии Deep Packet Inspection – фильтр приложений в межсетевом экране. Межсетевой экран при этом связывает Интернет с клиентским компьютером. Весь входящий и исходящий интернет трафик анализируется и при необходимости фильтруется. Ядро при этом в первую очередь принимает пакеты, а затем поэтапно анализирует их встроенный межсетевой экран. Вначале происходит анализ внешнего заголовка неизвестного пакета. Например, если речь идет о заголовке Ethernet, то можно узнать MAC-адрес или принадлежность к виртуальной локальной сети на основании заложенной в нем информации. Затем идет проверка следующего по глубине заголовка. Из протокола возможно получить нужные сведения, если этот протокол соответствует схеме пакета IP. А также, решается вопрос о последующей маршрутизации данных, чтобы отделить какие пакеты нужно отправить дальше, а какие для локальных сервисов.

Задачи технологии включают в себя полную проверку пакетов, а также информацию об IP-адресах, портах, SPI и всю полезную нагрузку пакетов на прикладном уровне. Получается что, при объеме 5 Гбайт сетевого трафика необходимо проанализировать весь этот объем, а не только заголовки пакетов. Только высокопроизводительное аппаратное обеспечение, которое обладает большими вычислительными ресурсами, может справиться с такой задачей при очень быстрых соединениях. Кроме того, уже упоминавшиеся частые изменения частных протоколов приводят к тому, что сигнатуры этих протоколов быстро теряют актуальность и свою эффективность, при этом их приходится постоянно обновлять. При использовании антивирусных сигнатур возникает такая же проблема.

Фильтр приложений не идеален, его возможности не беспредельны. Только после классификации принимается решение о блокировке или допущении протокола. Когда в одном протоколе седьмого уровня скрывается другой протокол, отдельные пакеты могут «проскочить» до того, как у фильтра получится распознать спрятавшийся в их глубинах протокол. У фильтра

приложений может быть белый список с перечнем протоколов, который он может пропускать без каких-либо ограничений, в таком случае фильтр сможет пропустить ее больше неклассифицированных пакетов. В отличие от прокси, эта система сразу отправляет их дальше, а не накапливает пакеты. Кроме того, требуется просмотреть необходимое количество пакетов для первоначальной классификации. Эффективность применения функции белых списков зависит от того, прячутся ли за первым протоколом другие протоколы. До полного завершения классификации фильтру приложений нужно исследовать дополнительные пакеты. К этому моменту через него успеют проникнуть множество пакетов, и запрещенные протоколы уже выполнят свою задачу.

Для межсетевого экрана с технологией Deep Packet Inspection на портах HTTP и HTTPS не является существенным ограничением консолидация сетевого трафика. Фильтрация, как и ранее, поддается сетевые протоколы. Она осуществляется на более высоком уровне модели OSI. Более эффективный межсетевой экран просто глубже заглядывает в пакет [3].

Таким образом, в данной статье мы констатируем факт – сеть интернет устроена очень сложно и содержит в себе множество угроз. Развитие сети Интернет всегда было тесно связано с совершенствованием технологий анализа пакетов. В недавнем прошлом речь шла об анонимных IP - адресах, сейчас же действительному содержанию пакетов придается все большее значение. Если эта тенденции продолжит распространяться, то в ближайшее время может появиться и фильтр полезных данных. Он смог бы проверять и анализировать семантическую значимость прикладных данных автоматически. Это могло бы помочь реализовать детализированную фильтрацию используемых протоколов, а также не привязанное к конкретным протоколам отслеживание действий системы и отдельных пользователей на основе различных признаков аутентификации.

*Scherbina A. V., Konnik S. I.*

## **SAFETY IN THE INTERNET NETWORK**

*Surgut*

The article discusses the technology of accumulation of statistical data, verification and filtering of network packets by their content Deep Packet Inspection. Every year the number of Internet users increases, so the problem of security on the Internet is very urgent.

*Keywords: Internet, network, Deep Packet Inspection, accumulation technology, filtration, security.*

### **Список использованной литературы**

1. Олифер В., Олифер Н. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы. 2016.
2. Семенько Т. В. Безопасность в сети интернет. 2016.
3. Феликс Б. Взгляд в недра пакетов. Защита информации: сетевой журн. (электр. журн.). 2012. URL: <https://www.osp.ru/lan/2012/09/13017526/> (дата обращения 10.04.2017).

## ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В НЕФТЕГАЗОВОМ КОМПЛЕКСЕ

УДК 621.644.039.586

*Аронов С. Я., Соловьев Н. А., Острейковский В. А.*

### О СОСТОЯНИИ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ТРУБОПРОВОДНЫХ СИСТЕМ ГАЗА

г. Сургут

Авторы статьи дают анализ статистических данных аварий магистральных газопроводов РФ за период с 2005 по 2016 год. Определены основные причины аварий и их процентные соотношения по причинам возникновения.

*Ключевые слова:* магистральный газопровод, авария, коррозия, механическое воздействие, брак строительства и изготовления, конструктивный недостаток, износ оборудования, ошибочное действие персонала, стихийное явление.

Общая протяженность линейной части магистральных газопроводов РФ в 2015 году составила 180,2 тыс. км [4], из которых 171,2 тыс. км приходится на долю газотранспортных обществ ПАО «Газпром» [6]. Объемы транспортировки газа «Газпрома» в 2015 году составили 602,6 млрд куб. м газа, из них поставки внутри РФ 342,3 млрд куб. м, за пределы РФ 196,8 млрд куб. м [6]. Таким образом, трубопроводные системы транспортировки газа играют стратегическую роль в развитии страны.

Основная часть газопроводов РФ была смонтирована в 70–80 годы прошлого века, это, в свою очередь, влечет за собой опасность развития дефектов изготовления, сварочно-монтажных работ, механических повреждений. Дефекты трубопроводов коррозионного происхождения также требуют особого внимания.

Для обеспечения надежного и бесперебойного транспорта газа применяется большой комплекс мер по предупреждению аварийных ситуаций эксплуатируемых магистральных газопроводов, включающий в себя установку и эксплуатацию систем защиты от коррозии, обходы, облеты авиационной техникой, диагностирование, анализ, планирование, ремонт МГ и др. Анализ статистических данных аварий необходим для того, чтобы избежать ошибки минувших лет путем внесения корректировок в планирование ремонтов и диагностических работ на МГ. Ранее уже рассматривались проблемы эксплуатации МГ [5; 7]. Материалы, изложенные в данной статье, продолжают исследование этой глобальной проблемы.

**Объект исследования.** Магистральный газопровод (МГ) есть технологически неделимый, централизованно управляемый имущественный производственный комплекс, состоящий из взаимосвязанных объектов, являющихся его неотъемлемой технологической частью, предназначенных для транспортирования подготовленной в соответствии с требованиями национальных стандартов продукции (природного газа) от объектов добычи и (или) пунктов приема до пунктов сдачи потребителям и передачи в распределительные газопроводы или иной вид транспорта и (или) хранения [1].

Как известно, в состав МГ входит комплекс подсистем[3]:

- газопровод (от места выхода с промысла подготовленной к дальнему транспорту товарной продукции) с ответвлениями и лупингами, запорной арматурой, переходами через естественные и искусственные препятствия, узлами подключения компрессорных станций (КС), газо-измерительных станций (ГИС), пунктов редуцирования газа (ПРГ), узлами пуска и

приема внутритрубных устройств (ВТУ), конденсатосборниками и устройствами для ввода метанола;

- система электрохимической защиты от коррозии;
- линии и сооружения технологической связи, средства телемеханики газопроводов;
- линии электропередачи, предназначенные для обслуживания газопроводов и устройства электроснабжения и дистанционного управления запорной арматурой и установками электрохимической защиты газопроводов;
- противопожарные средства;
- противозрозийные и защитные сооружения газопроводов;
- системы сбора и утилизации конденсата;
- здания и сооружения линейной службы эксплуатации газопроводов;
- постоянные дороги и вертолетные площадки, расположенные вдоль трассы газопровода, и подъезды к ним, опознавательные и сигнальные знаки местонахождения газопроводов;
- головные и промежуточные (линейные) компрессорные станции (КС);
- газо-измерительные станции (ГИС) и станции охлаждения газа (СОГ);
- газораспределительные станции (ГРС);
- станции подземного хранения газа (СПХГ);
- указатели и предупредительные знаки.

На сегодняшний день, согласно действующей нормативно технической документации, МГ могут включать трубопроводы диаметром до 1420мм с избыточным давлением до 25Мпа [1; 2].

**Характеристика и анализ статистических данных.** На основании годовых отчетов федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору были собраны статистические данные об авариях, произошедших на газопроводах Российской Федерации с 2005 по 2016 год, представленные в табл. 1 [4].

Таблица 1

**Распределение аварий газопроводов по причинам возникновения**

Причины аварий	Год аварий (2005–2016)												Итого:
	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	
Конструктивные недостатки	0	0	0	0	0	0	0	3	1	0	0	0	4
Брак строительства/изготовления	5	6	4	5	8	2	2	6	3	0	0	3	44
Коррозия металла трубы (КРН)	14	8	7	15	6	6	5	6	2	6	8	5	88
Ошибочные действия персонала при эксплуатации	1	3	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	7
Износ оборудования	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
Воздействие стихийных явлений природного происхождения	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
Механическое воздействие	3	2	5	1	1	1	4	1	3	1	2	0	24
Итого:	23	19	16	21	16	9	14	16	9	8	10	8	169

Необходимо отметить, что за период с 2005 года по 2015 год общая протяженность линейной части магистральных газопроводов увеличилась на 191 тыс. км.

Общее распределение аварий по причинам их возникновения за последние 11 лет представлено на диаграмме 1. Основными причинами аварий, произошедших на газопроводах РФ, которые заслуживают пристального внимания, являются:

- коррозия металла труб – 52 %;
- брак строительства и изготовления – 26 %;
- механические воздействия – 14 %.

На аварии, произошедшие по причинам ошибочных действий персонала, износа оборудования, воздействий стихийных явлений, конструктивных недостатков, приходится 8% от общего количества.



Диаграмма 1 – общее распределение аварий газопроводов РФ: 2005–2016 гг.

По данным табл. 1 был построен график 1, отражающий динамику и распределение аварий газопроводов РФ, по результатам длительной эксплуатации.

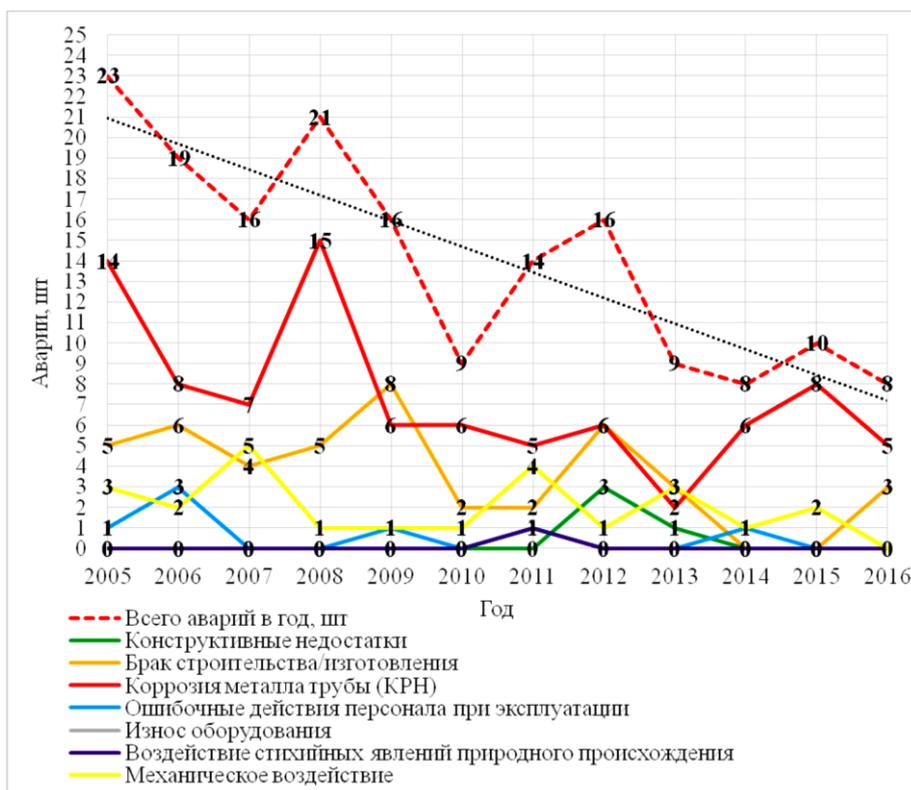


График 1 – динамика и распределение аварий газопроводов РФ, 2005–2016 гг.

Из графика 1 четко прослеживается, несмотря на увеличение общей протяженности линейной части магистральных газопроводов РФ, нисходящий тренд (точечная линия) аварийности, полученный в результате линейной аппроксимации, что говорит о повышении надежности газопроводов во времени.

**Заключение.** Общее количество аварий на МГ РФ за период с 2005 года 2016 год составило 169.

Основными причинами возникновения аварийных разрывов (92 % от общего числа) газопроводов РФ являются:

1) зарождение и развитие коррозионных дефектов (коррозионное растрескивание под напряжением (КРН), почвенная и атмосферная коррозия) – 52 % (88шт);

2) рост в процессе эксплуатации исходных, до эксплуатационных дефектов (брак сварочно-монтажных работ (СМР), заводской брак труб), не выявленных в ходе испытаний при вводе в эксплуатацию – 26 % (44 шт);

3) механические повреждения тела труб строительной техникой, при строительстве и укладке газопроводов – 14 % (24 шт);

Отмечено снижение аварийности МГ РФ за последнее 11 лет, что говорит о повышении качества, надежности газопроводов в целом.

В перспективе будет собран и проанализирован материал по прогнозированию развития дефектов, приводящих к авариям газопроводов.

*Aronov S. Y., Soloviev N. A., Ostreikovskiy V. A.*

## ABOUT STATUS OF WORKABILITY OF GAS PIPELINE SYSTEMS

*Surgut*

The paper presents the analysis of the statistical data of the accidents happened on the main gas pipelines of the Russian Federation for the period from 2005 to 2016. The main causes of accidents along with their percentage ratio categorized by the causes of the occurrence are determined.

*Key words: main gas pipeline, accident, corrosion, mechanical impact, construction and manufacturing fault, constructive shortage, equipment wear, erroneous personnel action, spontaneous phenomenon.*

### Список использованной литературы

1. ГОСТ Р 55989-2014 Магистральные газопроводы. Нормы проектирования на давления свыше 10МПа. Основные требования.
2. СП 86.13330.2014 Магистральные газопроводы.
3. СТО Газпром 2-2.1-249-2008 Магистральные газопроводы.
4. Ежегодные отчеты о деятельности Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору. [Электронный ресурс] // Официальный сайт федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору РФ. Режим доступа: [http://www.gosnadzor.ru/public/annual\\_reports/](http://www.gosnadzor.ru/public/annual_reports/) (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус.
5. Гостинин И. А., Вирысов А. Н., Семенова М. А. Анализ аварийных ситуаций на линейной части магистральных газопроводов [Электронный ресурс] // Инженерный Вестник Дона. 2013. № 2. Режим доступа: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n2y2013/1618> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус.
6. Транспортировка. Единая система газоснабжения России [Электронный ресурс] // Официальный сайт ПАО «Газпром». Режим доступа: <http://www.gazprom.ru/about/production/transportation/> 161 (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус.
7. Савонин С. В., Москоленко А. В., Тюндер А. В., Князев С. Е., Арсентьева З. А. Анализ основных причин аварий, произошедших на магистральных газопроводах [Электронный ресурс] // «Нефть и Газ Сибири». 2015. № 4 (21). Режим доступа: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n2y2013/1618> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус.

УДК 531.742:519.87:004.42

**Бычин И. В., Гореликов А. В., Ряховский А. В.**

## **ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ФИЛЬТРАЦИИ ПРОВОДЯЩЕЙ ЖИДКОСТИ В ТРУБЕ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ВНЕШНЕГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ <sup>1</sup>**

г. Сургут

Разработан программный комплекс, позволяющий определять параметры воздействия на режимы течения жидкости в трубе. Проведена апробация комплекса на модельной задаче об изотермической однофазной фильтрации проводящей жидкости в трубе круглого сечения при постоянной мощности потока под воздействием внешнего магнитного поля.

*Ключевые слова: фильтрация, постоянная мощность потока, магнитная гидродинамика, параллельное двухуровневая модель программирования.*

Задачи управления течением жидкости особую актуальность приобретают в связи с необходимостью создания технологии «цифровое месторождение» [1; 2]. В частности, для нефтегазовой отрасли рассматриваемый класс задач непосредственно связан с моделированием отклика месторождения на динамические воздействия различных типов (механические, тепловые, электрические, химические и т. п.), которое позволяет провести оптимизацию воздействий с целью повышения коэффициента извлечения нефти. Оперативное решение такого класса задач, с учетом пространственно-временных масштабов областей нефтяных пластов, требует разработки программных комплексов с использованием суперкомпьютерных технологий.

Разработанный программный комплекс позволяет решать трехмерные задачи гидродинамики, магнитной гидродинамики и теплообмена в пористой среде и может быть использован для определения параметров воздействия на режимы течения жидкости в пористой среде. Комплекс написан на языке Fortran 90 с использованием модульного подхода (рис. 1) и состоит из основной части, содержащей подпрограммы для расчета коэффициентов и решения дискретных аналогов уравнений гидродинамики, магнитной гидродинамики, теплообмена, и модулей, в которых размещаются описания переменных и вспомогательных процедур. В настоящее время, большое количество отечественных и международных научных коллективов, задействованных в решении задач из области вычислительной гидродинамики и МГД, используют многоуровневый подход при разработке параллельного программного обеспечения для высокопроизводительных вычислительных систем. Многоуровневый подход предполагает сочетание различных параллельных моделей программирования. Результаты исследований показывают, что такой подход хорошо себя зарекомендовал для повышения параллельной эффективности программ, ориентированных на вычислительные системы с экстремальным параллелизмом. Отвечая современным тенденциям, при разработке комплекса использована двухуровневая модель распараллеливания MPI/OpenMP. Для распределения вычислений между узлами высокопроизводительного кластера (первый уровень), проведено разбиение расчетной области методом одномерной геометрической декомпозиции и организован обмен данными между подобластями по стандарту MPI (Message Passing Interface). Для вычислений в рамках одного узла кластера, в дополнение к первому уровню модели, использована технология параллельного программирования OpenMP (второй уровень) для многоядерных CPU с общей памятью. Для решения систем линейных алгебраических уравнений, возникающих в

<sup>1</sup> Работа поддержана грантами РФФИ №15-41-00013 р\_урал\_а, №15-41-00059 р\_урал\_а, №16-29-15105 оф\_м.

результате дискретизации уравнений, использована открытая высокооптимизированная параллельная программная библиотека итерационных решателей LIS (Library of Iterative Solvers for Linear Systems). Реализация в программном комплексе двухуровневой параллельной модели позволила организовать эффективные вычисления на кластере. При этом, за счет гибкой архитектуры, программный комплекс предоставляет несколько сценариев по проведению вычислений на различных системах.



Рис. 1. Структура программного комплекса

Проведена апробация программного комплекса на модельной задаче об изотермической однофазной фильтрации проводящей жидкости в трубе круглого сечения радиуса  $R_0$  при постоянной мощности потока под воздействием внешнего магнитного поля. Расчетная область представляет собой параллелепипед с размерами  $L \times L \times H$  вдоль координатных осей  $Ox$ ,  $Oy$  и  $Oz$  соответственно (рис. 2). Радиус трубы  $R_0 = \frac{L}{2} - \varepsilon$ , где величина  $\varepsilon$  составляет 2 характерных размера контрольного объема. Внешнее поперечное магнитное поле приложено на границе трубы в интервале  $0 \leq H_1 \leq z \leq H_2 \leq H$ . Вычислительные эксперименты проводились при заданном постоянном однородном внешнем магнитном поле, направленном вдоль оси  $Ox$  (рис. 2).

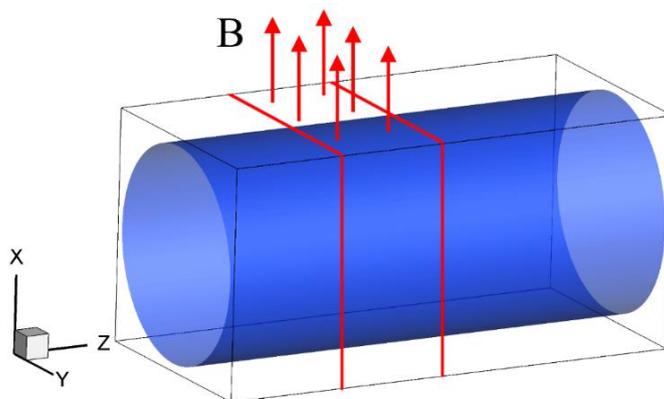


Рис. 2. Постановка задачи

Математическая модель построенная на основе уравнений Бринкмана и Форхгеймера [3–5], состоит из следующей системы уравнений:

$$\rho_f \left[ \frac{1}{\phi} \frac{\partial \mathbf{v}}{\partial t} + \frac{1}{2\phi} \nabla \left( \frac{\mathbf{v} \cdot \mathbf{v}}{\phi} \right) \right] = -\nabla \left( p + \frac{|\mathbf{B}|^2}{2\phi\mu_m} \right) + \frac{\mu}{\phi} \Delta \mathbf{v} - \frac{\mu}{K} \mathbf{v} - \frac{c_F \rho_f}{K^{1/2}} |\mathbf{v}| \mathbf{v} + \frac{(\mathbf{B} \cdot \nabla) \mathbf{B}}{\phi\mu_m},$$

$$\operatorname{div} \mathbf{v} = 0$$

$$\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} = \operatorname{rot} \left( \frac{\mathbf{v}}{\phi} \times \mathbf{B} \right) + \nu_m \Delta \mathbf{B},$$

$$\operatorname{div} \mathbf{B} = 0.$$

Расчеты проводились при следующих значениях параметров:

$$R_0 = 1, H = 4, H_1 = 1, H_2 = 2, Ha = 5,$$

$$c_F = 0.55, \phi = 0.75, K = 1, \rho_f = 1, \mu = 1, \nu_m = 100, \mu_m = 13 \cdot 10^{-3},$$

т.е. фактически задача решалась в безразмерном виде, а параметры выбраны так, чтобы магнитное поле оказывало существенное влияние на структуру течения. Скорость жидкости и давление на входной и выходной границе рассчитываются из условий постоянной мощности потока [6]. На остальной границе области заданы условия прилипания на стенках трубы:

$$0 < z < H: \quad \mathbf{u}|_{\partial G} = 0,$$

а также задавалось распределение внешнего магнитного поля:

$$r = R_0, H_1 \leq z \leq H_2: \quad B_x|_{H_1 \leq z \leq H_2} = Ha, B_y = 0, B_z = 0$$

$$r = R_0, 0 \leq z < H_1, H_2 < z \leq H: \quad \mathbf{B}|_{\partial G} = 0.$$

Результаты вычислительных экспериментов (рис. 3–6) показывают, что под воздействием внешнего постоянного магнитного поля объемный расход жидкости (рис. 6) через поперечное сечение трубы уменьшается, из-за возникновения обратного течения в области воздействия поперечного магнитного поля. Получено качественное подтверждение существенного влияния электромагнитного воздействия на структуру течения. Апробация программного комплекса показала, что его можно эффективно использовать для дальнейшего проведения исследований по оптимизации воздействий на течение жидкости с целью повышения объемного расхода.

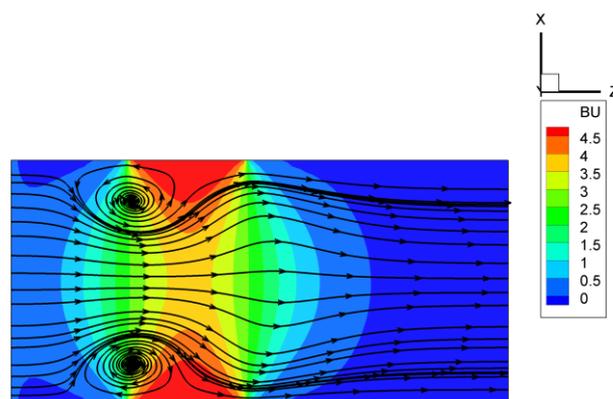


Рис. 3. Распределение поперечной компоненты магнитного поля  $B_x$  и структура течения в центральном сечении по  $Y$  вдоль оси трубы

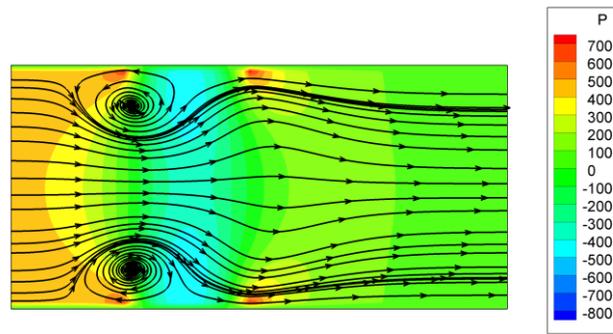


Рис. 4. Распределение давления и структура течения в центральном сечении по  $Y$  вдоль оси трубы

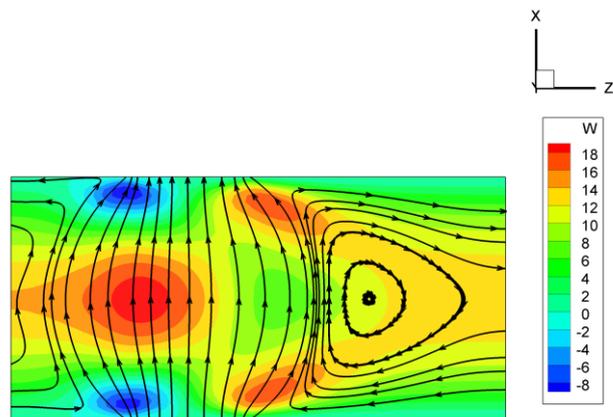


Рис. 5. Распределение осевой составляющей скорости  $u_z$  и силовые линии магнитного поля в центральном сечении по  $Y$  вдоль оси трубы

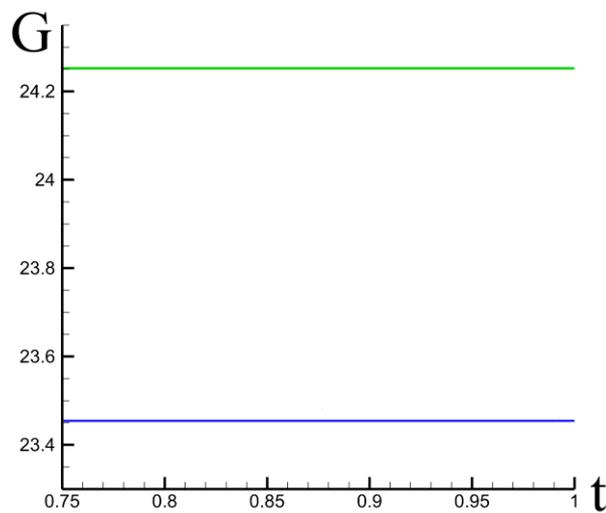


Рис. 6. Зависимость объемного расхода  $G$  от времени:  
1) при отсутствии магнитного поля (зеленым цветом);  
2) в присутствии постоянного магнитного поля (синим цветом)

*Bychin I. V., Gorelikov A. V., Ryakhovsky A. V.*

## NUMERICAL SIMULATION FILTRATION OF THE CONDUCTIVE LIQUID IN THE PIPE UNDER EXPOSURE TO THE EXTERNAL MAGNETIC FIELD

*Surgut*

The paper describes a software package that determines the parameters of influence on fluid flow conditions in porous medium. The software has been tested with a simulated isothermal phase filtration problem in a round tube for constant flow rate exposed to external magnetic field.

*Keywords: filtration, constant power, magneto-fluid dynamics, parallel two-layer programming model.*

### Список использованной литературы

1. Бетелин В. Б. Проблемы создания отечественной технологии «Цифровое месторождение» // Математика и информационные технологии в нефтегазовом комплексе : материалы Междунар. конф. Сургут, 2014. С. 15–17.
2. Вольпин С. Г. Юдин В. А., Кац Р. М., Афанаскин И. В., Галкин В. А. Применение суперкомпьютерных технологий – ключ к решению проблем повышения нефтеотдачи на месторождениях России // Санкт-Петербургский научный форум. VIII встреча лауреатов нобелевской премии, Санкт-Петербург, 2013, С. 90–92.
3. Vafai, K. and Tien, C.L. 1981 Boundary and inertia effects on flow and heat transfer in porous media. Int. J. Heat Transfer 24, p. 195–203.
4. Vafai, K. and Tien, C. L. 1982 Boundary and inertial effects on convective mass transfer in porous media. Int. J. Heat Mass Transfer 25, p. 1183–1190.
5. Hsu, C. T. and Cheng, P. 1990 Thermal dispersion in a porous medium. Int. J. Heat Mass Transfer 33, p. 1587–1597.
6. Зубков П. Т., Тарасова Е. Н. Гидродинамика и теплообмен в канале с кольцевыми ребрами. ТВТ. 2004. Т. 42. С. 917–920.

УДК 622.276.06

*Вирстюк А. Ю.*

## ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЪЕМОВ ЗАКАЧКИ ПО ПЛАСТАМ

*г. Сургут*

Рассмотрены основные понятия предметной области, характеризующие работу нагнетательных скважин. Разработан алгоритм определения интервалов ухода закачиваемой жидкости в объект разработки. Представлен способ графической визуализации пространственного распределения объемов закачиваемой жидкости по пластам на основании диаграмм Г. Ф. Вороного и триангуляции Делоне.

*Ключевые слова: профиль приемистости, закачка, пласт, диаграммы Г. Ф. Вороного.*

**Введение.** Ежегодно на каждом месторождении проводятся геолого-технические мероприятия (ГТМ), направленные на рациональную разработку месторождений и поддержание

плановых уровней добычи нефти. К техническим мероприятиям относятся: установка (ревизия) штуцера, ремонтно-изоляционные работы, повышение давления закачиваемой жидкости и т. п., в свою очередь, геологическими мероприятиями являются: выравнивание профиля приемистости, уровня заводнения объектов разработки и т. п. Результатом проведения правильно спланированного ГТМ является увеличение объемов добываемой нефти, но для его реализации необходим анализ большого количества параметров, которые зачастую требуют предварительных расчетов и значительных трудозатрат.

В частности, для определения распределения объемов закачки по пластам нужно анализировать профиль приемистости нагнетательной скважины по данным промыслово-геофизических исследований, фактическую приемистость рассматриваемого пласта и ее распределения в рамках объектов разработки, интервалы перфорации с целью правильного разделения пласта на части и т. п.

Причем, особенно важно для геофизических служб получение агрегированной аналитической информации не только в виде отчетов или табличных форм. Как правило, геологи, сталкиваясь с большим количеством показателей пластов, скважин, объектов разработки, не могут получить полную картину о составе и состоянии флюидов в силу ограниченных возможностей человека. Поэтому для оперативного принятия решения необходимо представление полученной информации графически на картах разработки.

**1. Основные понятия предметной области.** Во мире с каждым годом возрастает интерес к методам повышения нефтеотдачи пластов, и развиваются исследования, направленные на поиск научно обоснованного подхода к выбору наиболее эффективных технологий разработки месторождений [1]. Особое внимание уделяется добыче дополнительной (остаточной) нефти, которая не была извлечена за счет естественной энергии пласта.

Пласт представляет собой слой породы относительно постоянной толщины, находящийся между подобными же образованиями. Основной характеристикой пласта является его приемистость. Она определяется объемом реагента, закачиваемого в пласт в единицу времени [3].

Основной целью закачки воды (химических реагентов, газа и т. п.) в пласт является вытеснение нефти к добывающим скважинам и увеличение экономической эффективности разработки месторождения, благодаря повышению коэффициента извлечения нефти из залежи [3]. В процессе закачки могут возникать так называемые «языки заводнения» – участки залежи с нефтью, обойденные водой, из-за чего в залежах остается не добытая нефть.

Для своевременного выявления пластов и работающих на них скважин (с последующей корректировкой проводимых ГТМ), характеризующихся такими участками, требуется анализировать профиль приемистости нагнетательных скважин. Он характеризует распределение добываемого и закачиваемого флюида (вода, нефть, газ) по мощности исследуемого горизонта (под мощностью понимается толщина пласта, замеренная по кратчайшему расстоянию между его кровлей и подошвой). На основании этого параметра скважины классифицируются на скважины с неравномерным и равномерным профилем приемистости. Особенно важно получать информацию о пространственном распределении объемов закачки по тем пластам, которые характеризуются неравномерностью профиля приемистости.

**2. Алгоритм определения интервалов ухода закачиваемой воды в объект разработки.** Для скважин, имеющих равномерный профиль приемистости, автоматически принимается, что закачка ведется равномерно во все части пласта. Для скважин с неравномерным профилем приемистости требуется провести дополнительные расчеты.

На первом этапе следует определить необходимую (минимальную) приемистость пласта, которая рассчитывается по формуле (1):

$$q_{\text{необх}}^i = \frac{q_{\text{факт}}}{n} \times 0,3, \quad (1)$$

где  $q_{\text{необх}}^i$  – минимальная (необходимая) приемистость  $i$  пласта [ $\text{м}^3/\text{сут}$ ];

$q_{\text{скв}}^{\text{факт}}$  – фактическая приемистость рассматриваемой нагнетательной скважины [ $\text{м}^3/\text{сут}$ ];  
 $n$  – количество пластов в рассматриваемом эксплуатационном объекте.

В случае если фактическая приемистость пласта по результатам геофизических исследований меньше рассчитанной необходимой приемистости, то пласт выпадает из дальнейшего рассмотрения. Иначе происходит разбиение пласта на 3 равные части (рис. 1): верхнюю, центральную и нижнюю – с дальнейшим проведением расчетов.



Рис. 1. Разделение пласта на части

Любой пласт может быть разделен на интервалы или пропластки, которые образованы одними горными породами (и, соответственно, характеризуются одинаковой приемистостью): песчаник, глина и т. п. Такие пропластки, или как их называют прослои, могут попадать в несколько частей одновременно. К примеру, на рис. 2 представлен пропласток, попадающий в верхнюю и центральную часть пласта. На основании этого приемистость делится по частям в зависимости от мощности пласта по формуле (2):

$$q_{i \text{ части}}^{\text{пропл}} = \frac{q_{\text{пропл}}^{\text{факт}} \times h_{i \text{ части}}^{\text{пропл}}}{h_{\text{общ}}^{\text{пропл}}}, \quad (2)$$

где  $q_{i \text{ части}}^{\text{пропл}}$  – приемистость в  $i$ -ую часть пласта разделенного пропластка [ $\text{м}^3/\text{сут}$ ];

$q_{\text{пропл}}^{\text{факт}}$  – приемистость в разделенный пропласток [ $\text{м}^3/\text{сут}$ ];

$h_{\text{общ}}^{\text{пропл}}$  – мощность разделенного пропластка [м];

$h_{i \text{ части}}^{\text{пропл}}$  – мощность разделенного пропластка попавшего в  $i$ -ую часть пласта [м].

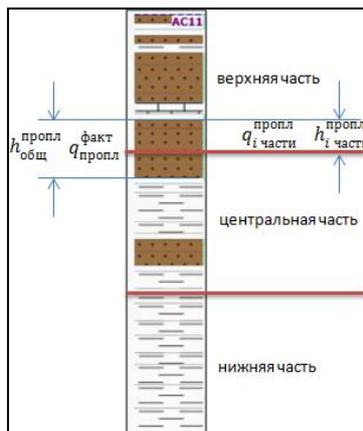


Рис. 2. Пропласток, попадающий в верхнюю и центральную части пласта

Таким образом, можно выделить следующие основные этапы расчета:

- Выделить пласты, чья фактическая приемистость не ниже минимальной приемистости пласта.
- Выделить верхнюю, нижнюю и среднюю части пласта.
- Определить распределение объемов закачки в зависимости от толщины пропластков, относящихся к выделенной части пласта.

**2. Графическая визуализация распределения объемов закачки по пластам.** Для возможности отображения на картах разработки основных интервалов ухода закачиваемой жидкости необходимо построение диаграмм Г. Ф. Вороного (Воронова) – разбиение плоскости, при котором каждая область этого разбиения образует множество точек, более близких к центру, чем к любому другому элементу множества [2].

Совокупность многоугольников Г. Ф. Вороного образует разбиение плоскости, представляющее векторную сеть.

Одним из главных свойств диаграммы Г. Ф. Вороного является ее двойственность триангуляции Делоне (рис. 3). А именно: соединив отрезками те исходные точки, чьи многоугольники Г. Ф. Вороного соприкасаются хотя бы углами, мы получим триангуляцию Делоне (рис. 4).

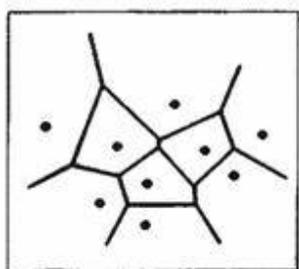


Рис. 3. Диаграмма Г. Ф. Вороного

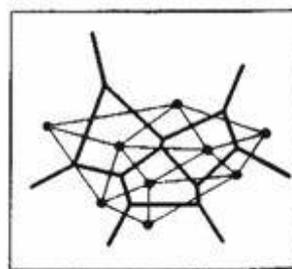


Рис. 4. Триангуляция Делоне

На основании вышеизложенного была построена диаграмма Г. Ф. Вороного на примере объекта разработки АС Северо-Болотинского месторождения (рис. 5). В данном случае выбран пласт АС1, входящий в рассматриваемый объект разработки.

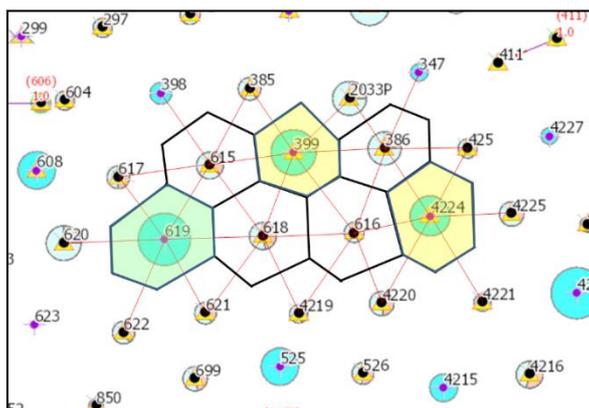


Рис. 5. Диаграмма Г. Ф. Вороного на примере Северо-Болотинского месторождения

Для визуализации на картах разработки используется цветовая гамма для каждого из четырех случаев: принимает весь пласт (при равномерном профиле), верхняя часть пласта, средняя часть пласта и нижняя часть, что представлено на рис. 6.

принимает верхняя часть пласта	
принимает средняя часть пласта	
принимает нижняя часть пласта	
принимает весь пласт	

Рис. 6. Легенда диаграммы Г. Ф. Вороного

Пространственная визуализация объемов закачки по пластам позволяет: увеличить эффективность мероприятий по выравниванию профиля приемистости; увеличить нефтеотдачу добывающих скважин, зависящих от работы нагнетательных скважин; снизить расход рабочего агента для закачки и сократить время анализа распределения закачки по пластам.

**Заключение.** Ключевым моментом, с точки зрения разработки месторождений, является не только работа, связанная с регулированием объемов закачки воды по скважинам, но и с равномерным перераспределением объемов закачанной воды по пласту. Представленная методика определения интервалов ухода закачиваемой воды в пласт, а также наглядная графическая визуализация полученной информации позволит геологу максимально быстро проанализировать текущее состояние скважин и более оперативно планировать геолого-технические мероприятия.

*Virstyuk A. U.*

## THE SPATIAL DISTRIBUTION OF THE INJECTION VOLUME ALONG LAYERS

*Surgut*

Abstract. The main notions on the subject area characterizing the work of the injection wells are considered. The algorithm for determination of the intervals for accepting injection liquid has been designed. The article presents the graphical and visual approach to the spatial distribution of the injection volume along layers using G.F. Voronoy charts and Delaunay triangulation.

*Keywords: injectivity profile, injection, layer, charts of G.F. Voronoy.*

### Список использованной литературы

1. Обзор современных методов повышения нефтеотдачи пласта. 2010. URL: <http://petros.ru/worldmarketoil/?action=show&id=267> (дата обращения: 25.02.2017).
2. Препарата Ф., Шеймос М. Вычислительная геометрия. М. : Мир, 1989. 478 с.
3. Юшков И. Р. Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений. Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2013. 177 с.

УДК 622.245

*Ельмендеев А. П.*

## ОЦЕНКА АДЕКВАТНОСТИ АЛГОРИТМА РАСЧЕТНОГО ДЕБИТА НЕФТЯНОЙ СКВАЖИНЫ

*г. Сургут*

Автор статьи оценивает адекватность расчетного дебита нефтяных скважин на основе информации, получаемой с термоманометрической системы погружного насоса. Для этого

приток скважины, полученный расчетным путем, сравнивается с замеренным дебитом. Такая оценка необходима для подтверждения возможности использования алгоритма [2; 3] по определению характеристик системы «скважина-насос».

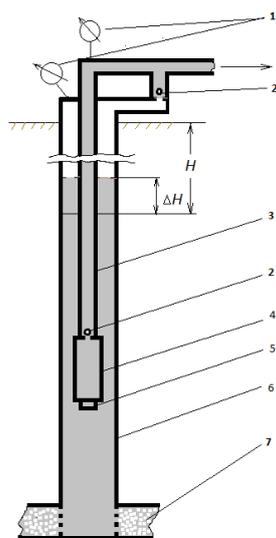
*Ключевые слова:* УЭЦН, термоманометрическая система, прием насоса, скважина, дебит, приток, давление, обработка, информация, аппроксимация, алгоритм.

Основным способом извлечения нефти, как в России, так и за рубежом является добыча погружными установками электроцентробежных насосов (УЭЦН) [1]. В процессе эксплуатации происходит деградация характеристик призабойной зоны скважин и изнашивается насос, поэтому для контроля эффективности работы нефтедобывающей системы необходимо постоянно уточнять характеристики скважины и насоса. Определение характеристик (коэффициента продуктивности скважины, расходно-напорной характеристики УЭЦН при работе на реальной жидкости и др.) подразумевает проведение специальных исследований и мероприятий, на которые затрачивается время и средства.

Основным источником информации о продуктивных параметрах насосных скважин являются исследования на неустановившихся режимах фильтрации методом кривой восстановления уровня (КВУ) в затрубном пространстве. Метод КВУ основан на мгновенном создании разницы давлений между контуром питания и забоем скважины (депрессии). С течением времени, по мере поднятия уровня в затрубном пространстве скважины, депрессия падает до нуля, дебит так же снижается и становится равным нулю. Такой вид исследования предполагает остановку скважины на длительное время, что приводит к снижению темпа отбора нефти [4].

Кроме того, определение характеристик в процессе эксплуатации необходимо для диагностики состояния системы «скважина-насос» с целью принятия управленческих решений по подбору нового оборудования, изменению настроек, режима работы уже имеющегося оборудования.

ТМС в современных УЭЦН позволяет контролировать давление, температуру потока добываемой жидкости на входе в насос (приеме), температуру погружного электродвигателя (ПЭД) и другие параметры. На рисунке 1 представлена схема нефтяной скважины, оборудованной УЭЦН.



**Рис. 1. Схема нефтяной скважины, оборудованной УЭЦН:**  
1 – манометр; 2 – обратный клапан; 3 – НКТ; 4 – УЭЦН; 5 – ТМС;  
6 – эксплуатационная колонна; 7 – пласт.

Основными элементами системы «скважина-насос» являются: пласт (7), эксплуатационная колонна (6), УЭЦН (4), ТМС (5), насосно-компрессорные трубы (НКТ) (3), манометры (1), обратные клапаны (2).

Процесс извлечения нефти из нефтяного пласта заключается в следующем. Газожидкостная смесь (ГЖС) из нефтяного пласта (7) поступает в эксплуатационную колонну скважины (6), затем на прием насоса (4). Создав необходимый напор, УЭЦН направляет поток в НКТ (3), по которым ГЖС достигает устья скважины и попадает в систему сбора.

УЭЦН представляет собой часть системы «скважина – насос». Давление на приеме насоса, фиксируемое ТМС, – это результат взаимодействия всех компонентов системы. Изменение давления – это «отклик» на возмущение со стороны любой из ее частей. Поэтому информацию, поступающую с ТМС, можно использовать для определения характеристик отдельных частей системы «скважина – насос». При наличии такой информации, хранящейся в информационных системах, можно получить необходимые характеристики по скважине путем обработки информации при помощи специальных расчетов, без дополнительных исследований.

Для нахождения притока (дебита) скважины предлагаемым способом [3] необходимым условием является остановка скважины на некоторое время. Как правило, достаточно времени от 1 часа до 6 часов. Остановка может быть произведена принудительно дистанционно, либо может быть использована остановка, произошедшая по техническим, технологическим или геологическим причинам (срабатывание защит, техническое обслуживание наземного оборудования и др.). После остановки УЭЦН жидкость из пласта продолжает поступать в скважину, значение динамического уровня  $H$  в затрубном пространстве уменьшается, давление на приеме насоса  $p$  соответственно растет. Темп изменения  $p$  с течением времени  $t$  снижается, как и темп изменения  $H$  [2; 3].

Алгоритм нахождения притока заключается в определении объема жидкости  $V$  при изменении  $H$  на величину  $\Delta H$ , соответственно  $p$  на  $\Delta p$  за промежуток времени  $\Delta t$ . В качестве мерной емкости используется внутренний объем эксплуатационной колонны скважины за исключением объема, занимаемого НКТ.

Основное уравнение для определения притока (дебита) скважины [2; 3]:

$$q(t) = c \frac{dp(t)}{dt}, \quad (1)$$

где:  $p(t)$  – эмпирическая функция давления на приеме УЭЦН, получаемая посредством аппроксимации фактических данных полиномом  $n$ -ой степени;

$c$  – константа, учитывающая некоторые размеры элементов скважины и свойства нефти:

$$c = \frac{sa}{pg}, \quad (2)$$

$$s = \frac{\pi(D^2 - d^2)}{4}, \quad (3)$$

где  $s$  – площадь кольцевого пространства;

$D$  – внутренний диаметр эксплуатационной колонны скважины;

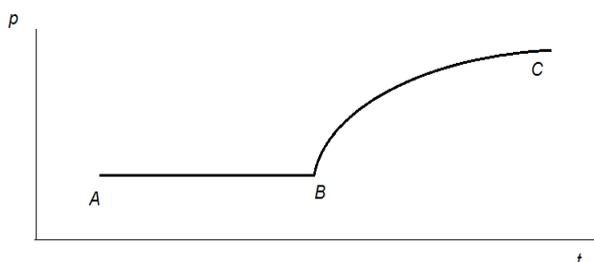
$d$  – внешний диаметр НКТ;

$a$  – отношение длины участка скважины по стволу к длине по вертикали, на котором происходит восстановление динамического уровня;

$p$  – плотность нефти;

$g$  – ускорение свободного падения.

Дебит нефтяных скважин измеряется стационарными автоматизированными групповыми замерными установками (АГЗУ), которые являются сертифицированными средствами измерения дебита жидкости скважин. На рис. 2 показана динамика изменения давления  $p(t)$  на приеме УЭЦН в постоянном режиме работы.



**Рис. 2. Давление на приеме УЭЦН  $p(t)$  в постоянном режиме работы и после остановки УЭЦН:**

$AB$  – постоянный режим работы;  $BC$  – установка остановлена

Участок  $A-B$  – это участок, на котором давление на приеме УЭЦН постоянно. В точке  $B$  по какой-то причине происходит остановка УЭЦН (принудительно или в результате объективных причин), поэтому на участке  $B-C$  давление растет. Проверки адекватности алгоритма, представленного в работах [2§ 3] заключается в сравнении дебита, замеренного АГЗУ на участке  $A-B$  с притоком в точке  $B$ , рассчитанного согласно алгоритму на основании данных с ТМС участка  $B-C$ .

В расчете приняты следующие допущения:

1. В «затрубном» пространстве от динамического уровня до приема УЭЦН образуется «застойная зона», в которой находится жидкость с плотностью равной среднему значению нефти дегазированной и нефти, находящейся в пластовых условиях;
2. НКТ располагаются концентрично относительно эксплуатационной колонны скважины.

Расчет дебита скважины 2053Р, Федоровского месторождения, пласт ЮС1 согласно алгоритму [2] заключается в следующем:

1. Исходные данные для расчета:

$$D = 0,1304 \text{ м};$$

$$D = 0.073 \text{ м};$$

$$a = 1.0009;$$

$$\rho = 799,5 \text{ кг/м}^3;$$

В таблице 1 представлены 17 точек измерения давления на приеме УЭЦН  $p(t)$  через некоторые промежутки времени и соответствующие им значения рассчитанного притока  $q(t)$  (последовательность расчета представлена ниже).

Таблица 1

**Экспериментальные данные изменения давления  $p(t)$  на приеме УЭЦН и данные  $q(t)$**

<i>N точки</i>	<i>t, час:мин</i>	<i>p(t), МПа, факт</i>	<i>q(t), м<sup>3</sup>/сут, расчет</i>
1	0:00	9,18	66,3
2	0:02	9,28	65,0
3	0:05	9,38	62,8
4	0:07	9,47	61,2
5	0:10	9,57	59,6
6	0:13	9,67	57,6
7	0:16	9,77	55,9

Окончание табл. 1

№ точки	t, час:мин	p(t), МПа, факт	q(t), м <sup>3</sup> /сут, расчет
8	0:18	9,87	54,4
9	0:21	9,97	52,5
10	0:25	10,07	50,2
11	0:29	10,17	47,4
12	0:32	10,26	45,2
13	0:36	10,36	42,7
14	0:40	10,46	40,3
15	0:44	10,56	37,7
16	0:49	10,66	34,8
17	0:53	10,76	32,0

## 2. Расчет:

- по формуле (2) находим константу  $c = 1,1696 \text{ м}^3/\text{Мпа}$ ;

- по 17 фактическим точкам (табл. 1) методом наименьших квадратов получаем зависимость:

$$p(t) = -393,68t^2 + 56,671t + 9,1828;$$

- адекватность полученного уравнения проверяется расчетом коэффициента детерминации ( $R^2 = 0,9993$ )

- находим производную функции  $p(t)$ :

$$p'(t) = -787,36t + 56,671;$$

- по формуле (1) рассчитываем  $q(t)$  для точек 1–17 (таблица 1).

- сравниваем замер АГЗУ ( $q_{\text{АГЗУ, факт}}$ ) в точке В при давлении  $p(t) = 9,38$  МПа (среднее давление на приеме УЭЦН на постоянном режиме) с расчетным значением  $q(t)$  при том же давлении:

$$q_{\text{АГЗУ, факт}} = 62 \text{ м}^3/\text{сут};$$

$$q_{\text{расч}} = 62,8 \text{ м}^3/\text{сут};$$

Относительная погрешность = 1,3%.

Аналогичные расчеты выполнены для двух других скважин Федоровского месторождения, но эксплуатирующих другие пласты. Результаты сведены в таблицу 2.

Таблица 2

Результаты проверки адекватности алгоритма расчета  $q(t)$

№ п/п	Куст	Скважина	Пласт	УЭЦН	q АГЗУ, м <sup>3</sup> /сут	q расч, м <sup>3</sup> /сут	отн. погрешн., %
1	–	2053Р	ЮС1	ЭЦНД 5А-35-1600	62	62,8	1,3
2	886	12435	ЮС2	ЭЦНД 5А-35-2000	37	36,8	– 0,5
3	600	4474	АС4-8	ЭЦНД 5А-35-1100	63	16,7	– 73,5

Как видно из таблицы 2, относительная погрешность по скважинам 2053Р и 12435 вполне приемлемая для практических расчетов. По скважине 4474 относительная погрешность высокая, что связано с особенностью физических свойств нефти пласта АС4-8, а именно склонностью к пенообразованию в «затрубном» пространстве скважин. Эта особенность проявляется при сопоставлении давления на приеме УЭЦН, полученного с ТСМ и расчетного зна-

чения при «отбивке» динамического уровня. Показатель «пенообразующая способность» учитывается исследователями, работающими в «нефтяной тематике» [1]. Все нефти, будучи сложными химическими соединениями, в той или иной степени содержат пенообразующие поверхностно-активные вещества и различаются по своим пенообразующим свойствам. Во ВНИИСПТнефть был разработан метод, по которому склонность жидкости к пенообразованию определяется наибольшим (критическим) диаметром проволочного кольца  $d_{кр}$  (мм), вынуженного из исследуемой жидкости в газовую среду, на котором пленка этой жидкости может существовать не менее одной секунды [5]. Чем больше  $d_{кр}$ , тем выше пенообразующие свойства.

В практических расчетах для скважин с высокой «пенообразующей способностью» нефти необходимо использовать в расчетах плотность «пены». Для скважин Федоровского месторождения (пласт АС4-8) она равна  $\rho = 516 \text{ кг/м}^3$  (получена при исследовании скважин методом волнометрирования). При подстановке данного значения в расчет по скважине 4 474 относительная погрешность обращается в ноль.

Таким образом, расчетный дебит скважины, получаемый посредством обработки информации с приема УЭЦН согласно алгоритму, представленному в работе [2; 3] хорошо согласуется с замерами АГЗУ. Поэтому данный алгоритм может быть использован в дальнейших расчетах по контролю за изменениями характеристик, диагностике системы «скважина-насос», что позволит принимать необходимые управленческие решения без проведения дополнительных исследований и геолого-технических мероприятий.

*Elmendeev A. P.*

## ASSESSMENT OF THE ADEQUACY OF THE FLOW CALCULATION OF THE OIL WELL

*Surgut*

In the paper the adequacy of the estimated production rate of oil wells is assessed on the basis of the information obtained from the thermo-manometric system of the submersible pump. For this, the inflow of the well obtained by the calculation is compared with the measured flow rate. Such an assessment is necessary to confirm the possibility of using the algorithm [2,3] to determine the characteristics of the "well-pump" system.

*Keywords: ESP, thermo-manometric systems, intake pump, well, rate, inflow, pressure, processing, information, approximation, algorithm.*

### Список использованной литературы

1. Дроздов А. Н. Технология и техника добычи нефти погружными насосами в осложненных условиях : учеб. пособие. М. : МАКС Пресс, 2008. 312 с.
2. Микшина В. С., Ельмендеев А. П. Алгоритм нахождения притока нефтяной скважины, оборудованной погружной установкой электроцентробежного насоса // Инновационные наукоемкие технологии : докл. III междунар. науч.-техн. конф. ; под общ. ред. В. М. Панарина. Тула : Изд-во «Инновационные технологии», 2016. С. 15–18.
3. Микшина В. С., Ельмендеев А. П. Способ математической обработки информации, поступающей с приема электроцентробежного насоса в процессе добычи нефти // Инновация на основе информационных систем и коммуникационных технологий, 2015. Т. 1. С. 493–495.
4. Мешков В. М., Каримов Б. М., Зубаиров С. Г., Загорский В. К. Определение продуктивных параметров скважин, оборудованных термоманометрической системой, при пуске в работу // Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело». 2012. № 6. С. 242–250. URL: <http://www.ogbus.ru>.

5. Позднышев Г. Н., Емков А. А., Новикова К. Г. и др. Метод определения склонности нефтей (нефтепродуктов) к пенообразованию // Нефтяное хозяйство. 1977. № 11. С. 39–40.

УДК 621.644.039.586.039.68

*Соловьев Н. А., Аронов С. Я., Острейковский В. А.*

## **О ПРОМЫШЛЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ КОМПРЕССОРНОЙ СТАНЦИИ ТРАНСПОРТА ГАЗА**

*г. Сургут*

Авторы статьи описывают результаты анализа, показывающие, что развитие подходов в оценке и регулировании промышленной безопасности с употреблением показателей риска аварии в ближайший период будет происходить в направлении использования результатов технического диагностирования и вычисления вероятности аварии. Техническое диагностирование позволяет не только оценить прочность объекта, вероятность его разрушения, но и рассчитать рост дефектов и строить кривые вероятности безотказной работы.

В настоящий момент система управления промышленной безопасностью опасных производственных объектов строится на риск ориентированном подходе.

При оценке риска аварий (отказов) используется статистика аварий (отказов), содержащая информацию о классе объектов, но не учитывается техническое состояние конкретного объекта, что не обеспечивает необходимую точность.

Результаты анализа отказов и режимов эксплуатации трубопроводных обвязок газоперекачивающих агрегатов компрессорных станций ПАО «Газпром» подтверждают необходимость проведения их технического диагностирования при оценке риска аварий (отказов).

*Ключевые слова: компрессорная станция, авария, риск аварии, механическое воздействие, брак строительства и изготовления, конструктивный недостаток, коррозия, износ оборудования.*

Основными целями Политики ПАО «Газпром» в области промышленной безопасности является обеспечение надежности работы и снижение риска аварий на опасном производственном объекте (ОПО).

В марте 2013 г. внесено дополнение в Федеральный закон № 116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов», регламентирующее количественную оценку промышленной безопасности по результатам оценки риска аварии на ОПО.

Основополагающим документом в части анализа риска является РД 03-418-01 «Методические указания по проведению анализа риска опасных производственных объектов». Документ включает общие положения по оценке риска аварии и дает представления о таких методах (методиках), как: метод проверочного листа; метод «что будет, если...»; метод анализа видов и последствий отказов (АВПО); метод анализа опасности и работоспособности (АОР, в английской транскрипции HAZOP); анализ деревьев отказов и событий и ряд других [1].

Содержащиеся в этих методиках требования к процедуре установления показателей риска и рекомендации по анализу возможных источников опасностей и аварий, предполагаемых частот их реализации, рассмотрению эскалации процессов разрушения, оценке последствий аварий и менеджменту промышленной безопасности, несомненно, полезны для обеспечения промышленной безопасности.

Однако применяемые в настоящее время методики оценки риска аварии имеют существенные ограничения, связанные со следующими обстоятельствами. Непосредственную количественную оценку риска аварии  $R$  выполняют, как правило, с использованием выражений [6]:

$$R = FEV \quad (1)$$

или

$$R = PEV, \quad (2)$$

где  $F$  – частота (статистическая) аварий группы однотипных объектов;

$E$  – индекс описания эскалации аварии;

$V$  – оценка результирующих потерь;

$P$  – вероятность аварии конкретного объекта.

Размерность риска выражается в денежных единицах в случае, когда потери можно выразить в денежных единицах. В выражении (1) употребляют показатель частоты (статистической) аварий, который, как правило, имеет существенные неопределенности, связанные с отсутствием или ограничениями в достоверности информации о статистике аварий. Кроме того, при оценке промышленной безопасности задачей является определение возможности аварии конкретного объекта. Поэтому для расчета риска аварии предпочтительно применение выражения (2), в котором используют показатель вероятности аварии объекта, который подвергается экспертизе.

Следует сказать, что существующие методические документы [1; 5] не имеют четких, исчерпывающих рекомендаций по проведению анализа, которые давали бы однозначные результаты. Сравнительный анализ показал, что разброс оценок риска достигает 2–3 и более порядков. Это означает, что нужны серьезные усилия по существенному улучшению методик оценки риска.

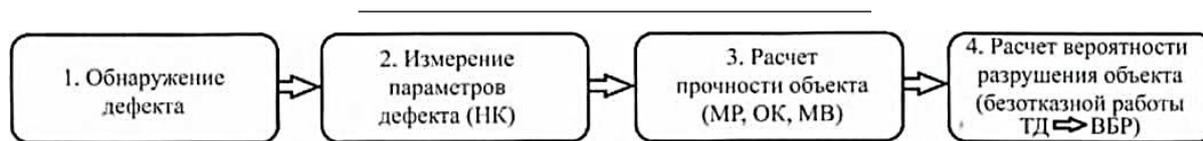
Перспективным направлением развития технологии оценки риска является использование методов технического диагностирования (ТД) и неразрушающего контроля (НК). Необходимость применения ТД и НК в техногенной сфере возникла, когда потребовалось устанавливать причины аварий и их связи с состоянием материалов конструкций и их дефектностью. На первых этапах задача состояла в нахождении дефектов и их нормировании. Развитие этих подходов шло в направлениях увеличения объема информации о состоянии объекта контроля и выявлении причин неоднозначности результатов оценки.

В настоящее время техническое диагностирование применительно к решению задачи оценки риска заключается в определении технического состояния объекта для оценки его безопасности (посредством оценки риска аварии) и прогнозирования ресурса с установлением вероятности аварии на протяжении всего периода работы объекта. Использование ТД и НК позволяет перейти от преимущественно качественной оценки риска к количественной оценке по всему жизненному циклу объекта. Достаточно хорошо развитые подходы оценки с помощью теории надежности с применением показателей вероятности безотказной работы (ВБР) имеют существенные ограничения, связанные с неопределенностью достоверности статистических данных.

Главным достоинством подхода, основанного на использовании информации, полученной при выполнении ТД, является оценка технического состояния конкретного объекта, позволяющего оценить проблемы этого объекта, а не статистику отказов, которая не обладает требуемой точностью и не относится к тому объекту, состояние которого анализируется.

В состав ТД входят: неразрушающий контроль (НК), механика разрушения (МР), анализ коррозионного состояния объекта контроля (ОК), металловедение (МВ).

Схема использования ТД для определения вероятности безотказной работы при оценке риска аварии представлена на рисунке 1.



**Рис. 1. Схема расчета вероятности разрушения объекта (безотказной работы – ВБР) с использованием методов технического диагностирования**

Критерий вероятности аварии (отказа) объекта связан с неопределенностью результатов операций технического диагностирования и расчетов прочности и ограниченностью информации. Анализ безопасности и надежности объектов в случае применения ТД следует проводить по цепочке: неразрушающий контроль → прочность → надежность → живучесть → риск → безопасность.

Рассмотрим более подробно элементы схемы, приведенной на рисунке 1.

1. Обнаружение дефектов при НК. При обнаружении дефекта должны быть учтены следующие показатели, создающие неопределенность в оценке результатов: вероятность обнаружения дефекта, вероятность пропуска дефекта, вероятность ложного обнаружения. При подходе, основанном на нормировании дефектов, используют термины «вероятность перебраковки» и «вероятность недобраковки». Все эти показатели формируют достоверность НК. Измерение параметров дефектов должно производиться с определением погрешностей измерения. Расчет прочности объекта (статической, циклической, долговременной, в ряде случаев динамической) следует проводить с учетом состояния материала объекта, условий нагружения, коррозионного состояния и погрешностей методик расчета. В результате этих расчетов должна быть определена вероятность разрушения (отказа). Углубленный анализ безопасности выполняется с использованием вероятностных подходов.

2. Измерение параметров дефектов проводят для расчета прочности объекта. Для расчетов прочности с использованием моделей механики разрушения (МР) необходимо иметь следующие основные параметры дефекта: координаты, размеры, форму и ориентацию. Измерение координат дефекта в настоящее время не представляет существенных проблем. Сложнее измерять форму и ориентацию дефекта. Однако современные методики НК позволяют это сделать с достаточной для расчетов точностью. Кроме того, при консервативном подходе принято дефекты схематизировать в виде наиболее опасных дефектов – трещин. Наиболее важным для расчета параметром являются размеры дефекта.

3. Расчет прочности объекта. Катастрофическая ситуация наступает преимущественно при достижении дефектом (трещиной) критических размеров, в результате чего происходит разрушение объекта. Разрушение может быть вязкое, вязко-хрупкое либо чисто хрупкое. Кроме того, может образоваться сквозная трещина, которая приводит к истечению.

4. Расчет вероятности разрушения (ТД → ВБР). Вероятность разрушения (отказа) должна быть определена по результатам оценки неопределенностей, связанных с неразрушающим контролем и разбросом результатов расчетов прочности объекта с учетом показателей разброса параметров (размеров) дефектов, неопределенностей свойств материалов и расчетных моделей МР.

Описанные выше подходы планируется применять при оценке анализа риска на объектах ПАО «Газпром» в частности на компрессорных станциях.

В комплекс компрессорной станции (КС) входят один или несколько компрессорных цехов (КЦ) [4].

В свою очередь, в состав КЦ входят, как правило, следующие установки, системы и сооружения:

- группа газоперекачивающих агрегатов;
- узел подключения к магистральному газопроводу (МГ);
- входной и выходной шлейфы с границей по кранам № 7 и № 8 на узле подключения к

МГ;

- установка очистки газа с системой сбора, хранения и утилизации жидких и твердых отходов;
- установка воздушного охлаждения газа;
- установка подготовки топливного, пускового и импульсного газа;
- технологические (в том числе и межцеховые) коммуникации с трубопроводной арматурой;
- система электроснабжения КЦ;
- автоматизированная система управления технологическими процессами;
- вспомогательные системы и устройства (маслоснабжения, тепловодоснабжения, пожарной безопасности, контроля загазованности, отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха, канализации, сжатого воздуха и др.).

Наиболее нагруженными элементами ТПО КЦ являются угловые сварные соединения, по которым преимущественно и происходят отказы с разгерметизацией газопроводов.

На рисунке 2 приведен участок ТПО ГПА линии 3-бис с угловым сварным соединением, по которому произошел отказ.



Рис. 2. Участок ТПО ГПА с угловым сварным соединением, по которому произошел отказ

На рисунке 3 приведен результат теплового контроля участка ТПО.

Для участка линии 3-бис с угловым сварным соединением ТПО ГПА, с типом двигателя СТД12500, характерны следующие режимы эксплуатации:

- повышение температуры до 120 град. С металла ТПО при пуске ГПА;
- резкое снижение температуры металла ТПО до  $-60$  град. С при дросселировании газа в момент стравливания газа с ТПО ГПА.

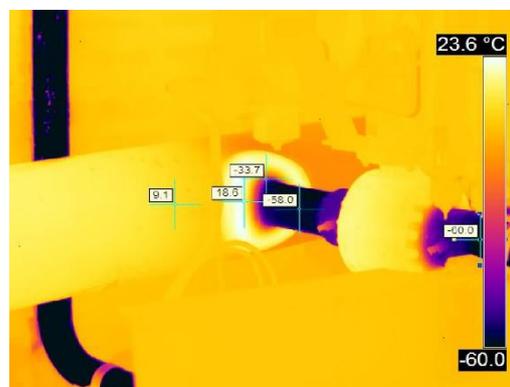
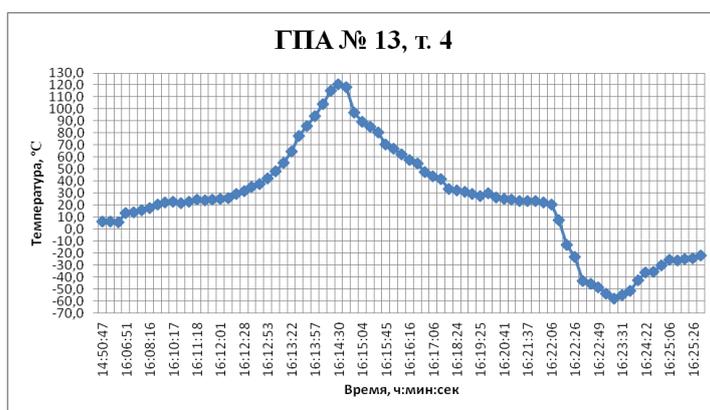


Рис. 3. Результаты теплового контроля участка ТПО ГПА с угловым сварным соединением

На рисунке 4 приведен график изменения температуры в месте углового сварного соединения «линия 3-бис – свечная линия» при пуске агрегата с последующим стравливанием газа из контура.

По результатам обследований делается вывод, что причинами отказов явились:

- брак, допущенный при строительном-монтажных работах (недопустимые катеты, перегрев тонкой стенки патрубка, подрезы и наплывы);
- остаточные сварочные напряжения (не устраненные из-за отсутствия термообработки при СМР);
- внешние нагрузки, такие как вибрация и появление дополнительных механических напряжений по причине температурной деформации и заземления, механические характеристики металла сварного шва;
- снижение характеристик трещиностойкости по причине достижения отрицательных температур в момент дросселирования газа.



**Рис. 4. График изменения температуры в месте углового сварного соединения «линия 3-бис – свечная линия» при пуске агрегата с последующим стравливанием газа из контура**

При изменении температуры изменяется критический коэффициент интенсивности напряжений, при достижении которого происходит хрупкое разрушение.

Для оценки дефектности сварных соединений используются визуально-измерительный контроль (ВИК), магнитопорошковый контроль (МПК), ультразвуковой контроль (УЗК).

ВИК позволяет оценить поверхностные дефекты соединения, такие как:

- дефекты формы шва;
- подрезы, свищи, поры, брызги;
- трещины, имеющие достаточное раскрытие.

Методом МПК выявляются трещины с выходом на поверхность.

УЗК позволяет выявить внутренние дефекты сварного соединения, такие как: трещины, несплавления, непровары, поры, шлак, включения.

Необходимо отметить факторы, которые препятствуют проведению неразрушающего контроля (НК) угловых сварных соединений:

1) при УК: толщина патрубка, геометрия шва, конструкция врезки, радиус скругления поверхности обечайки, наличие усиливающих накладок, дефекты поверхности с которой проводится контроль, размеры ПЭП;

2) при МК: грубая чешуйчатость, наплывы, брызги металла, межваликовые западания.

Указанные особенности ограничивают оценку технического состояния и вероятность безотказной работы угловых сварных соединений.

Использование акустико-эмиссионного контроля в режиме мониторинга позволит уменьшить неопределенность в оценке близости объекта к критическому состоянию.

**Заключение.** Выполненный в данной статье анализ показал, что развитие подходов в оценке и регулировании промышленной безопасности с использованием показателей риска аварии в ближайший период будет происходить в направлении использования результатов технического диагностирования и вычисления вероятности аварии. Техническое диагностирование позволяет не только оценить прочность объекта, вероятность его разрушения, но и рассчитать рост дефектов и строить кривые вероятности безотказной работы.

Использование методов технического диагностирования позволит существенно повысить надежность и достоверность оценки риска аварии конкретного объекта и фактически обеспечить реальную, полномасштабную количественную оценку риска.

*Soloviev N. A., Aronov S. Ya., Ostreikovskiy V. A.*

## **ABOUT INDUSTRIAL SAFETY OF GAS DISTRIBUTION OF COMPRESSOR STATION**

*Surgut*

Today the system of industrial safety control of hazardous production facility provides the risk focused approach.

The statistic of accidents (refusals) is used for risk assessment which contains the information on the class of objects but does not consider technical condition of concrete object. This approach does not provide sufficient accuracy.

Results of the refusal analysis and the pipeline operation modes of gas distribution units of compressor stations at Gazprom confirm the necessity of carrying out its technical diagnostics at the risk assessment of accidents (refusals).

*Keywords: compressor station, accident, risk of accident, mechanical impact, flaw of construction and production, constructive lack, corrosion depreciation of the equipment.*

### **Список использованной литературы**

1. РД 03-418-01 Методические указания по проведению анализа риска опасных производственных объектов.
2. СП 86.13330.2014 Магистральные газопроводы.
3. СТО Газпром 2-2.1-249-2008 Магистральные газопроводы.
4. СТО Газпром 2-3.5-454-2010 Правила эксплуатации магистральных газопроводов.
5. СТО Газпром 2-2.3-351-2009 Методические указания по проведению анализа риска для опасных производственных объектов газотранспортных организаций ОАО «Газпром».
6. Иванов В. И., Коновалов Н. Н., Котельников В. С., Котельников В. В., Мусатов В. В. Вопросы оценки риска аварии с использованием технического диагностирования // Контроль. Диагностика. 2015. № 3. С. 12–20.
7. Транспортировка. Единая система газоснабжения России. [Электронный ресурс]// Официальный сайт ПАО «Газпром». Режим доступа: <http://www.gazprom.ru/about/production/transportation/> 161 (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус.
8. Савонин, С. В., Москоленко А. В., Тюндер А. В., Князев С. Е., Арсентьева З. А. Анализ основных причин аварий, произошедших на магистральных газопроводах [Электронный ресурс] // «Нефть и Газ Сибири». 2015. № 4 (21). Режим доступа: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n2y2013/1618> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус.

## НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ В УСЛОВИЯХ СЕВЕРА

УДК 629.373

*Андреанов Д. Ю., Кудрявцев И. А., Фищенко П. А.*

### СНЕГОХОДНАЯ БЕСПИЛОТНАЯ ТРАНСПОРТНАЯ ПЛАТФОРМА СО СМЕЩАЕМЫМ ЦЕНТРОМ ТЯЖЕСТИ

*г. Йошкар-Ола*

Авторы статьи представляют принципиальную схему разработки беспилотной транспортной платформы со смещаемым центром тяжести, защищенную патентом Российской Федерации на полезную модель.

*Ключевые слова:* транспорт, платформа, снегоход, опорно-поворотное устройство, система управления.

Современные тенденции развития транспортного комплекса требуют новых решений для выполнения задач, стоящих перед экономикой страны и ее обороноспособностью.

Прогноз научно-технологического развития России до 2030 года [1] предусматривает дальнейшее развитие новых транспортных систем на основе обеспечения безопасности и экологичности, а также развитие новых интеллектуальных технологий. Особое место отводится изучению транспортных ситуаций в арктической и субарктической зонах, а также перспективных технических решений управления и логистики на транспорте.

Предлагаемая нами беспилотная снегоходная транспортная платформа со смещаемым центром тяжести относится к системам управления транспортными средствами, в частности к системам управления устойчивостью беспилотной платформы.

Известно вездеходное транспортное средство со смещаемым центром тяжести (Пат. RU 231941) [2], содержащее средство стабилизации кузова, обеспечивающее смещение центра тяжести относительно горизонтальной оси посредством двух или более домкратов шарнирно установленного кузова с кабиной. Недостатком известной конструкции является ее сложность.

Известна транспортная модель со смещаемым центром тяжести (Пат. EP 1703353) [3], содержащая систему обеспечения устойчивости, выполненную в виде двух выдвигных роликовых опор. Недостатком известной конструкции является ее сложность.

Технический результат нашей модели – это упрощение конструкции.

Указанный технический результат достигается тем, что беспилотная снегоходная транспортная платформа со смещаемым центром тяжести, несущая полезную нагрузку, содержит систему обеспечения устойчивости, предоставляющую собой несущее опорно-поворотное устройство, с возможностью смещения центра тяжести полезной нагрузки относительно вертикальной оси транспортной платформы, посредством кинематических связанных между собой приводных скошенных колец с возможностью их относительного поворота.

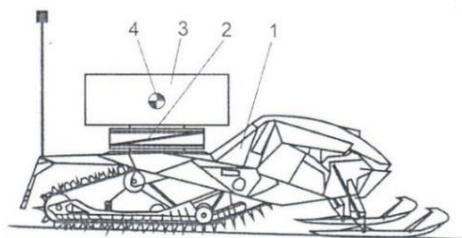


Рис. 1. Беспилотная снегоходная транспортная платформа

Сущность предлагаемой нами модели поясняется следующими рисунками: на рис. 1. изображена беспилотная снегоходная транспортная платформа, перемещающаяся по горизонтальной поверхности; на рис. 2 транспортная платформа, перемещающаяся по наклонной поверхности; на рис. 3 транспортная платформа, перемещающаяся по наклонным поверхностям, вид сзади.

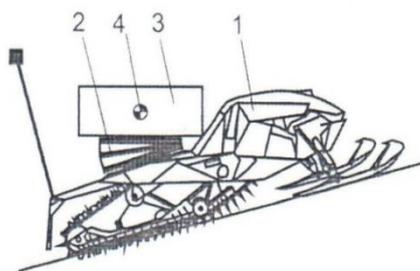


Рис. 2

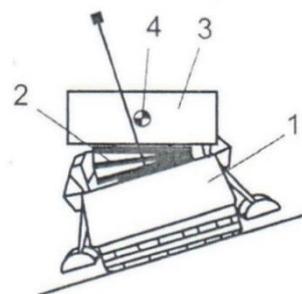


Рис. 3

Беспилотная снегоходная транспортная платформа 1 содержит опорно-поворотное устройство 2, несущее полезную нагрузку 3 с центром тяжести 4. Опорно-поворотное устройство 2 выполнено в виде кинематических, связанных между собой двух приводных скошенных колец 5 и 6, с возможностью их относительного поворота.

Беспилотная снегоходная транспортная платформа 1 может эффективно перемещаться вдоль и поперек наклонной поверхности за счет смещаемого центра тяжести 4 полезной нагрузки 3, посредством опорно-поворотного устройства 2. Смещение центра тяжести 4 происходит за счет изменения угла наклона площадки с полезной нагрузкой 3, который определяется суммированием углов наклона приводных скошенных колец 5 и 6 при относительном повороте.

Беспилотная снегоходная транспортная платформа обладает повышенной устойчивостью при движении по пересеченной местности, благодаря простому по конструкции опорно-поворотному устройству, обеспечивающему смещение центра тяжести полезной нагрузки (рис. 4).

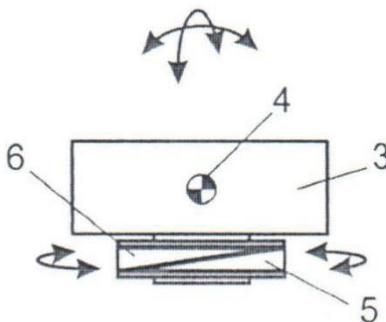


Рис. 4 Опорно-поворотное устройство

**Вывод:** Беспилотная снегоходная транспортная платформа со смещаемым центром тяжести, несущая полезную нагрузку и содержащая систему обеспечения устойчивости, отличающаяся тем, что система обеспечения устойчивости представляет собой несущее полезную нагрузку опорно-поворотное устройство с возможностью смещения центра тяжести полезной нагрузки относительно вертикальной оси транспортной платформы, посредством кинематически связанных между собой приводных скошенных колец с возможностью их относительного поворота, решает многие задачи безопасности и риска человека в экстремальных условиях и может быть полезна в решениях различных задач обороны

**Andrianov D. Yu., Kudryavtsev I. A., Fischenko P. A.**

## **SNOWMOBILE UNMANNED TRANSPORT PLATFORM WITH DISPLACED CENTER OF GRAVITY**

*Yoshkar-Ola*

In the present paper a schematic diagram of the development of the unmanned transport platform with a shifted center of gravity, protected by a patent of the Russian Federation for a utility model, is presented.

*Keywords: transport, platform, snowmobile, supporting-rotary device, control system.*

### **Список использованной литературы**

1. Прогноз научно-технологического развития России: 2030. Транспортные и космические системы / под ред. М. Я. Блинкина, Л. М. Гохберга. М. : Министерство образования и науки Российской Федерации, Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», 2014. 40 с.
2. Вездеходное транспортное средство со смещаемым центром тяжести (Патент RU 2381941).
3. Транспортная платформа со смещаемым центром тяжести (Патент EP 1703353).
4. Второй Всероссийский научно-практический семинар «Беспилотное транспортное средство с элементами с искусственного интеллекта (БТС – ИИ – 2015)». (9 октября 2015 г., г. Санкт-Петербург, Россия): труды семинара. СПб. : Издательство «Политехник-сервис», 2015. 140 с.
5. Государственная программа Российской Федерации «Развитие транспортной системы» : постановление правительства Российской Федерации № 319 от 15.04.2014 г.

УДК 621.763:539.319

*Власко А. Ф.*

## **ТЕПЛОВЫЕ МАКРОХАРАКТЕРИСТИКИ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ, ПЕРИОДИЧЕСКИ ЗАПОЛНЕННЫХ ВОЛОКНАМИ**

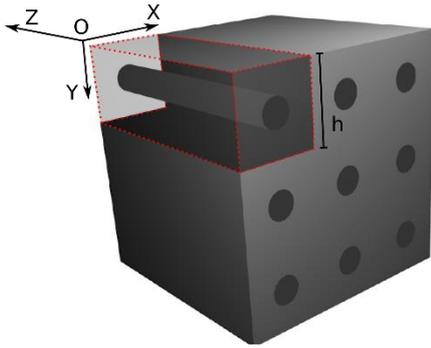
*г. Сургут*

Автор статьи использует метод асимптотического расщепления [4–5] задачи теплопроводности, без введения дополнительных гипотез, предполагая, что волокна в композите располагаются периодически, и величина периода на порядок меньше размеров самой конструк-

ции. Метод позволяет в явной форме получить коэффициенты теплопроводности для макроднородной среды, заменяющей неоднородную изначальную. Знание этих коэффициентов позволяет с помощью стандартных пакетов прикладных программ определить распределение температуры в конкретной конструкции.

*Ключевые слова:* математическое моделирование, тепловые макрохарактеристики, периодические композитные материалы, волокна.

**Постановка задачи.** Рассмотрим тело, материал которого образован связующим и волокнами, расположенными периодически в плоскости  $Oxy$  (рис. 1), на которое действуют какие-либо тепловые нагрузки. Случай задачи упругости рассмотрены в работах [1–3].



На рисунке представлено волокно круглого сечения, а пунктирной линией выделена одна ячейка, периодически повторяющаяся вдоль направлений  $Ox$  и  $Oy$ . Отношение размера периодической ячейки среды к характерному размеру тела является малым параметром:

$$h/L \ll 1 \quad (1)$$

**Рис. 1. Волокнистый материал** где  $h$  – размер ячейки;  $L$  – размер тела.

Для расчета коэффициентов теплопроводности макросреды необходимо решить следующие три краевые задачи на ячейке: уравнение –

$$\frac{\partial K_x^{\bar{\psi}}}{\partial \xi_x} + \frac{\partial K_y^{\bar{\psi}}}{\partial \xi_y} = 0, \quad \alpha = \{x, y, z\}; \quad (2)$$

закон теплопроводности на ячейке –

$$K_\alpha^{\bar{\psi}}(\bar{\xi}) = - \sum_{\beta \in \{x, y\}} \lambda_{\alpha\beta} \left( \frac{\partial \Psi^{\bar{\psi}}}{\partial \xi_\beta} + \delta_\beta \right) - \lambda_{\alpha z} \delta_\alpha, \quad \alpha \in \{x, y\}; \quad (3)$$

условие непрерывности на границах раздела матрицы и включений –

$$\left[ K_n^{\bar{\psi}} \right] = 0, \quad \left[ \Psi^{\bar{\psi}} \right] = 0, \quad \alpha = \{x, y, z\}; \quad (4)$$

условие периодичности ячейковых функций –

$$\Psi^{\bar{\psi}}(\bar{\xi})|_{\xi_\alpha=0} = \Psi^{\bar{\psi}}(\bar{\xi})|_{\xi_\alpha=1}, \quad K_\alpha^{\bar{\psi}}(\bar{\xi})|_{\xi_\alpha=0} = K_\alpha^{\bar{\psi}}(\bar{\xi})|_{\xi_\alpha=1}, \quad \alpha \in \{x, y\}. \quad (5)$$

Ячейковая функция  $K_z^{\bar{\psi}}(\bar{\xi})$  находится прямым вычислением на основе решения краевых задач (2)–(5):

$$K_z^{\bar{\psi}}(\bar{\xi}) = - \sum_{\beta \in \{x, y\}} \lambda_{z\beta} \left( \frac{\partial \Psi^{\bar{\psi}}}{\partial \xi_\beta} + \delta_\beta \right) - \lambda_{zz} \delta_\alpha, \quad \alpha \in \{x, y\}. \quad (6)$$

Коэффициенты теплопроводности макросреды  $\tilde{\lambda}_\alpha$  рассчитываются на основе результатов решения краевых задач (2)–(5) по формуле:

$$\tilde{\lambda}_\alpha = -\left\langle K_\alpha^{\bar{\zeta}}(\bar{\zeta}) \right\rangle, \quad \alpha \in \{x, y, z\}, \quad (7)$$

где  $\langle \rangle$  обозначает усреднение величины по ячейке:

$$\langle - \rangle = \int_0^1 \int_0^1 - d\xi_x d\xi_y. \quad (8)$$

В частном и наиболее распространённом случае, когда и связующее и волокна являются ортотропными средами, при чем одна из осей ортотропии направлена вдоль волокна  $\lambda_{\alpha\beta} = \delta_\alpha^\beta$ , тогда краевая задача (2)–(5) при  $\alpha = z$  имеет тождественно нулевое решение, и выражение для коэффициента теплопроводности макросреды  $\tilde{\lambda}_{zz}$  (7) с учетом равенства (6) принимает вид вычислительной формулы:

$$\tilde{\lambda}_{zz} = \langle \lambda_{zz} \rangle. \quad (9)$$

Формула (9) означает, что в направлении вдоль волокна коэффициент теплопроводности макросреды равен среднему значению коэффициентов на периодической ячейке, иначе такое правило вычисления макрохарактеристики называют правилом простой смеси. Будем поперечное сечение волокна называть включением в периодическую ячейку (рис. 2), тогда формула (9) может быть переписана в другом виде:

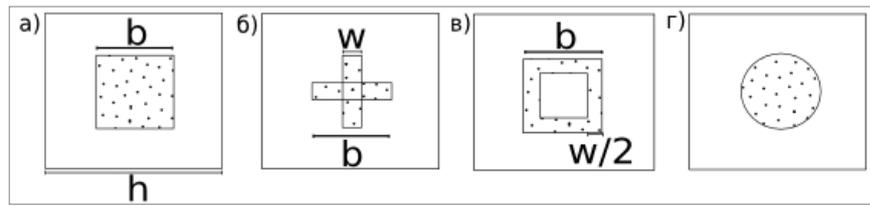
$$\lambda_{cp} = \frac{\lambda_B S_B + \lambda_C S_C}{S_B + S_C}, \quad (10)$$

где  $\lambda_B$  – теплопроводность включения,  $\lambda_C$  – теплопроводность связующего,  $S_B$  – площадь включения,  $S_C$  – площадь связующего. Другим распространенным правилом вычисления макрохарактеристики является правило обратной смеси.

$$\lambda_{oc} = \frac{\lambda_B \lambda_C (S_B + S_C)}{\lambda_C S_B + \lambda_B S_C}. \quad (11)$$

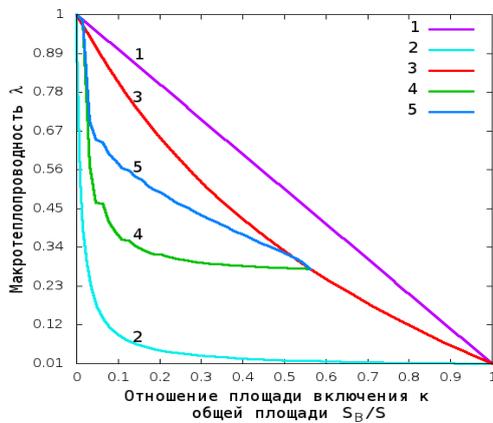
Эти правила будут использованы для сравнения при анализе полученных результатов.

**Расчеты и их анализ.** Для определения теплопроводности макросреды решается краевая задача (2)–(5) с помощью метода конечных элементов и уравнения (7). Расчеты производятся для ячейки, заполненной двумя материалами с разными значениями коэффициента теплопроводности: материалом связующего и материалом включения. Теплопроводность связующего равна 100, а теплопроводность включения равна 1 в безразмерных единицах, этим цифрам примерно соответствуют железо и керамика. Для демонстрации влияния формы включения на значение макрохарактеристики в расчетах использовались волокна разной формы поперечного сечения: круг, квадрат, крестовина, трубчатое (рис. 2). Значения макротеплопроводности в направлении осей Ох и Оу, лежащих в плоскости перпендикулярной волокну, совпадают за счет симметричности включения и определяются посредством численного счета, макротеплопроводность в направлении оси Oz определяется по формуле простой смеси (10). В качестве результатов на графиках показаны значения макротеплопроводности вдоль оси Ох.



**Рис. 2. Формы поперечных сечений:**  
а) квадрат, б) крестовина, в) трубчатое, г) круг

Рассмотрено отличие значений макротеплопроводности для случаев включений различной формы при одинаковой площади. На (рис. 3) график зависимости макротеплопроводности от отношения площади включения к площади ячейки. Под цифрой 3 – график для квадратного сечения, под 5 – крестовины, под 4 – трубчатое, под 1 – правило смеси (10), под 2 – правило обратной смеси (11). Кривые для всех включений лежат в промежутке между кривыми 1 и 2.



**Рис. 3. Сравнение теплопроводностей макросреды для включений различной формы:**  
2) квадрат, 3) трубчатое, 4) крестовина.  
И простейших формул: 1) правило смеси,  
2) правило обратной смеси

формы включения. При той же площади, разница между трубчатым и квадратным включениями очень существенна. Для трубчатого сечения при малых площадях включения, теплопроводность падает с большой скоростью. Видно также, что теплопроводность не зависит линейно от площади, например, в случае трубчатого сечения, при относительной площади равной 0.3, дальнейшее увеличение её площади не приводит к изменению теплопроводности.

Крестовина и трубчатое задаются таким образом, что линейный размер  $b$  является постоянным, меняется площадь включения, при этом толщина стенок включений  $w$  зависит от площади:

$$w = b - \sqrt{b^2 - S_B} \quad (12)$$

При  $w = b$  формы этих сечений примут вид квадрата, площадь в этой точке примерно равна 0.6.

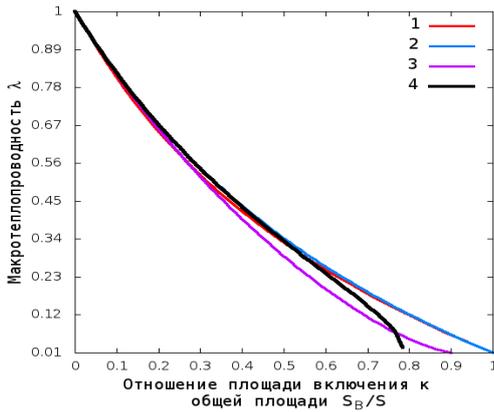
Как видно, отклонения численных расчетов от расчетов по правилу смеси весьма существенны. В случае квадрата это до 40 %, в случае трубчатого до 60 %, т. е. в этих случаях правило смеси при оценке теплопроводности в поперечном направлении дает совершенно неадекватные результаты. Также видна сильная зависимость значения теплопроводности от

$$\lambda_{XIII} = \lambda_C \left[ 1 + \frac{c}{\lambda_C / (\lambda_B + \lambda_C) + (1-c)/2} \right], c = \frac{S_B}{S} \quad (13)$$

где  $S$  – площадь всей ячейки;

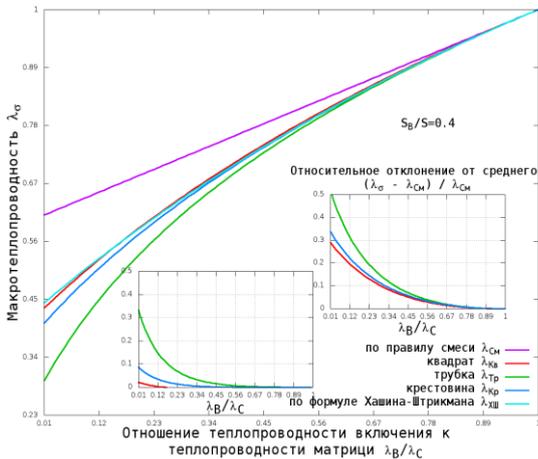
$$\lambda_{Ba} = \lambda_0 \left[ 1 - 48 \frac{\lambda_0}{\lambda_C} \left( \frac{1 - \lambda_B / \lambda_C}{(1-c) + (1+c)\lambda_B / \lambda_C} \right)^2 \frac{\sin^2(\pi/2)}{\pi^4} \left( c^2 - c^8 \left\{ \frac{1 - \lambda_B / \lambda_C}{1 + \lambda_B / \lambda_C} \right\}^2 \right) \right] \quad (14)$$

$$\lambda_0 = \lambda_C \left[ \frac{1+c+(1-c)\lambda_C/\lambda_B}{1-c+(1+c)\lambda_C/\lambda_B} \right]$$



**Рис. 4. Сравнение численного решения и аналитических формул:**  
1) квадрат, 2) формула Хашина-Штрикмана, 3) формула Ванина, 4) круг

тают формулы (13)–(14). Но в случае крупного размера включения расхождения становятся существенными. Макротеплопроводности для квадрата и круга, при малом размере включения, оказываются достаточно близки, то есть, в этом случае, форма включения оказывает слабое влияние на величину макротеплопроводности.



**Рис. 5. Изменение значения макротеплопроводности при изменении отношения теплопроводности. Матрица к теплопроводности включения**

любых соотношениях теплопроводностей, формула же Хашина имеет вполне удовлетворительные значения при относительно небольшой разнице теплопроводностей. Для соотношения теплопроводностей, равного вплоть до 0,34 отклонения от численного решения, даже для трубки не превышает 5 %. Для квадрата формула Хашина дает удовлетворительные результаты при любых соотношениях теплопроводностей.

**Заключение.** При небольшой разнице между теплопроводностями включения и связующего или при достаточно малом размере включения значения макротеплопроводности в поперечном направлении могут быть получены при помощи правила простой смеси. Если же размеры включения велики, или разность теплопроводностей велика, то в этих случаях правило смеси дает очень большие ошибки. Известные формулы (13)–(14) дают удовлетворительные результаты для большей разности теплопроводности и для более крупных включений, но они разработаны для конкретных форм включений, и область использования указанных формул ограничена.

На (рис. 4) – график зависимости макротеплопроводности от отношения площади включения к площади ячейки. Аналитические формулы сравниваются с численным решением для круглого включения. Как видно, при площади меньше 0.4 отклонение не превосходит 10 процентов, и фактически любая из этих формул может использоваться для подсчета характеристик. Дальнейшее увеличение площади включения приводит к существенному росту разницы, для формулы Ванина вплоть до 30 % и для формулы Хашина – Штрикмана – 100 %. В момент, когда включение круглой формы приближается к границам ячейки, это примерно 0.76, решение по формуле Ванина совпадает с численным решением, затем снова расходится. Отсюда следует, что в случае включений малого размера и определённой формы хорошо работают формулы (13)–(14). Но в случае крупного размера включения расхождения становятся существенными. Макротеплопроводности для квадрата и круга, при малом размере включения, оказываются достаточно близки, то есть, в этом случае, форма включения оказывает слабое влияние на величину макротеплопроводности. Также, по графику видно, что формула Хашина – Штрикмана практически совпадает с численным решением для квадрата, следовательно, можно считать, что в этом случае использование формулы Хашина – Штрикмана обоснованно.

В предыдущих тестах использовалось соотношение теплопроводности матрицы к включению, как 100 к 1. На графике (рис. 5) отражена зависимость макротеплопроводности от отношения теплопроводности включения к теплопроводности матрицы. Отношение площадей постоянно и равно 0,4 на нижнем малом графике, где представлено отклонение от формулы Хашина численных решений. На верхнем малом графике представлено отклонение от правила смеси. Правило смеси не состоятельно при

*Vlasko A. F.*

## **THERMAL MACRO CHARACTERISTICS OF COMPOSITE MATERIALS PERIODICALLY FILLED WITH FIBERS**

*Surgut*

In the paper the author uses the method of asymptotic splitting [4-5] of heat conduction problems, without providing additional hypotheses, suggesting that the fibers in the composite are arranged periodically, and the period value is substantially smaller than the entire design. The method makes it possible to obtain in explicit form thermal conductivity for a macrohomogeneous medium replacing the non-homogeneous initial one. Knowledge of these coefficients allows using standard software packages to determine the temperature distribution in a particular design.

*Key words: mathematical modeling, thermal macro-characteristics, periodic composite materials, fibers.*

### **Список использованной литературы**

1. Власко А. Ф. Исследование напряженного состояния в периодическом композитном материале вблизи отверстия // Северный регион: наука, образование, культура. 2015. Т. 2, № 2 (32). С. 154–157.
2. Власко А. Ф., Горынин Г. Л. Математическое моделирование механических свойств грунтов, армированных георешетками // Вестник Сургутского государственного университета. 2014. № 4 (6). С. 58–61.
3. Ванин Г. А. Микромеханика композитных материалов. Киев. : Наук. думка, 1985. 304 с.
4. Горынин Г. Л., Власко А. Ф. Математическое моделирование макрохарактеристик процесса теплопроводности для волокнистых материалов при расчете строительных конструкций на действие тепловых нагрузок // Вестник СибАДИ. 2012. № 3 (25). С. 69–74.
5. Горынин Г. Л., Немировский Ю. В. Метод асимптотического расщепления для упругой 3-периодической среды // Современные проблемы прикладной математики и механики: теория, эксперимент и практика [Электронный ресурс] : Междунар. конф., посвящ. 90-летию со дня рождения академика Н. Н. Яненко, Новосибирск, Россия, 30 мая – 4 июня 2011 г., Новосибирск, ИВТ СО РАН, 2011, № гос. регистрации – 0321101160.
6. Кристенсен Р. Введение в механику композитов : Пер. с англ. А. И. Бейля и Н. П. Жмудя / Под. ред Ю. М. Тарнопольского. М. : Мир, 1982. 334 с.

УДК 666.972:001.891.54:519.87

*Галиев И. М.*

## **МНОГОМАСШТАБНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ БЕТОНА**

*г. Сургут*

Автор статьи рассматривает вопрос о возможности многомасштабного моделирования бетона, показана необходимость использования связывания нано- микро- и макроструктурных свойств материала. Бетон – очень сложный, случайный, многомасштабный и многофазный материал. Его изучение в микро- и наномасштабах обеспечивает бесценной информацией о ключевых механических свойствах.

*Ключевые слова:* бетон, многомасштабный метод, молекулярная динамика, теория функционала плотности

Бетон является наиболее распространенным строительным материалом, который представляет собой наноструктурированный многофазный композиционный материал, который со временем меняет свои свойства [9; 14; 16]. Он состоит из аморфной фазы, кристаллов размером от нанометра до микрометра и связанной воды. Аморфная фаза гидросиликата кальция (C-S-H) является «клеем», который связывает конкретные компоненты и сам по себе является композиционным материалом. Свойства бетона, его физические характеристики существуют в многомасштабном диапазоне от нано до микро- и макроуровней. Свойства материала на каждом уровне формируются на основе свойств предыдущего уровня меньшего размера [19]. Процессы, происходящие в наномасштабе, в конечном счете влияют на технические свойства и характеристики материала в целом. Такие свойства, как теплопроводность, эластичность будут определяться не только свойствами составных частей материала, но и геометрией и размером составляющих его частей в наномасштабе [17].

В наномасштабе, с точки зрения математических формулировок, необходимо решить задачу о собственных значениях для оператора второго порядка - уравнения Шредингера:

$$H\psi(\vec{r}, t) = i \frac{\partial \psi(\vec{r}, t)}{\partial t}, \quad (1)$$

где для системы из  $n$  электронов и  $p$  ядер оператор Гамильтона в атомных единицах имеет вид:

$$H = -\frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \Delta_i - \frac{1}{2} \sum_{j=1}^p \Delta_j - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^p \frac{z_j}{r_{ij}} + \sum_{i=1}^n \sum_{k>i}^p \frac{1}{r_{ik}} + \sum_{j=1}^p \sum_{l>j}^p \frac{z_j z_l}{r_{jl}}. \quad (2)$$

Первые две суммы соответствуют кинетической энергии электронов и ядер, остальные три – потенциальная энергия взаимодействия электронов и ядер (здесь  $z$  – количество заряда). Уравнение линейно, но его решение является функцией очень многих переменных - координат электронов и координат ядер.

Методы, основанные на решении уравнения Шредингера, называются методами из первых принципов (*Ab initio*). Эти методы могут быть полезны для прогнозирования свойств новых соединений, которые еще не были синтезированы. Кроме того, расчеты из первых принципов позволяют лучше понять природу физических явлений, происходящих в уже изученных материалах. Основным преимуществом вычислений по первым принципам является описание взаимодействия атомов с учетом квантовых эффектов. К сожалению, диапазон применимости традиционных многочастичных методов (например, метод Хартри – Фока), при условии, что достигается необходимая точность, обычно ограничивается молекулами, содержащими небольшое количество химически активных электронов  $N < O(10)$ . Это связано с необходимостью решения многомерной задачи. Кроме этого, основная трудность решения таких задач связана с оптимизацией потенциальной энергии в условиях, когда необходимо найти и отделить близлежащие минимумы. Также известно, что химические формулы неоднозначно определяют структуру молекулярного соединения. Математически это означает, что задача поиска молекулярной структуры, обладающей требуемыми свойствами, не имеет единого решения [8]. Наличие данных трудностей привело к необходимости использования приближенных методов решения уравнения Шредингера.

Задачу решения уравнения Шредингера можно свести к задаче об экстремуме функционала, являющемся средним значением оператора Гамильтона (энергии).

$$E = \int \psi^* H \psi dV \geq \int \psi_0^* H \psi_0 dV = E_0, \quad (3)$$

где  $E_0$  – наименьшее значение гамильтониана системы,  $\psi_0$  – соответствующая собственная функция (точная волновая функция),  $\psi$  – любая произвольная функция, называемая пробной. Причем точное равенство  $E = E_0$  достигается, если пробная функция совпадает с точной волновой.

Основываясь на этом вариационном принципе квантовой механики, Вальтер Кон [5] и его коллеги показали, что волновая функция основного состояния однозначно отображается на электронную плотность. Другими словами, наиболее важная информация о многоэлектронной системе может быть получена из электронной плотности, которая подчиняется уравнению, которое зависит только от трех переменных. Это позже привело к появлению методов решения задач квантовой механики на основе теории функционала плотности (DFT). Однако эти работы не содержали конкретного метода построения функционала электронной плотности:

$$n(\vec{r}) = \sum_i^{def} |\varphi_i(\vec{r})|^2. \quad (4)$$

Практический способ построения функционала плотности приведен в работе Кона и Шэма [18]. Уравнение Кона-Шэма:

$$\left[ -\frac{\hbar}{2m} \nabla^2 + V_s(\vec{r}) \right] \varphi_i(\vec{r}) = E_i \varphi_i(\vec{r}) \quad (5)$$

дает орбитали  $\varphi_i(\vec{r})$ , по которым восстанавливается электронная плотность  $n(\vec{r})$  исходной многочастичной системы. Эффективный одночастичный потенциал  $V_s(\vec{r})$  записывается, как

$$V_s(\vec{r}) = V + \int \frac{e^2 n(\vec{r}')}{|\vec{r} - \vec{r}'|} d^3 r' + V_{XC}[n(\vec{r})], \quad (6)$$

где второе слагаемое – слагаемое Хартри – описывает электрон-электронное кулоновское отталкивание, а последнее слагаемое  $V_{XC}$  называется обменно-корреляционным потенциалом. Поскольку потенциал  $V_s$  зависит от плотности  $n(\vec{r})$ , которая зависит от  $\varphi_i$ , которая, в свою очередь, зависит от  $V_s$ , то уравнения Кона-Шэма могут быть решены итерационной процедурой последовательных приближений [10; 11]. На самом деле, нам неизвестен вид обменно-корреляционного потенциала  $V_{XC}$ . Но можно найти удачную его аппроксимацию. Наиболее простая – это так называемая локальная аппроксимация плотности (local-density approximation или LDA). Имеется интерполяционная формула, позволяющая получить выражение для обменно-корреляционной энергии, справедливое при любой плотности [4]:

$$V_{XC}[n(\vec{r})] = -\frac{1.222}{r(n)} - 0.066 \ln \left( 1 + \frac{11.4}{r(n)} \right) \quad (7)$$

Это выражение было проверено прямым вычислением методом Монте-Карло. Оно верно с точностью  $\pm 1\%$ . Существует большое количество работ, в которых были предложены многочисленные обобщения и усовершенствования LDA.

Современный уровень компьютерной техники позволяет использовать метод DFT для расчета системы, содержащей до  $O(10^4)$  атомов.

Для анализа упругих характеристик материала модуля упругости (модуль Юнга)  $K$  может быть вычислен по изменению полной энергии  $E$  частицы при ее деформации (удлинении или сжатии) вдоль определенного направления  $d$ :

$$K = \frac{\partial^2 E}{\partial d^2} \cdot \frac{d_0^2}{V_0} \quad (8)$$

где  $V_0$  и  $d_0$  – равновесный объем и равновесная длина частицы. Объем частиц определялся через объемы, занимаемые каждым атомом отдельно:  $V_A = 4/3 \pi R_A^3$ , где  $R_A$  – атомный радиус. Как правило, расчеты дают существенно завышенные оценки [6; 7].

Метод квантовой молекулярной динамики был предложен R.Car и M.Parrinello в 1985 году. Эта работа открывает путь для моделирования структуры сложных молекулярных систем, твердых тел, жидкостей, когда электрон-электронные взаимодействия учитываются в рамках формализма функционала плотности. Основное предположение теории Car-Parrinello состоит в том, что система взаимодействующих электронов и ионов рассматривается вместе; в то время как движение ядер рассматривается классически, а электронные степени свободы описываются квантово-механическими волновыми функциями.

Моделирование отдельных атомов позволяет вычислить электронную структуру и понять образование химических связей в молекуле, состоящей из отдельных атомов. Взаимодействие различных электронных облаков разных атомов зависит от расположения ядер. Молекула соответствует расположению ядер, в котором потенциальная энергия системы минимальна, что соответствует устойчивому положению ядер. Получение поверхности потенциальной энергии как многомерной функции координат ядер  $U = U(\vec{R}_1, \vec{R}_2, \dots, \vec{R}_N)$  путем последовательных вычислений на квантовом уровне вычислений есть основная и трудная задача. Стационарные точки этой функции, расстояния между минимумами, высота барьеров полностью определяют молекулярную структуру в этом приближении. Когда будут вычислены сильные связи атомов в молекуле, описание молекулярной системы может быть выполнено в более крупном масштабе времени, в котором действует классическая динамика сложной молекулы, связи атомов которой определяются квантовыми законами. Расчеты твердых тел проводятся в рамках методов плоских волн и псевдопотенциалов вместо самосогласованного поля. Это основа молекулярной динамики [12].

В настоящее время широко используется метод псевдопотенциала *ab initio* (*ab initio* PP) [20]. В этом методе при решении уравнений Кона-Шема истинная волновая функция заменяется псевдоволновой функцией. В этом случае состояния внутренних электронов исключаются из расчета, и остаются только волновые функции валентных электронов. Вследствие этого значительно снижаются затраты на вычисления. Здесь следует отметить, что из-за отсутствия состояний внутренних электронов полная энергия всех атомов в элементарной ячейке будет меньше на энергию этих состояний по сравнению с полноэлектронными методами. Это, однако, не мешает проведению расчетов, связанных с разностью энергий.

Так как бетон имеет сложный состав, то единственным способом моделирования бетона в наномасштабе является метод молекулярной динамики, использующий эмпирические псевдопотенциалы и учитывающий только отдельные фазы бетона [9]. Например, в последние годы возрос интерес к моделированию структуры C-S-H на атомном уровне, взаимодействию воды и растворов в различных цементных фазах [13], происхождению цементирования в цементных фазах [21] и, совсем недавно, к контролю механической прочности цементных систем путем создания связанной схемы в C-S-H и молекулярного взаимодействия с графитовым армированием [16].

Хотя моделирование на атомном уровне предоставляет беспрецедентную возможность манипулировать отдельными атомами и молекулами, необходимо иметь гарантию того, что улучшения, внесенные в наномасштабе, могут быть переведены на полезные свойства материала на микроуровне, а затем на макроуровне. Поэтому необходимо изучить построение взаимосвязи между нано- микро- и макромасштабами [14]. Например, в работе [22] представлена мезомасштабная модель бетона, в которой рассматриваются частицы, матричный материал и зона межфазного перехода как отдельные составляющие. Частицы представлены в виде эллипсоидов, сформированных по заданной кривой градуировки и помещенных случайным образом в образец. Из-за сложности микромасштабной модели для реалистичной структуры предложен многомасштабный метод объединения однородного макромасштаба с гетерогенной микромасштабной моделью. Применимость предлагаемой методологии проиллюстрирована для различных примеров растяжения и сжатия. Существуют и другие подходы к построению моста между уровнями гетерогенных систем. В работах [1-3] для этого используется асимптотическое расщепление.

*Galiev I. M.*

## MULTI-SCALE MODELING OF CONCRETE

*Surgut*

The paper considers the possibility of multiscale modeling of concrete. The necessity of using the binding of nanoscale, microscale and macrostructural properties of the material is shown. Concrete is a very complex, random, multiscale and multiphase material. Its study in micro- and nanoscale provides valuable information about the key mechanical properties.

*Keywords: concrete, multiscale method, molecular dynamics, density functional theory.*

### Список использованной литературы

1. Власко А. Ф. Исследование напряженного состояния в периодическом композитном материале вблизи отверстия // Северный регион: наука, образование, культура. 2015. Т. 2, № 2 (32). С. 154–157.
2. Галиев И. М. Особенности определения эффективных коэффициентов теплопроводности дисперсных сред // Северный регион: наука, образование, культура. 2015. Т. 2, № 2 (32). С. 165–170.
3. Горынин Г. Л., Власко А. Ф. Математическое моделирование макрохарактеристик процесса теплопроводности для волокнистых материалов при расчете строительных конструкций на действие тепловых нагрузок // Вестник СибАДИ. 2012. № 3 (25). С. 69–74.
4. Кобзев Г. И. Применение неэмпирических и полуэмпирических методов в квантово-химических расчетах : учеб. пособие // Оренбург: ГОУ ОГУ. 2004. 150 с.
5. Кон В. Электронная структура вещества – волновые функции и функционалы плотности // УФН. 2002. № 172 (3). С. 336–348.
6. Заводинский В. Г., Гниденко А. А. Квантово-механические методы исследования наноразмерных систем // Хабаровск. 2013. 49 с.
7. Заводинский В. Г., Чибисов А. Н., Гниденко А. А., Алейникова М. А. Теоретическое исследование упругих свойств малых наночастиц с различными типами межатомных связей // Механика композиционных материалов и конструкций. 2005. № 11 (3). С. 337–346.
8. Попов А. М. Вычислительные нанотехнологии // Comp. nanotechnol. 2014. № 1. С. 6–10.
9. Санчез Ф., Соболев К. Нанотехнологии в производстве бетонов. Обзор // Вестник ТГАСУ. 2013. № 3. С. 262–289.

10. Сатанин А. М. Динамика электронов в наноструктурах // Нижний Новгород. ННГУ. 2006.
11. Сатанин А. М. Введение в теорию функционала плотности : учеб.-метод. пособие // Нижний Новгород. 2009. 64 с.
12. Шилов М. А., Веселов В. В. Компьютерное моделирование молекулярных систем методом молекулярной динамики // Иваново: ИГТА. 2010.
13. Andreoni W., Curioni A. New Advances in Chemistry and Materials Science with CPMD and Parallel Computing // Parallel Computing. 2000. Vol. 26. P. 819–842.
14. Computational Modelling of Concrete Structures. Taylor & Francis Group, London. 2014. P. 1120.
15. Garboczi E. J., Bentz D. P., Frohnsdorff G. J. The past, present, and future of the computational materials science of concrete // In Proceedings of the J. Francis Young Symposium (Materials Science of Concrete Workshop) April 27–29, 2000. P. 27–29.
16. Hajilar S., Shafei B. Nano-scale investigation of elastic properties of hydrated cement paste constituents using molecular dynamics simulations // Computational Materials Science. 2015. 101. P. 216–226.
17. Hitesh R. Ashani, Sachin P. Parikh, J. H. Markna. Role of Nanotechnology in Concrete a Cement Based Material: A Critical Review on Mechanical Properties and Environmental Impact // International Journal of Nanoscience and Nanoengineering. 2015. 2 (5). 32–35.
18. Kohn W., Density Functional and Density Matrix Method Scaling Linearly with the Number of Atoms // Physical Review Letters. 1996. Vol. 76. P. 3168–3171.
19. Markus J. Buehler, Huajian Gao. Ultra-Large Scale Simulations of Dynamic Materials Failure // Handbook of Theoretical and Computational Nanotechnology. 2005. Volume X. P. 1–41.
20. Marx D., Hutter J. Ab initio molecular dynamics: Theory and implementation // Modern Methods and Algorithms of Quantum Chemistry. 2000. Vol. 1. P. 329–477.
21. Tarighat A., Zehtab, B., Tavakoli, D. An Introductory Review of Simulation Methods for the Structure of Cementitious Material Hydrates at Different Length Scales // Pertanika J. Sci. & Technol. 2016. 24 (1): P. 27–39.
22. Unger J.F., Eckardt S. Multiscale Modeling of Concrete. From Mesoscale to Macroscale // Arch Comput Methods Eng. 2011. 18. 341–393.

УДК 691.11: 51-74:001.891.54

*Горынин Г. Л., Григорьев Ю. И.*

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ИЗГИБА ОКОННОЙ ПЕРЕМЫЧКИ ИЗ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

*г. Сургут*

Авторы статьи представляют аналитические формулы для напряжений и перемещений в случае чистого изгиба балки для разномодульного материала. Проведен сравнительный анализ представленной разномодульной теории с теорией, изложенной в Своде правил на примере однопролетной балки.

*Ключевые слова:* деревянные композитные конструкции, моделирование изгиба разномодульных материалов, оконные перемычки, разномодульная теория, модуль упругости древесины.

**Введение.** Сегодня древесина является одним из ведущих конструкционных материалов, используемых в строительной индустрии. Из данного материала, а также из композитных

материалов на основе древесины [4] изготавливают самые разнообразные конструкции и изделия (фермы, балки, колонны, прогоны, ограждающие конструкции и т. д.). На территории Ханты-Мансийского округа имеются огромные запасы деловой древесины. Однако представленная в Своде правил (СП) 64.13330.2011 Деревянные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-25-80 (далее СП) теория расчета имеет существенные недостатки, что не позволяет использовать древесину в полной мере.

В соответствии с СП модуль упругости для древесины является постоянной величиной, равной 10 000 Мпа [9]. Однако экспериментальные данные, описанные в [5] и [6], показывают, что древесина имеет разные модули упругости при растяжении и сжатии, т. е. материал является разномодульным. На разномодульность древесины указывается в работах многих специалистов в данной области, таких как Е. К. Ашкенази [2], С. А. Амбарцумян [1], Г. Ф. Кузнецов [7], Ю. В. Немировский, А. В. Мищенко [8], [3]. Схематичный вид диаграммы изображен на рисунке 1.

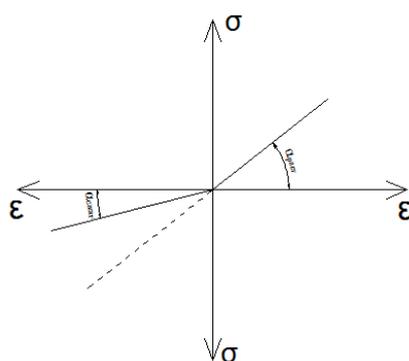


Рис. 1. Схематичный вид диаграммы напряжение-деформация для древесины при растяжении-сжатии

**2. Определение напряжений в балочной перемычке при изгибе с учетом разномодульности древесины.** В работе [3] показано, что при изгибе гипотеза плоского сечения выполняется в точности и для многослойных анизотропных конструкций. А в остальных случаях как первое асимптотическое приближение. Предположим, что данная гипотеза выполняется для разносопротивляемого материала. Таким образом, деформации вычисляются:

$$\varepsilon = (y - y_0) \chi \quad (1)$$

где  $\chi$  – это кривизна,

$y_0$  – координата нейтрального слоя.

Древесина подчиняется следующему закону:

$$\sigma_{\text{раст}}^{\text{др}} = -\chi E_{\text{раст}}^{\text{др}} \times (y - y_0) \quad (2)$$

$$\sigma_{\text{сж}}^{\text{др}} = -\chi E_{\text{сж}}^{\text{др}} \times (y - y_0), \quad (3)$$

где  $E_{\text{раст}}^{\text{др}}$  – модуль упругости древесины на растяжение;

$E_{\text{сж}}^{\text{др}}$  – модуль упругости древесины на сжатии.

Рассмотрим случай двуслойной балки – деревянный брус с металлической пластиной. Металл подчиняется закону Гука.

$\sigma = E \cdot \varepsilon$ , таким образом, напряжения для принятой схемы (рисунок 2) для металла будут равны:

$$\sigma_{\text{раст}}^{\text{мет}} = -\chi E_{\text{раст}}^{\text{мет}} \cdot (y - y_0), \quad (4)$$

где  $E_{\text{раст}}^{\text{мет}}$  – модуль упругости металла.

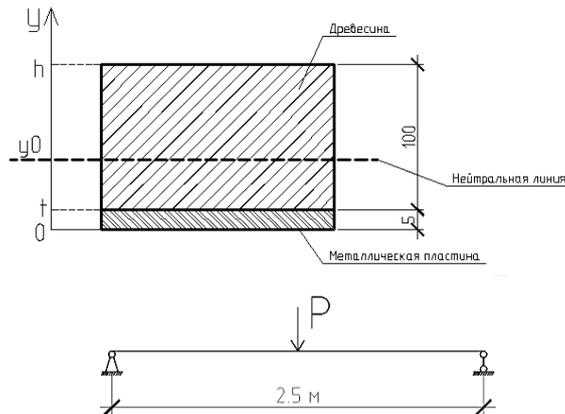


Рис. 2. Расчетная схема, поперечное сечение балки

Определим с помощью интегрирования величину  $[EI]$  для случая разномодульного материала:

$$M = \int -\sigma_x \cdot (y - y_0) dF = \chi \cdot [b \cdot (E_{\text{сж}}^{\text{др}} \cdot \frac{(h - y_0)^3}{3} - E_{\text{раст}}^{\text{др}} \cdot \frac{(t - y_0)^3}{3} + E_{\text{раст}}^{\text{мет}} \cdot \left( \frac{(t - y_0)^3}{3} - \frac{(-y_0)^3}{3} \right)] \quad (5)$$

Где жесткость:

$$[EI] = b \left( E_{\text{сж}}^{\text{др}} \cdot \frac{(h - y_0)^3}{3} - E_{\text{раст}}^{\text{др}} \cdot \frac{(t - y_0)^3}{3} + E_{\text{раст}}^{\text{мет}} \cdot \left( \frac{(t - y_0)^3}{3} - \frac{(-y_0)^3}{3} \right) \right). \quad (6)$$

$$\chi = \frac{M}{EI}.$$

Учитывая, что рассматривается изгиб балки, следовательно, продольные усилия  $N = 0$ , определим  $y_0$  из условия:

$$\int \sigma dF = 0 \quad (7)$$

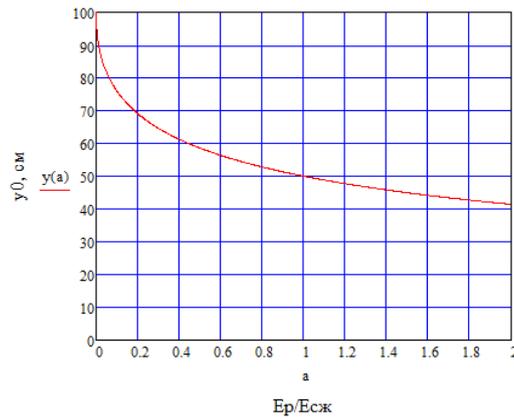
Подставив формулы 2,3,4 в формулу 7, получим квадратное уравнение на величину  $y_0$ , которая является координатой нейтральной линии:

$$E_{\text{сж}}^{\text{др}} \cdot (h - y_0)^2 - E_{\text{раст}}^{\text{др}} \cdot (t - y_0)^2 + E_{\text{раст}}^{\text{мет}} \cdot (t^2 - 2ty_0) = 0, \quad (8)$$

где:  $h$  – высота всего сечения;

$t$  – толщина металлической пластины.

В частном случае, при  $t = 0$  (пластина отсутствует) на рисунке 3 приведена зависимость между положением нейтральной оси и соотношением модулей упругости при растяжении-сжатии.



**Рис. 3. График зависимости положения нейтральной оси и отношения модулей упругости при растяжении сжатии**

Из графика видно, что при использовании значений модуля упругости из СП ( $y_0 = h/2 = 50$  мм (учитывая, что  $h$  приняли равным 100 мм).

Из этого следует, что при отношении, положение нейтральной линии приближается к верхней поверхности балки.

Рассмотрим 2 случая:

1 – материал моделируется законом Гука (по данным СП)

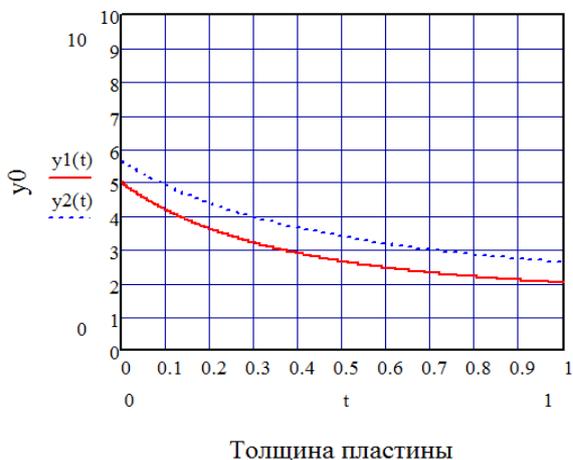
2 – моделируется разносопротивляемой теорией

Для этого используем следующие данные из таблицы 1:

Таблица 1

I случай	II случай
$h = 100$ мм, $b = 50$ мм	$h = 100$ мм, $b = 50$ мм
$E_{сж}^{др} = 10\ 000$ МПа	$E_{сж}^{др} = 16\ 667$ МПа
$E_{раст}^{др} = 10\ 000$ МПа	$E_{раст}^{др} = 10\ 000$ МПа
$E_{раст}^{мет} = 206\ 000$ МПа	$E_{раст}^{мет} = 206\ 000$ МПа

Используя выражение (8), построим график зависимости положения нейтральной линии от толщины металлической пластинки с учетом принятых выше значений модулей упругости для двух случаев:



$$y1(t) - \text{при } \frac{E_{раст}^{др}}{E_{сж}^{др}} = 1 \text{ (согласно СП)}$$

$$y2(t) - \text{при } \frac{E_{раст}^{др}}{E_{сж}^{др}} = 0,6 \text{ (согласно экспериментальным данным)}$$

**Рис. 4. График зависимости положения нейтральной линии от толщины металлической пластинки**

В качестве расчетных сопротивлений используем данные согласно СП для сосны 1 сорта и стали Ст3пс.

В таблице 2 представлены значения нагрузки Р, при которых достигаются расчетные сопротивления при толщине пластины  $t = 5$  мм.

Таблица 2

	Нагрузка при $\sigma_{\text{раст}} = R_{\text{раст}}^{\text{др}}$	Нагрузка при $\sigma_{\text{сж}} = R_{\text{сж}}^{\text{др}}$	Нагрузка при $\sigma_{\text{раст,мет}} = R_{\text{раст}}^{\text{мет}}$	$P_{\text{min}}$
1 случай	520 кгс	344 кгс	531 кгс	344 кгс
2 случай	722 кгс	320 кгс	736 кгс	320 кгс

Таким образом, при толщине пластины 5 мм несущая способность по разносопротивляемой теории получилась выше на 7 %, следовательно, при расчете на прочность данная теория не дает преимуществ.

**3. Исследование жесткости балки при изгибе с учетом разномодульности древесины.** Жесткость балки вычисляется по следующей формуле:

$$D = b \left( E_{\text{сж}}^{\text{др}} \cdot \frac{(h - y_0)^3}{3} - E_{\text{раст}}^{\text{др}} \cdot \frac{(t - y_0)^3}{3} + E_{\text{раст}}^{\text{мет}} \cdot \left( \frac{(t - y_0)^3}{3} - \frac{(-y_0)^3}{3} \right) \right) \quad (9)$$

Построим график зависимости жесткости изгиба балки (D) от толщины металлической пластины:

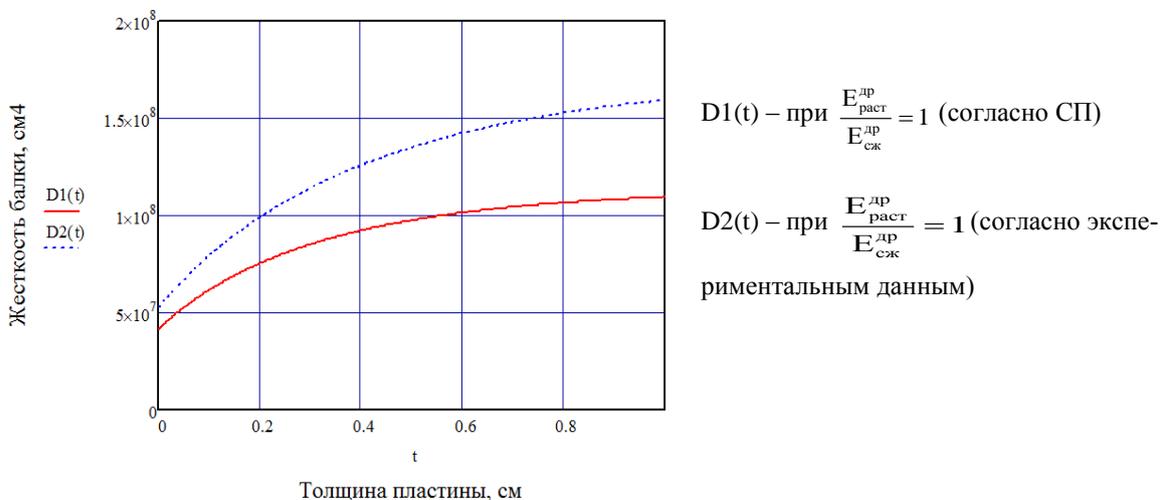


Рис. 5. График зависимости жесткости изгиба балки (D) от толщины металлической пластины

Используя следующие уравнения:

$$\frac{d^2 M}{dx^2} = -Q \quad (\text{полученное из уравнений равновесия})$$

$$\chi = -\frac{d^2 V}{dx^2} \quad (\text{полученное в [3]})$$

$$\chi = \frac{M}{[EI]},$$

получим уравнение изгиба:

$$\frac{d^4V}{dx^4} = \frac{q}{[EI]} \quad (10)$$

Далее, используя метод начальных параметров, при данной расчетной схеме с сосредоточенной нагрузкой  $P=300$  кгс (при толщине пластины  $t = 5$  мм), построим эпюры прогибов:

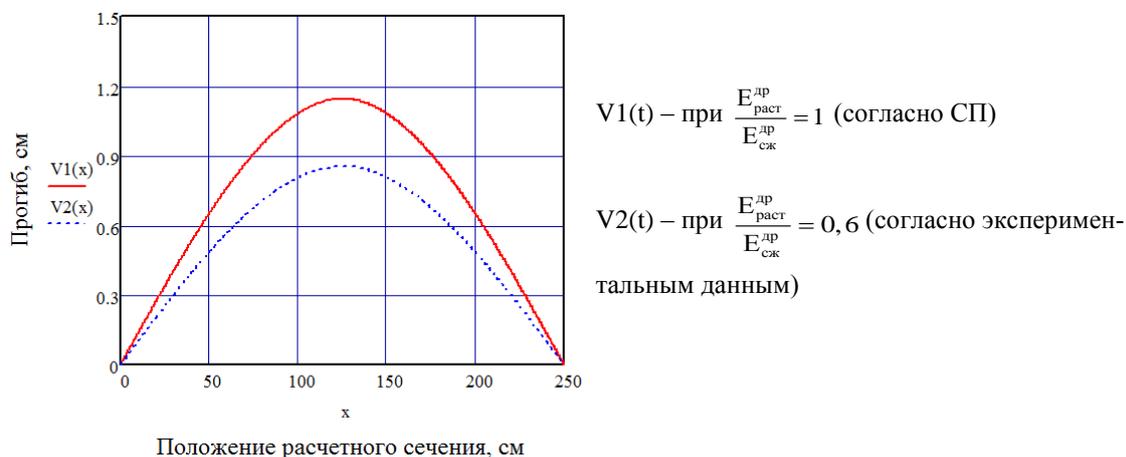


Рис. 6. Эпюра прогибов при  $P = 300$  кг и толщине пластины  $t = 5$  мм

На графике видно, что при использовании разномодульной теории максимальные перемещения ниже на 27,8 %, что является достаточно существенным.

Результаты сравнительного анализа при данной расчетной схеме и сосредоточенной нагрузки  $P = 300$  кгс представлены в таблице 3:

Таблица 3

Толщина пластины $t$ , мм	$\frac{\sigma}{\sigma_{СНИП}}$	$\frac{\nu}{\nu_{СНИП}}$
0	1,15	0,79
1	1,14	0,78
3	1,10	0,75
5	1,07	0,72

**Вывод.** Исходя из полученных результатов, можно сделать вывод, что расчет по прочности по разносопротивляемой теории приходит к завышенным значениям (около 7 %), а при расчете на жесткость наоборот приводит к занижению результатов (около 28 %). Следовательно, применение разносопротивляемой теории позволит существенно сократить затраты на производство тех конструкций, у которых при расчетах приоритетным является условие жесткости.

Gorynin G. L., Grigoryev Yu. I.

## MODELING OF THE BENDING OF A WINDOW INTERCHANGE FROM COMPOSITE MATERIALS

Surgut

The article considers the analytic formulas for stresses and displacements in the case of pure beam bending for a non-modular material. A comparative analysis of the presented non-modular theory and the theory outlined in the Code of Rules is carried out on the example of a single-span beam.

*Keywords: wooden composite structures, modeling of bending of non-modular materials, window bridges, non-modular theory, modulus of elasticity of wood.*

### Список использованной литературы

1. Амбарцумян С. А. Разномодульная теория упругости. М. : Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1982. С. 86–90.
2. Ашкенази Е. К. Анизотропия древесины и древесных материалов. М. : Лесная промышленность, 1978. С. 180–184.
3. Горынин Г. Л. Пространственные задачи слоистых анизотропных конструкций: монография. Ханты-Мансийск : Полиграфист, 2008. 262 с.
4. Горынин Г. Л., Григорьев Ю. И. Проблема использования LVL-бруса для строительства социально-значимых объектов на территории ХМАО – Югра // Северный регион: Наука, образование, культура. Вып. № 2/2015. Т. II. Сургут : ИЦ СурГУ, 2015. С. 136–140.
5. Горынин Г. Л., Григорьев Ю. И. Сравнительный анализ экспериментальных данных модулей упругости древесины и однонаправленного клееного шпона // Материалы IX Всерос. науч.-техн. конф. «Актуальные вопросы строительства». Новосибирск : НГАСУ (Сибстрин), 2016. С. 41–45.
6. Горынин Г. Л., Григорьев Ю. И. Сравнительный анализ экспериментальных данных модулей упругости древесины // Север России: стратегии и перспективы развития : материалы II Всерос. науч.-практ. конф. (г. Сургут, 27 мая 2016 г.) : в 4 т. Сургутский гос. ун-т. Сургут : ИЦ СурГУ, 2016. Т. II. С. 58–61.
7. Кузнецов Г. Ф. Деревянные конструкции. М.-Л., 1937. 955 с.
8. Мищенко А. В., Немировский Ю. В. Динамика слоистых рам из разносопротивляющихся материалов // Известия высших учебных заведений. Строительство. № 11 (635). Новосибирск : НГАСУ (Сибстрин), 2011. С. 10–21
9. Свод правил: СП 64.13330.2011 Деревянные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-25-80. М., 2011. С. 3–12.

УДК 691.3.04:539.37

*Горынин Г. Л., Снигирева В. А.*

### НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ТРУБОБЕТОННЫХ СТОЕК С УЧЕТОМ НЕЛИНЕЙНОСТИ ДИАГРАММЫ ДЕФОРМИРОВАНИЯ БЕТОНА

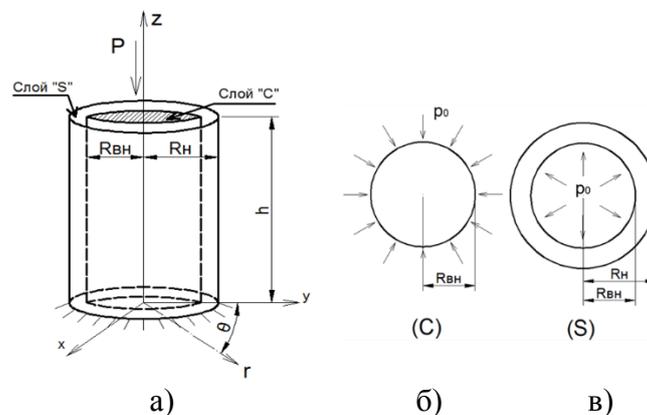
*г. Сургут*

Авторы статьи представляют закон пространственного напряженно-деформированного состояния бетонного ядра трубобетонной конструкции с учетом нелинейности деформирования бетона. Представлены формулы пространственного расчета бетонной стойки в стальной обойме с учетом нелинейности диаграммы деформирования бетона. Сделан вывод, что учет нелинейности диаграммы деформирования бетона приводит к увеличению расчетной несущей способности бетонной стойки в стальной обойме на 16–89 % в зависимости от толщины стенки трубы.

*Ключевые слова: трубобетонные конструкции, всестороннее обжатие бетона, бетонная колонна в стальной обойме, нелинейная диаграмма деформирования бетона.*

**1. Проблемы применения трубобетонных конструкций.** Трубобетонные конструкции, представляющие собой стальные трубы, заполняемые бетоном, находят применение, в основном, в качестве колонн, свай, элементов ферм [6]. Проведенный И. И. Овчинниковым, И. Г. Овчинниковым, Г. В. Чесноковым и Е. С. Михалдыкиным анализ существующих методик расчета трубобетонных конструкций показал, что «до сих пор нет надежной и приемлемой для практического использования расчетной модели трубобетонного сечения» [8]. Поэтому «дальнейшие исследования в этой области необходимы, полезны и перспективны», т. к. в существующих методиках не учитывается толщина стенки трубы, силы взаимодействия бетона и стали, а также существующие методики требуют проведения уточняющих экспериментальных исследований. При этом в разное время высказывались разные мнения о работе трубобетонных конструкций под нагрузкой. Многие экспериментаторы наблюдали, что несущая способность трубобетонных стоек повышается в сравнении с независимым нагружением стальной трубы и бетонной колонны, объясняя это упрочнением бетонного ядра вследствие наличия обжатия [6; 9]. Однако другие экспериментальные исследования свидетельствуют об отрыве стальной трубы от бетонного ядра, как это имело место при эксплуатации трубобетонного моста через р. Исеть [7].

**2. Моделирование напряженно-деформированного состояния бетона в нелинейном случае.** Моделирование напряженно-деформированного состояния бетона в общем случае является сложной и нерешенной задачей, что связано с присущей бетону нелинейностью деформирования и сложным пространственным напряженно-деформированным состоянием бетона, вследствие взаимодействия со стальной оболочкой. Считаем, что трубобетонный стержень находится под действием осевой сжимающей силы  $P$ . Предполагается, что при этом напряженно-деформированное состояние конструкции обладает осевой симметрией, и продольные перемещения  $W$  зависят только от координаты  $z$ , а радиальные перемещения  $U$  – от  $r$ , где  $z, \theta, r$  – цилиндрическая система координат (рис. 1). В этом случае возникают нормальные напряжения  $\sigma_{rr}, \sigma_{\theta\theta}, \sigma_{zz}$ , а касательные напряжения отсутствуют.



**Рис. 1. Расчетная схема:**

- а) трубобетонная стойка; б) сечение бетонного ядра стойки;  
в) сечение стальной оболочки стойки

Для учета нелинейности деформирования бетона в качестве диаграммы состояния, определяющей связь между напряжениями и деформациями, используем трехлинейную диаграмму (рис. 2), описывающую одноосное напряженно-деформированное состояние, согласно СП 63.13330.2012 «Бетонные и железобетонные конструкции». Какие-либо рекомендации по описанию пространственного напряженно-деформированного состояния бетона в СП отсутствуют. Рассмотрим предлагаемую трехлинейную диаграмму одноосного сжатия бетона (рис. 2): при  $\sigma < \sigma^* = 0,6R_b$ :  $\sigma = E\varepsilon$  (участок 0-1); при  $0,6R_b \leq \sigma < R_b$ :  $\sigma = \sigma^* + \Delta\sigma$  (учас-

ток 1-2),  $\Delta\sigma$  – приращение напряжений,  $R_b$  – расчетное сопротивление бетона одноосному осевому сжатию.

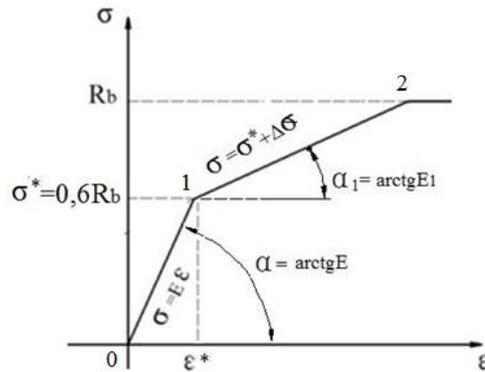


Рис. 2. Трехлинейная диаграмма деформирования бетона при одноосном сжатии (напряжения и деформации используются без учета знака)

Сделаем естественное предположение, что напряжения в радиальном и тангенциальном направлениях бетонного ядра трубобетонной стойки являются существенно меньше осевых напряжений. Поэтому одноосные напряженно-деформированные состояния при действии радиальных и тангенциальных напряжений по отдельности всегда соответствуют участку 0-1 диаграммы ( $\sigma < 0,6R_b$ ) (рис. 2). В то время как в направлении оси  $z$  возможны два случая одноосного напряженно-деформированного состояния. **Случай 1:**  $\sigma_{zz} < 0,6R_b$  (участок 0-1); или **случай 2:**  $0,6R_b \leq \sigma_{zz} < R_b$  (участок 1-2). На начальной стадии (**случай 1**) все компоненты тензора напряжений  $\sigma_{rr}, \sigma_{\theta\theta}, \sigma_{zz}$  линейно зависят от деформаций, т. е. справедлив закон Гука (рис. 2):

$$\begin{cases} \sigma_{rr} = \frac{E}{(1-2\nu)(1+\nu)} \left( (1-\nu)\varepsilon_{rr} + \nu\varepsilon_{zz} + \nu\varepsilon_{\theta\theta} \right); \\ \sigma_{zz} = \frac{E}{(1-2\nu)(1+\nu)} \left( (1-\nu)\varepsilon_{zz} + \nu\varepsilon_{rr} + \nu\varepsilon_{\theta\theta} \right); \\ \sigma_{\theta\theta} = \frac{E}{(1-2\nu)(1+\nu)} \left( (1-\nu)\varepsilon_{\theta\theta} + \nu\varepsilon_{rr} + \nu\varepsilon_{zz} \right), \end{cases} \quad (1).$$

где  $E, \nu$  – модуль Юнга и коэффициент Пуассона бетона, когда величины напряжений соответствуют участку 0-1 диаграммы.

Рассмотрим **случай 2**. При таком состоянии напряжея и деформации в бетоне определяем зависимостями:

$$\begin{aligned} \sigma_{rr} &= \sigma_{rr}^* + \Delta\sigma_{rr}; \sigma_{\theta\theta} = \sigma_{\theta\theta}^* + \Delta\sigma_{\theta\theta}; \sigma_{zz} = \sigma_{zz}^* + \Delta\sigma_{zz}; \\ \varepsilon_{zz} &= \varepsilon_{zz}^* + \Delta\varepsilon_{zz}; \varepsilon_{rr} = \varepsilon_{rr}^* + \Delta\varepsilon_{rr}; \varepsilon_{\theta\theta} = \varepsilon_{\theta\theta}^* + \Delta\varepsilon_{\theta\theta}, \end{aligned} \quad (2)$$

где  $\sigma_{rr}^*, \sigma_{\theta\theta}^*, \varepsilon_{zz}^*, \varepsilon_{rr}^*, \varepsilon_{\theta\theta}^*$  – значения напряжений и деформаций при  $\sigma_{zz} = 0,6R_b$ ;  $\Delta\sigma_{rr}, \Delta\sigma_{\theta\theta}, \Delta\sigma_{zz}, \varepsilon_{zz}, \Delta\varepsilon_{rr}, \Delta\varepsilon_{\theta\theta} \lim_{x \rightarrow \infty}$  – приращения напряжений и деформаций.

Считаем, что приращения деформации, вызванные одновременным действием радиальных, тангенциальных и осевых напряжений, являются суммой приращений деформаций, вызванных действием данных напряжений по отдельности. Тогда обобщенные соотношения приращений деформаций имеют вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta \varepsilon_{rr} = \frac{\Delta \sigma_{rr}}{E} - \nu \frac{\Delta \sigma_{\theta\theta}}{E} - \nu_1 \frac{\Delta \sigma_{zz}}{E_1}; \\ \Delta \varepsilon_{\theta\theta} = -\nu \frac{\Delta \sigma_{rr}}{E} + \frac{\Delta \sigma_{\theta\theta}}{E} - \nu_1 \frac{\Delta \sigma_{zz}}{E_1}; \\ \Delta \varepsilon_{zz} = -\nu_2 \frac{\Delta \sigma_{rr}}{E} - \nu_2 \frac{\Delta \sigma_{\theta\theta}}{E} + \frac{\Delta \sigma_{zz}}{E_1}. \end{array} \right. \quad (3)$$

где  $E$ ,  $\nu$  и  $E_1$ ,  $\nu_1$  – модуль Юнга и коэффициент Пуассона бетона, когда величины напряжений соответствуют участкам 0-1 или 0-2 диаграммы соответственно.

Выражения (3) для приращений аналогичны закону Гука для ортотропного упругого тела, из симметрии матриц упругих констант следует выполнение соотношения [5]:

$$\frac{\nu_1}{E_1} = \frac{\nu_2}{E} \quad (4)$$

Выразим приращения напряжений через приращения деформаций из формул (3), (4). Равенства (2) и (5) представляют собой пространственный закон напряженно-деформированного состояния бетона трубобетонной стойки при  $\sigma_{zz} \geq 0,6R_b$  (случай 2).

$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta \sigma_{rr} = \Delta \varepsilon_{rr} \left( \frac{E}{1-\nu^2} + \frac{E^2 \nu_1^2}{(1-\nu)(E_1(1-\nu) - 2\nu_1^2 E)} \right) + \\ + \Delta \varepsilon_{\theta\theta} \left( \frac{E\nu}{1-\nu^2} + \frac{E^2 \nu_1^2}{(1-\nu)(E_1(1-\nu) - 2\nu_1^2 E)} \right) + \\ + \Delta \varepsilon_{zz} \frac{EE_1 \nu_1}{E_1(1-\nu) - 2\nu_1^2 E}; \\ \Delta \sigma_{\theta\theta} = \Delta \varepsilon_{\theta\theta} \left( \frac{E}{1-\nu^2} + \frac{E^2 \nu_1^2}{(1-\nu)(E_1(1-\nu) - 2\nu_1^2 E)} \right) + \\ + \Delta \varepsilon_{rr} \left( \frac{E\nu}{1-\nu^2} + \frac{E^2 \nu_1^2}{(1-\nu)(E_1(1-\nu) - 2\nu_1^2 E)} \right) + \\ + \Delta \varepsilon_{zz} \frac{EE_1 \nu_1}{E_1(1-\nu) - 2\nu_1^2 E}; \\ \Delta \sigma_{zz} = \frac{E_1^2(1-\nu)}{E_1(1-\nu) - 2\nu_1^2 E} \left( \Delta \varepsilon_{zz} + \frac{E\nu_1}{E_1(1-\nu)} (\Delta \varepsilon_{rr} + \Delta \varepsilon_{\theta\theta}) \right). \end{array} \right. \quad (5)$$

В дальнейшем для обозначения физических величин, относящихся к стальной трубе, будем использовать верхний индекс «S» (steel), к бетону – верхний индекс «C» (concrete); для

обозначения величин, относящихся к решению задачи с учетом нелинейности диаграммы деформирования бетона (2), (5), будем использовать верхний индекс «н», а при рассмотрении деформирования бетона согласно линейному закону Гука (1) – верхний индекс «л».

**3. Традиционные трубобетонные конструкции.** Попытка произвести расчет такой конструкции с позиции теории упругости предпринималась также Л. И. Стороженко [9], однако на стр. 49 совершена математическая ошибка в выкладках. В ранних работах было представлено решение пространственной задачи о сжатии традиционной трубобетонной конструкции, которое подтвердило нарушение совместной работы стальной трубы и бетона уже на начальных стадиях загрузки, о чем свидетельствует полученная формула определения давления обжатия стальной трубой бетонного ядра  $p_0$  [1; 4]:

$$p_0^l = P \cdot \frac{E^C \cdot E^S \cdot (v^C - v^S) \cdot (R_n^2 - R_{вн}^2)}{\infty}, \quad (6)$$

$$\begin{aligned} \infty = & \pi R_{вн}^2 \cdot E^C \left( E^S (1 - v^C - 2v^C v^S) (R_n^2 - R_{вн}^2) + E^C (1 + v^S) (R_{вн}^2 (1 - 2v^S) + R_n^2) \right) + \\ & + \pi (R_n^2 - R_{вн}^2) E^S \left( E^S (1 - 2v^C) (1 + v^C) (R_n^2 - R_{вн}^2) + E^C (R_{вн}^2 (1 - v^S - 2v^S v^C) + R_n^2 (1 + v^S)) \right). \end{aligned}$$

Согласно формуле (6), знак давления обжатия  $p_0$  полностью определяется разностью коэффициентов Пуассона бетона и стали ( $v^C - v^S$ ).  $v^C = 0,2$ , стали  $v^S = 0,3$  (согласно СП 63.13330.2012 «Бетонные и железобетонные конструкции» и СП 16.13330.2011 «Стальные конструкции»), следовательно, давление обжатия (6) является отрицательной величиной, т. к. в связи с этим происходит отрыв бетонного сердечника от стальной трубы, а значит, совместная работа бетона и стали не реализуется, что является неизлечимым недостатком традиционных трубобетонных конструкций. Данное обстоятельство также подтверждается при расчете традиционной конструкции с учетом нелинейного поведения бетона.

**4. Бетонная стойка в стальной обойме.** В связи с наличием существенного конструктивного недостатка у традиционных трубобетонных конструкций, о чем говорилось выше, в работах [2; 3] авторами была предложена иная трубобетонная конструкция – бетонная стойка в стальной обойме. При применении данной конструкции внешняя нагрузка прикладывается только на бетонное ядро, а труба используется в качестве обоймы, при этом исключается совместная работа бетонного ядра и стальной трубы в продольном направлении.

Формула определения давления обжатия при линейном поведении бетона (случай 1) имеет вид:

$$p_0^l = \frac{P}{\pi \cdot R_{вн}^2} \cdot \frac{E^S \cdot v^C \cdot (R_n^2 - R_{вн}^2)}{\infty}, \quad (7)$$

$$\text{где } \infty = E^C (R_{вн}^2 (1 - v^S) + R_n^2 (1 + v^S)) + E^S (R_n^2 - R_{вн}^2) (1 - v^C)$$

Согласно формуле (7), давление обжатия  $p_0^l$  всегда является положительной величиной, следовательно, радиальные напряжения в бетонном ядре являются сжимающими, бетон находится в состоянии трехосного сжатия, что, как показывают опыты исследователей [10], оказывает положительное влияние на повышение прочности бетонного ядра.

При возрастании продольной нагрузки  $P$  напряженное состояние бетонного ядра стойки переходит в состояние, соответствующее случаю 2, т. е. нелинейному поведению бетона, и подчиняется закону (2), (5). В работе [3] была получена формула определения давления обжатия бетона:

$$p^H_0 = \left( \frac{P}{\pi R_{вн}^2} \frac{\nu_1^C}{E_1^C} + \frac{E^C \nu_1^C - E_1^C \nu^C}{E_1^C (1 - 2\nu^C)(1 + \nu^C)} (\nu^C \varepsilon_{rr}^* + \nu^C \varepsilon_{\theta\theta}^* + (1 - \nu^C) \varepsilon_{zz}^*) \right) \cdot \frac{E^C E^S (R_{н}^2 - R_{вн}^2)}{E^S (1 - \nu^C)(R_{н}^2 - R_{вн}^2) + E^C ((1 - \nu^S) R_{вн}^2 + (1 + \nu^S) R_{н}^2)}$$

### 5. Повышение несущей способности бетона в условиях всестороннего сжатия.

Проанализируем увеличение несущей способности бетонной стойки в стальной обойме за счет упрочнения бетонного ядра. Наиболее распространенной формой записи зависимости прочности бетона в условиях трехосного сжатия является формула, предложенная Ф. Рихардом, А. Брауном и А. Брандраегом [10]:

$$R_{b,3} = R_b + K \cdot p_0,$$

где  $R_{b,3}$  – предел прочности бетона в обжатом состоянии,  $R_b$  – предел призмочной прочности бетона,  $p_0$  – радиальные напряжения обжатия бетонного ядра стальной обоймой,  $K$  – коэффициент упрочнения бетона  $K \approx 4$  [6]. Таким образом, выражение для определения прочности бетона в условиях трехосного сжатия имеет вид:

$$R_{b,3} = R_b + 4 \cdot p_0.$$

**6. Пример.** Рассмотрим пример расчета трубобетонной стойки. Принимаем  $R_{вн} = 0,210$  м, задаемся разными толщинами стенки трубы. Деформационно-прочностные характеристики материалов принимаем согласно СП 63.13330.2012 «Бетонные и железобетонные конструкции» и СП 16.13330.2011 «Стальные конструкции»:  $E_C = 30000$  МПа,  $E_{IC} = 8571,4$  МПа,  $\nu^C = 0,2$ ,  $\nu_1^C = 0,2$ ,  $R_b = 14,5$  МПа (бетон В 25) и  $E_S = 206000$  МПа,  $\nu^S = 0,3$  (сталь СтЗсп5). Результаты представлены в таблице 1, где  $\Delta$  – приращение величины. Известно, что коэффициент Пуассона бетона является переменной величиной, возрастающей при увеличении нагрузки на бетон. Произведем расчеты с представленными выше исходными данными, но с учетом возрастания коэффициента Пуассона бетона  $\nu_1^C = 0,25$  и без учета. Результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1

Результаты расчетов

Толщина стенки трубы, мм	при $\nu^C = \nu_1^C = 0,2$						при $\nu^C = 0,2; \nu_1^C = 0,25$			
	$\frac{\Delta p_0^H}{\Delta p^C}$	$\frac{R_{b,3}^H}{R_b}$	$\frac{\Delta p_0^H}{\Delta p^C}$	$\frac{\max p_0^H}{\max p_0^H}$	$\frac{R_{b,3}^H}{R_b}$	$\frac{R_{b,3}^H}{R_{b,3}^H}$	$\frac{\Delta p_0^H}{\Delta p^C}$	$\frac{\max p_0^H}{\max p_0^H}$	$\frac{R_{b,3}^H}{R_b}$	$\frac{R_{b,3}^H}{R_{b,3}^H}$
4	0,02	1,10	0,08	2,69	1,28	1,16	0,10	3,60	1,37	1,24
4,5	0,03	1,12	0,09	2,81	1,33	1,19	0,11	3,86	1,45	1,30
5	0,03	1,13	0,10	2,96	1,38	1,22	0,12	4,15	1,53	1,36
10	0,05	1,25	0,18	5,41	2,36	1,89	0,22	15,67	4,95	3,95

Согласно результатам расчета (табл. 1), расчет по линейной модели, то есть без учета нелинейности деформирования бетона, приводит к занижению расчетного давления обжатия бетона и, как следствие, к занижению расчетной несущей способности конструкции в целом. При учете возрастания коэффициента Пуассона бетона значение расчетной несущей способности бетонного ядра выше, чем при расчете с неизменным коэффициентом.

**Выводы:**

1. Предложен закон, описывающий пространственное напряженно-деформированное состояние бетонного ядра трубобетонной конструкции с учетом нелинейности деформирования бетона.
2. Получено аналитическое решение задачи о сжатии трубобетонной стойки с учетом нелинейного поведения бетона.
3. Учет нелинейности диаграммы деформирования бетона приводит к увеличению расчетной несущей способности бетонной стойки в стальной обойме на 16-89% в зависимости от толщины стенки трубы.
4. При учете переменности коэффициента Пуассона бетона расчетная несущая способность бетонной стойки в стальной обойме существенно возрастает.

*Gorynin G. L., Snigireva V. A.*

**THE STRESS-STRAINED STATE OF CONCRETE-FILLED STEEL  
TUBE COLUMNS CONSIDERING NONLINEAR  
CONCRETE DEFORMATION DIAGRAM**

*Surgut*

The paper presents analytical dependencies of the three-dimensional stress-strain state of concrete filled steel tube considering the non-linear concrete behavior. The article contains the formulas for the three-dimensional model of a concrete column in a steel cage considering nonlinearity of concrete deformation diagram. It is concluded that accounting the nonlinearity of the concrete deformation diagram leads to the increase of the calculated load-bearing capacity of the concrete column in the steel cage by 16–89 % depending on the wall thickness of the tube.

*Key words: concrete-filled steel tube structures, a comprehensive reduction of concrete, concrete column in steel cage, non-linear diagram of concrete deformation.*

**Список использованной литературы**

1. Горынин Г. Л., Снигирева В. А. Математическое моделирование композитных трубобетонных конструкций // Математика и информационные технологии в нефтегазовом комплексе : тез. докл. Междунар. конф. посвящ. дню рождения великого русского математика академика П. Л. Чебышёва (Сургут, 16–20 мая 2016 г.). Сургут : ИЦ СурГУ, 2016. С. 237–239.
2. Горынин Г. Л., Снигирева В. А. Пространственный расчет трубобетонной сваи-стойки с учетом нелинейности диаграммы деформирования бетона // Север России: стратегии и перспективы развития : материалы II Всерос. науч.-практ. конф. Сургут, 27 мая 2016 г. : в 4 т. Сургут. гос. ун-т. Сургут : ИЦ СурГУ, 2016. Т. II. С. 62–67.
3. Горынин Г. Л., Снигирева В. А. Моделирование НДС трубобетонной сваи-стойки с учетом нелинейного поведения бетона // Архитектурно-строительный и дорожно-транспортный комплексы: проблемы, перспективы, инновации : материалы Междунар. науч.-практ. конф., 7–9 декабря 2016 года. Омск : СибАДИ, 2016. С. 14–18.
4. Горынин Г. Л., Снигирева В. А. Математическое моделирование напряженно-деформированного состояния трубобетонных конструкций // Вестник кибернетики: сетевое издание. 2016. № 1 (21) [Электронный ресурс]. С. 29–37.
5. Горынин Г. Л. Пространственные задачи деформирования слоистых анизотропных конструкций: монография. Ханты-Мансийск : Полиграфист, 2008. 262 с.
6. Кикин А. И., Санжаровский Р. С., Труль В. А. Конструкции из стальных труб, заполненных бетоном. М. : Стройиздат, 1974. 144 с.

7. Кришан А. Л. Прочность трубобетонных колонн с предварительно обжатым ядром : дис. ... докт. техн. наук. Магнитогорск, 2011. 380 с.

8. Овчинников И. И., Овчинников И. Г., Чесноков Г. В., Михалдыкин Е. С. О проблеме расчета трубобетонных конструкций с оболочкой из разных материалов. Ч. 2. Расчет трубобетонных конструкций с металлической оболочкой // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Т. 7, № 4 (2015)

9. Стороженко Л. И., Плахотный П. И., Черный А. Я. Расчет трубобетонных конструкций. Киев: Будивельник, 1991. 120 с.

10. Richart F. A study of failure of concrete under combined compressive stresses/ A. Brown, A. Brandraeg. University Illinois, Eng. Exper. Station. Bull. N 185, 1928. 105 p.

УДК 621.87.039.586

**Жиренков А. А.**

## **АНАЛИЗ ПРИЧИН АВАРИЙ БАШЕННЫХ КРАНОВ В УСЛОВИЯХ СЕВЕРА**

*г. Сургут*

Автор статьи рассматривает причины аварий башенных кранов в условиях северных территорий, а также дает рекомендации по их предотвращению.

*Ключевые слова: аварии, башенный кран, северные территории, низкая производственная дисциплина, ветровое воздействие.*

Округ ХМАО – Югра находится в суровых климатических условиях. Здесь часто происходят аварии строительной техники (рис. 1).



**Рис. 1. Примеры аварий башенных кранов в г. Сургуте**

Рассмотрим характерные причины аварий строительной техники, предложим рекомендации по их предотвращению.

Наиболее характерными причинами аварий при работе башенных кранов являются:

- подъем груза массой, превышающей грузоподъемность крана;
- неисправность приборов безопасности;
- нарушение проектов производства кранами;
- некачественное изготовление кранов;
- неудовлетворительный ремонт кранового оборудования;
- ветровое воздействие;
- допуск к обслуживанию кранов необученных рабочих;
- эксплуатация кранов, отработавших нормативный срок службы;
- отсутствие технического надзора за безопасной эксплуатацией кранов в организациях;

- эксплуатация кранов, отработавших свой ресурс или не предназначенных для эксплуатации на северных территориях;
- аварии, обусловленные несоответствием состояния узлов конструкций кранов требованиям безопасности, вызванные нарушениями при их обслуживании и ремонте. Конструкции кранов обычно разрушаются в наиболее нагруженных узлах, в которых при эксплуатации образуются трещины.

Результаты анализа причин аварий башенных кранов свидетельствуют, что основной их причиной является человеческий фактор. Он вызван низкой производственной и технологической дисциплиной, нарушением установленных требований управления краном, халатным отношением персонала к технике безопасности, нарушением технологических режимов эксплуатации кранов и требований инструкций, отключением или неисправностью приборов безопасности, нарушением режима труда и отдыха и т. п. [4].

При ремонте башенных кранов часто происходит нарушение требований Приказа Ростехнадзора от 12 ноября 2013 года № 533 «Правила безопасности опасных производственных объектов, на которых используются подъемные сооружения». Также может отсутствовать проект и технические условия ремонта, данные о применяемых металлах и сварочных материалах, сведения о проверке качества сварки и квалификации сварщиков. Указанные нарушения приводят к снижению несущей способности конструкций.

Кроме того, металл, эксплуатируемый в Северных территориях, может просто лопнуть в месте сварного шва под воздействием отрицательных температур, тем более если накаляется холодным ветром (рис. 2).



**Рис. 2. Дефект сварного шва**

Также зачастую на некоторых стройплощадках России работают краны, которые уже выработали свой ресурс. Активно практикуется и использование иностранной техники. Зарубежная техника показывает лучшее качество и более высокие технические характеристики по сравнению с отечественными. Однако не все модели приспособлены для работы в условиях климата северных территорий. Краны российского производства разработаны для эксплуатации при отрицательных температурах до  $-40$  градусов  $^{\circ}\text{C}$ , благодаря использованию специальных марок стали, в то время как некоторые импортные краны могут эксплуатироваться до температуры  $-25$  градусов  $^{\circ}\text{C}$ . Кроме того, необходимо учитывать влажность воздуха при резких отрицательных температурах. Конечно, есть подготовленные к работе в тяжелых климатических условиях зарубежные краны, в так называемом «северном» исполнении, но их стоимость выше.

Кроме того, причинами аварий кранов на Севере является их эксплуатация при шквалом ветре, несмотря на то, что это запрещено требованиями техники безопасности и приводит к многочисленным авариям.

По карте климатического районирования для строительства относится ко 2 ветровому району (рис. 3) (согласно приложению Ж СП 20.13330.2011 «Нагрузки и воздействия»). Районирование территории РФ по давлению ветра По СП 20.13330.2011 Нагрузки и воздействия.

### Ветровые районы РФ по давлению ветра



**Рис. 3. Районирование территории РФ по давлению ветра:**

1a – ветровой район 1a, 1-1 ветровой район, 2-2 ветровой район, 3-3 ветровой район,  
4-4 ветровой район, 5-5 ветровой район, 6-6 ветровой район, 7-7 ветровой район

Для башенных кранов, эксплуатируемых на Севере, предлагается проводить расчеты на следующие воздействия ветра по СП 20.13330.2011 Нагрузки и воздействия:

- основную ветровую нагрузку;
- пиковые значения ветровой нагрузки, действующие на конструктивные элементы ограждения и элементы их крепления;
- резонансное вихревое возбуждение.

Расчеты в SCADe показывают, что наиболее опасным нагружением различными нагрузками является комбинация нагружений при действии динамической составляющей ветра. Наиболее неблагоприятное сочетание усилий содержит нагрузку собственного веса крана, веса монтируемой конструкции, ветрового воздействия (динамическая составляющая), движения крана. Опрокидывание крана происходило при угле поворота стрелы при  $24^\circ$ , при нагрузках собственного веса крана, веса монтируемой конструкции, ветрового воздействия (статическая составляющая), движения крана. В этом случае опрокидывающий момент будет наибольшим. Для предотвращения аналогичных аварий в будущем необходимо запрещать работу при шквалистом ветре и других неблагоприятных погодных условиях [1].

Краны для северных территорий необходимо использовать в специальном северном исполнении. Для повышения безопасности эксплуатации грузоподъемных механизмов в условиях северных территорий предлагается регулярно проводить их статические и динамические испытания перед началом работы на объекте согласно Приказу Ростехнадзора от 12 ноября 2013 года № 533 «Правила безопасности опасных производственных объектов, на которых используются подъемные сооружения». Также при необходимости проводить расчеты устойчивости крана в программном комплексе SCAD. Требуется регулярно проводить экспертизу промышленной безопасности строительных кранов. Для более тщательного анализа работы конструкций грузоподъемных механизмов предлагается проводить динамические испытания металлических элементов конструкций кранов на специально разработанных стендах.

*Zhirenkov A. A*

## **ANALYSIS OF CAUSES OF TOWER CRANES ACCIDENTS IN THE CONDITIONS OF THE EXTREME NORTH**

*Surgut*

In the article the causes of crane tower accidents in conditions of northern territories were considered, as well as recommendations for their prevention.

*Keywords: accidents, tower crane, northern territories, low production discipline, wind impact.*

### **Список использованной литературы**

1. Арискин М. В., Гарькин И. Н. Анализ причин падения башенного крана на основе построения модели в SCAD 11.5 // Фундаментальные исследования. Пенза : Академия Естествознания, 2016. С. 243–247.
2. Приказ Ростехнадзора от 12 ноября 2013 года № 533 «Правила безопасности опасных производственных объектов, на которых используются подъемные сооружения». М. : Ростехнадзор, 2011.
3. СП 20.13330.2011 Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85\*. М. : Минрегион России, 2011.
4. Федина Е. В., Пушенко С. Л. Анализ основных причин травматизма при эксплуатации башенных кранов // Инженерный вестник Дона. 2012. Т. 22, № 4–1. С. 172–175.

УДК 546.881:542.9:669.15.046.516.2

*Кузнецова Ю. В., Суриков В. И., Семенюк Н. А.*

## **ОСОБЕННОСТИ КРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ ДИОКСИДА ВАНАДИЯ, ЛЕГИРОВАННОГО ЖЕЛЕЗОМ**

*г. Омск*

Авторы статьи описывают особенности диоксида ванадия, который обладает весьма уникальным свойством – фазовым переходом металл-диэлектрик (ФПМД). При температуре фазового перехода  $T_{\text{мд}} \sim 340$  К у соединения скачком изменяется почти на 7 порядков электросопротивление (ниже  $T_{\text{мд}}$  диоксид ванадия  $\text{VO}_2$  – диэлектрик). Это обстоятельство используется в приборах автоматизации технологических процессов, в том числе при добыче, транспортировке и переработке углеводородов. С целью стабилизации свойств диоксида ванадия, его легируют некоторыми переходными металлами.

*Ключевые слова: диоксид ванадия, рентген, дефекты кристаллической решетки.*

Как известно [1], одновременно с изменением электрических свойств диоксида ванадия  $\text{VO}_2$  при температуре фазового перехода происходит структурный фазовый переход (низкотемпературная моноклинная фаза переходит в тетрагональную), а с этим связано изменение других физических свойств (магнитных, теплофизических и пр.).

Целью настоящей работы является исследование рентгеноструктурных параметров твердых растворов диоксида ванадия с железом и наблюдение за изменением параметров кристаллической решетки с изменением состава образца, а также определение их пикнометрической плотности и сравнение ее с рентгеновской.

Образцы для исследования были приготовлены И. И. Миллером в институте химии УрО РАН.

Рентгеноструктурные исследования выполнялись на дифрактометрах Shimadzu Maxima X XRD-7000 и ДРОН 4М (высокотемпературной приставке).

Пикнометрические плотности образцов определялись методом гидростатического взвешивания. Ниже описана методика измерения плотности порошковых образцов методом гидростатического взвешивания.

Для определения пикнометрической плотности исследуемых образцов был использован метод гидростатического взвешивания. Поскольку исследуемые соединения были порошкообразные, то для них была изготовлена специальная мельхиоровая ампула размерами 8 x 20 x 20 мм, которая фиксировалась на плече аналитических весов.

Так как выталкивающая сила в жидкости действует и на порошок, и на ампулу, можно записать:

$$(P_{\Pi} + P_A)_{\text{В}} - (P_{\Pi} + P_A)_{\text{Ж}} = F_{\text{АП}} + F_{\text{АА}}, \quad (1)$$

где  $(P_{\Pi} + P_A)_{\text{В}}$  – вес порошка и ампулы на воздухе;

$(P_{\Pi} + P_A)_{\text{Ж}}$  – вес порошка и ампулы в жидкости;

$F_{\text{АА}}$  – сила Архимеда, действующая на ампулу;

$F_{\text{АП}}$  – сила Архимеда, действующая на порошок.

Сила Архимеда, действующая на порошок, может быть определена:

$$F_{\text{АП}} = \rho_{\text{Ж}}(P_{\Pi} / \rho_{\Pi}), \quad (2)$$

где:  $\rho_{\text{Ж}}$  – плотность жидкости,  $P_{\Pi}$  – вес порошка на воздухе,  $\rho_{\Pi}$  – плотность порошка.

Решая совместно (1) и (2), легко показать, что плотность порошкового материала может быть определена:

$$\rho_{\Pi} = \rho_{\text{Ж}} \cdot P_{\Pi} / \{(P_{\Pi} + P_A)_{\text{В}} - (P_{\Pi} + P_A)_{\text{Ж}} - F_{\text{АА}}\}. \quad (3)$$

В качестве жидкости при измерении плотности порошкообразных образцов твердых растворов  $V_{1-x}Fe_xO_2$  использовался этиловый спирт, хорошо смачивающий исследуемые порошки. Плотность этилового спирта контролировалась с помощью пикнометра. Величина плотности этилового спирта оставалась постоянной в течение всего эксперимента и равной  $\rho_{\text{Ж}} = 0,813 \text{ г/см}^3$ .

Величина выталкивающей силы, действующей на ампулу, определялась как разница между весом ампулы на воздухе и в спирте.

Ускорение свободного падения в расчетах принималось равным  $9,8150 \text{ м/с}^2$  (для города Омска, [alfarascal.ru](http://alfarascal.ru)). Измерения проводились при комнатной температуре ( $20 \text{ }^\circ\text{C}$ ) в условиях термостатирования ( $\pm 0,1 \text{ }^\circ\text{C}$ ).

Относительная погрешность измерения, оцененная по методике для косвенных измерений, не превышала 2 %.

На рисунке 1 приведены рентгенограммы, перестроенные в штрихдиаграммы, для моноклинной и тетрагональной структуры двуокиси ванадия.

Рентгеноструктурные исследования показали, что все исследованные нами образцы являются однофазными, а характер рентгеновских рефлексов позволяет сделать вывод о гомогенности образцов. Параметры кристаллической решетки, определенные нами для этой серии образцов, приведены в таблице 1 и хорошо согласуются с данными работы [3]. Как видно из

полученных результатов, все параметры кристаллической решетки испытывают изменения при легировании диоксида ванадия железом. Наименьшее изменение претерпевает параметр «b», больше изменяются «a» и «β». Сведения о параметрах решетки, а также об элементном составе образцов позволили рассчитать объемы элементарных ячеек «V<sub>P</sub>» и рентгеновскую плотность материалов «ρ<sub>P</sub>»:

$$\rho_P = M/V_P = M/a \cdot b \cdot c \cdot \sin \beta, \quad (4)$$

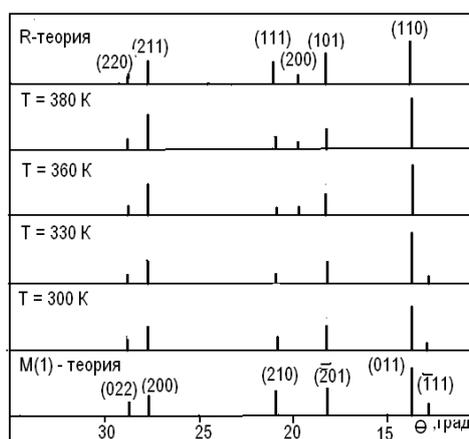


Рис. 1. Штрихдиаграмма двуокиси ванадия

Масса элементарных ячеек «M» рассчитывалась в предположении, что твердые растворы V<sub>1-x</sub>Fe<sub>x</sub>O<sub>2</sub> являются твердыми растворами замещения.

Таблица 1

Параметры кристаллической решетки твердых растворов V<sub>1-x</sub>Fe<sub>x</sub>O<sub>2</sub> при температуре 20 °С

Образец	a, Å	b, Å	c, Å	β, °
VO <sub>2</sub>	6,071	4,525	5,675	126,7
V <sub>0,99</sub> Fe <sub>0,01</sub> O <sub>2</sub>	5,711	4,513	5,341	122,4
V <sub>0,97</sub> Fe <sub>0,03</sub> O <sub>2</sub>	5,613	4,501	5,222	121,3
V <sub>0,93</sub> Fe <sub>0,07</sub> O <sub>2</sub>	5,702	4,462	5,204	120,6

Способ расчета масс элементарной ячейки в этом случае предложил Гинье [2]. В случае, если соединение V<sub>1-x</sub>Fe<sub>x</sub>O<sub>2</sub> является твердым раствором замещения, то все атомы V, Fe и O должны располагаться в узлах кристаллической решетки и тогда согласно [2]:

$$M = (4 C_{Fe} \cdot M_{Fe} + 4 C_{VO_2} \cdot M_{VO_2}) / 100 \cdot N_A, \quad (5)$$

где

$$C_{Fe} = \{x / M_{Fe}\} / \{x / M_{Fe} + (100 - x) / M_{VO_2}\} \quad (6)$$

$$C_{VO_2} = \{(100 - x) / M_{VO_2}\} / \{x / M_{Fe} + (100 - x) / M_{VO_2}\}. \quad (7)$$

Здесь: M – масса элементарной ячейки, C<sub>Fe</sub> и C<sub>VO<sub>2</sub></sub> – расчетные параметры, определяемые из (6) и (7), M<sub>Fe</sub> – масса атома Fe, M<sub>VO<sub>2</sub></sub> – молярная масса VO<sub>2</sub>, N<sub>A</sub> – число Авогадро, «x» – концентрация примесей железа.

Результаты расчетов рентгеновской плотности « $\rho_r$ », а также значения пикнометрической плотности « $\rho_p$ », определенные экспериментально, приведены в таблице 2.

Как видно из полученных результатов, рентгеновские и пикнометрические плотности материалов различаются. Наибольшее различие плотностей наблюдается для чистого диоксида ванадия ( $\Delta\rho = 0,22$  г/см<sup>3</sup>). С увеличением содержания железа в образце  $\Delta\rho$  уменьшается и для  $V_{0,93}Fe_{0,07}O_2$  разница составляет 0,02 г/см<sup>3</sup>. На наш взгляд, различие рентгеновской и пикнометрической плотностей может быть связано с искажениями кристаллической решетки, обусловленными наличием дефектов в материалах. Концентрация дефектов может быть оценена:

$$n = (\Delta\rho/M) N_A \quad (8)$$

Таблица 2

**Результаты определения рентгеновской и пикнометрической плотностей  $V_{1-x}Fe_xO_2$**

Образец	V, Å <sup>3</sup>	M, г/моль	$\rho_r$ , г/см <sup>3</sup>	$\rho_p$ , г/см <sup>3</sup>	$\Delta\rho$ , г/см <sup>3</sup>	$n \cdot 10^{21}$ , см <sup>-3</sup>
VO <sub>2</sub>	125,0	55,26	4,42	4,64	0,22	2,3
V <sub>0,99</sub> Fe <sub>0,01</sub> O <sub>2</sub>	116,2	54,50	4,69	4,76	0,07	0,4
V <sub>0,97</sub> Fe <sub>0,03</sub> O <sub>2</sub>	112,7	54,30	4,82	4,88	0,06	0,3
V <sub>0,93</sub> Fe <sub>0,07</sub> O <sub>2</sub>	114,0	53,32	4,68	4,70	0,02	0,1

Результаты соответствующих расчетов приведены в таблице 2. Анализируя полученные результаты, можно предположить, что легирование железом упорядочивает кристаллическую решетку  $V_{1-x}Fe_xO_2$ , что ведет к заметному уменьшению дефектов.

*Kouznetsova Yu. V., Surikov V. I., Semenyuk N. A.*

**FEATURES OF THE CRYSTAL STRUCTURE  
OF IRON DOPED VANADIUM DIOXIDE**

*Omsk*

In the article a very unique feature of vanadium dioxide, metal-dielectric phase transition (MDPT), is described. When the compound reaches phase transition temperature  $T_{md} \sim 340$  K, its electric resistance jumps for almost 7 orders (vanadium dioxide VO<sub>2</sub> is dielectric when its temperature is below  $T_{md}$ ). This phenomenon is used in technological process of automation devices, including hydrocarbons extraction, transportation and conversion. In order to stabilize the vanadium dioxide properties, it is doped with some transitional metals.

*Keywords: Vanadium Dioxide, X-ray, crystal lattice defects.*

**Список использованной литературы**

1. Бугаев А. А., Захарченя Б. П., Чудновский Ф. А. Фазовый переход металл-полупроводник и его применение. М. : Наука, 1979. 133 с.
2. Гинье А. Рентгенография кристаллов. М. : Физматлит, 1961. 322 с.
3. Кузнецова Ю. В., Лях О. В., Меркушев Е. Н., Суриков В. И. Диоксид ванадия и твердые растворы на его основе. Фазовые переходы, структура и свойства. М. : Физматлит, 2013. 104 с.

УДК 623.746:519

Семенова Л. Л., Попов Ю. Б., Попова А. И.

## АЛГОРИТМ ПОСАДКИ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА НА ОСНОВЕ ФИЛЬТРА КАЛМАНА

г. Сургут

Авторы статьи представляют алгоритм посадки одиночного БПЛА на основе фильтра Калмана. Сделана постановка задачи, описаны модели состояния и наблюдения, приведен алгоритм оценивания координат посадки, расчет априорной и апостериорной матрицы корреляции.

*Ключевые слова:* Беспилотный летательный аппарат (БПЛА), мультироторная аэромобильная платформа (МАП), мультикоптер, фильтр Калмана, модель состояния, модель наблюдения с использованием данных GPS, алгоритм оценивания координат посадки одиночного БПЛА.

**Введение.** В настоящее время разработка методов и алгоритмов ручного и автоматического управления БПЛА является интенсивно развивающимся направлением научных исследований в военной, гражданской и космической области.

Беспилотные летательные аппараты (БПЛА) при работе в сложных условиях и опасных средах обладают рядом преимуществ, позволяющих исключить потенциальные риски для жизни оператора. В настоящее время разработка методов и алгоритмов ручного и автоматического управления БПЛА является интенсивно развивающимся направлением научных исследований в военной, гражданской и космической области. Одним из развивающихся направлений в классе мини-БПЛА является мультироторные аэромобильные платформы (МАП) или мультикоптеры, растущая популярность которых объясняется их достоинствами. Обладая всеми преимуществами летательных аппаратов вертолетного типа, мультикоптеры, в отличие от вертолетов, имеют простой и экономичный механизм с фиксированными осями пропеллеров, не требующий сложного технического обслуживания.

Сегодня мультикоптеры активно используются в аэрофотосъемке, в инспекции инфраструктурных объектов, в сельском хозяйстве и энергетике, их используют спасательные службы и силовые органы для выполнения задач мониторинга, грузоперевозок, патрулирования. БПЛА широко используются для поисково-спасательных работ, метеорологические БПЛА – для валидации данных дистанционного зондирования. При эксплуатации мультикоптеров все чаще возникает проблема автоматической дозаправки батарей, и как следствие, задачи точной посадки на специально отведенную для этих процедур, площадку.

В статье приведен алгоритм посадки одиночного БПЛА на основе фильтра Калмана, сделана постановка задачи, описаны модели состояния и наблюдения, приведен алгоритм оценивания координат посадки, расчет априорной и апостериорной матрицы корреляции.

**Синтез алгоритма посадки в декартовой системе.** Для оценки и сглаживания текущих координат подвижного мультикоптера применим известный алгоритм фильтрации Калмана. Фильтр Калмана представляет собой рекурсивный фильтр, который минимизирует среднеквадратическую ошибку оценивания текущих координат объекта [4]. Суть алгоритма оценивания заключается в последовательном предсказании искомых координат мультикоптера с использованием модели состояний с последующей коррекцией результатов по данным фактических измерений.

Общим требованием при синтезе алгоритмов оценивания неизвестных параметров динамической системы является возможность описания их с помощью системы дифференциальных (или разностных) уравнений первого порядка, в общем случае нелинейной.

Синтез алгоритма посадки выполнен в декартовой системе координат и использует процедуру предварительной нелинейной обработки измерений. Это позволит привести исходные уравнения измерений к линейному виду и выполнить синтез алгоритма с использованием классического линейного фильтра Калмана.

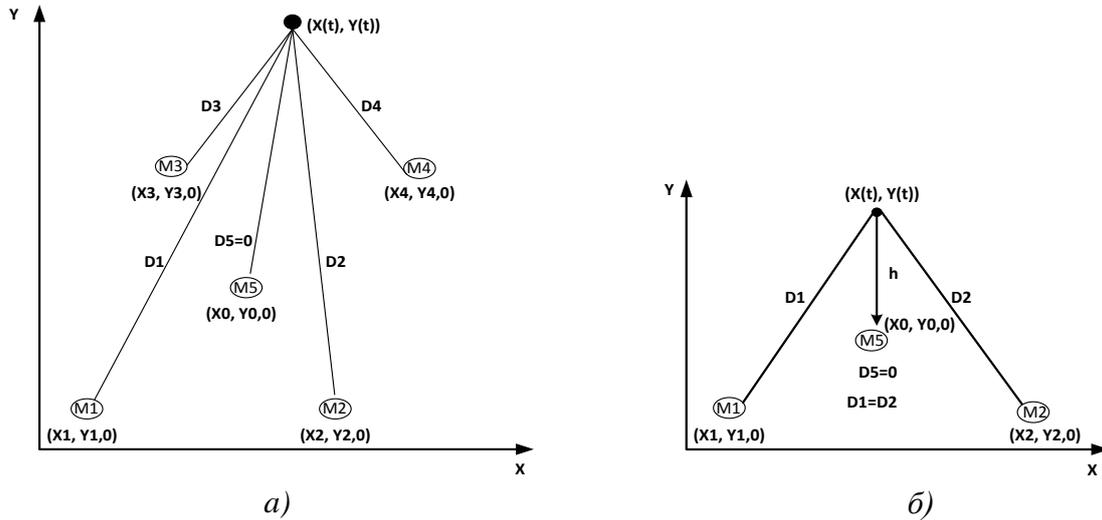


Рис. 1. Схема взаимного расположения маяков и мультикоптеров в а) горизонтальной; б) вертикальной плоскости

Для декартовой системы координат динамика перемещения мультикоптера относительно маяков (рис. 1) может быть описана системой линейных разностных уравнений следующего вида:

$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta X 0 = X_{m0} - X_n \\ \Delta Y 0 = Y_{m0} - Y_n \\ \Delta X 1 = X_{m1} - X_n \\ \Delta Y 1 = Y_{m1} - Y_n \\ \Delta X 2 = X_{m2} - X_n \\ \Delta Y 2 = Y_{m2} - Y_n \\ \Delta X 3 = X_{m3} - X_n \\ \Delta Y 3 = Y_{m3} - Y_n \\ \Delta X 4 = X_{m4} - X_n \\ \Delta Y 4 = Y_{m4} - Y_n \\ V_x = V_x \\ V_y = V_y \end{array} \right. , \quad (1)$$

где  $(X_{mi}, Y_{mi})$  – фиксированные координаты маяков  $M_i$ , ( $i = 0, 1, 2, 3, 4$  – номера маяков);  $(X_n, Y_n)$  – текущие координаты мультикоптера;  $\Delta X_i, \Delta Y_i$  – разница между координатами мультикоптера и маяков (приращения расстояний);  $V_x, V_y$  – ортогональные составляющие

скорости движения мультикоптера;  $Di = \sqrt{(\Delta Xi^2 + \Delta Yi^2)}$  – дальность от маяка  $i$  до мультикоптера.

Введем вектор состояний, включающий неизвестные и подлежащие оцениванию переменные системы (1):

$$X^T(k) = \|\Delta X_0 \ \Delta Y_0 \ \Delta X_1 \ \Delta Y_1 \ \Delta X_2 \ \Delta Y_2 \ \Delta X_3 \ \Delta Y_3 \ \Delta X_4 \ \Delta Y_4 \ V_x \ V_y\| \text{ или} \\ X^T(k) = \|X_1 \ X_2 \ X_3 \ X_4 \ X_5 \ X_6 \ X_7 \ X_8 \ X_9 \ X_{10} \ X_{11} \ X_{12}\| \quad (2)$$

Следует отметить, что в (1) не используется привязка к взаимному расположению маяков, а функциональная связь между уравнениями состояний обеспечивается через дальности до мультикоптера. Это позволяет не учитывать расстояния между маяками, а также разность высот расположения маяков на местности.

В разностной форме система уравнений (1) с учетом (2) приобретает следующий вид:

$$\begin{cases} X_1(k+1) = X_1(k) + X_{11} \cdot \Delta t + \omega_1(k) \\ X_2(k+1) = X_2(k) + X_{12} \cdot \Delta t + \omega_2(k) \\ X_3(k+1) = X_3(k) + X_{11} \cdot \Delta t + \omega_3(k) \\ X_4(k+1) = X_4(k) + X_{12} \cdot \Delta t + \omega_4(k) \\ X_5(k+1) = X_5(k) + X_{11} \cdot \Delta t + \omega_5(k) \\ X_6(k+1) = X_6(k) + X_{12} \cdot \Delta t + \omega_6(k) \\ X_7(k+1) = X_7(k) + X_{11} \cdot \Delta t + \omega_7(k) \\ X_8(k+1) = X_8(k) + X_{12} \cdot \Delta t + \omega_8(k) \\ X_9(k+1) = X_9(k) + X_{11} \cdot \Delta t + \omega_9(k) \\ X_{10}(k+1) = X_{10}(k) + X_{12} \cdot \Delta t + \omega_{10}(k) \\ X_{11}(k+1) = X_{11}(k) + \omega_{11}(k) \\ X_{12}(k+1) = X_{12}(k) + \omega_{12}(k) \end{cases} \quad (3)$$

где  $k$  – дискретное текущее время с интервалом дискретизации  $\Delta t$ ;  $X^T(k) = |x_1, x_2, \dots, x_{12}|$  – вектор состояний, который представляет собой вектор-столбец размерностью (12 x 1) и включает в себя неизвестные и подлежащие оцениванию параметры динамической системы;

$\omega^T(k) = \|\omega_1 \ \omega_2 \ \omega_3 \ \omega_4 \ \omega_5 \ \omega_6 \ \omega_7 \ \omega_8 \ \omega_9 \ \omega_{10} \ \omega_{11} \ \omega_{12}\|$  – вектор случайных возмущений системы (порождающие шумы, шумы состояния) размерностью (12 x 1). Составляющая  $\omega^T(k)$  учитывает случайные возмущения, неизбежно присутствующие в сложных динамических системах, и позволяет компенсировать неточность математической модели задаваемой регулярной составляющей уравнения. Уравнение состояния (3) можно записать в матричной форме:

$$\mathbf{X}(k+1) = \Phi(\mathbf{X}, k) + \mathbf{W}(k), \quad (4)$$

где  $\Phi(\mathbf{X}, k)$  – переходная вектор-функция размерностью  $(n \times 1)$ ;

$\mathbf{W}(k)$  – вектор шумов состояния.

Уравнения наблюдения, учитывающие функциональные связи между выбранным вектором состояния и измерительными каналами запишем в виде:

$$\begin{cases} Z_1(k) = \sqrt{X_1(k)^2 + X_2(k)^2 + h^2} + \varepsilon_1(k) \\ Z_2(k) = \sqrt{X_3(k)^2 + X_4(k)^2 + h^2} + \varepsilon_2(k) \\ Z_3(k) = \sqrt{X_5(k)^2 + X_6(k)^2 + h^2} + \varepsilon_3(k) \\ Z_4(k) = \sqrt{X_7(k)^2 + X_8(k)^2 + h^2} + \varepsilon_4(k) \\ Z_5(k) = \sqrt{X_9(k)^2 + X_{10}(k)^2 + h^2} + \varepsilon_5(k) \end{cases} \quad (5)$$

где  $Z^T(k) = |z_1, z_2, \dots, z_5|$  – вектор фактических измерений размерностью  $(5 \times 1)$ ;  $h$  – высота полета мультикоптера над Землей;  $E^T(k) = |\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_5|$  – вектор ошибок измерений (шум измерений). Как правило, шумы, входящие в модели состояний и наблюдений, считаются белыми гауссовыми шумами с нулевым средним  $E\{\omega(k)\} = 0$ ,  $E\{E(k)\} = 0$  и ковариационными свойствами

$$E\{\omega(k)\omega^T(l)\} = R_\omega(k)\delta(k-l) \quad (6)$$

$$E\{E(k)E^T(l)\} = R_E(k)\delta(k-l) \quad (7)$$

где  $\delta(k-l)$  – символ Кронекера а  $R_\omega(k)$  и  $R_E(k)$  – соответственно диагональные матрицы ковариаций шумов состояний и измерений. Предполагается также, что шумы  $\omega(k)$  и  $E(k)$  взаимно некоррелированные, т.е.  $E\{\omega(k)E^T(l)\} = 0$ . Уравнения наблюдений представим в матричной форме:

$$\mathbf{Z}(k) = \mathbf{h}(\mathbf{X}, k) + \mathbf{E}(k), \quad (8)$$

где  $\mathbf{h}(\mathbf{X}, k)$  – вектор-функция наблюдений размерностью  $(5 \times 1)$ ;  $\mathbf{E}(k)$  – вектор шумов наблюдения размерностью  $(5 \times 1)$ .

Задача оценивания значений переменных состояния системы (2) сводится к синтезу некоторого алгоритма, обеспечивающего эту оценку по текущим измерениям  $Z(k)$  с минимальными ошибками. Под ошибкой оценивания понимается разность между истинным значением вектора состояний и значением полученной оценки:

$$\tilde{X}(k) = X(k) - \hat{X}(k), \quad (9)$$

здесь  $\hat{X}(k)$  – оценка вектора состояния в момент времени  $k$ ,  $\tilde{X}(k)$  – ошибка оценивания вектора состояния  $X(k)$ .

Поскольку уравнения наблюдений (5) являются нелинейными функциями вектора наблюдения, т. е.  $\mathbf{h}(\mathbf{X}, k)$  зависит от  $\mathbf{X}(k)$ , то применяют методы аппроксимации нелинейных выражений с помощью разложения в ряд Тейлора вблизи оптимальной оценки. Такой подход применен в расширенном фильтре Калмана, использующем ограниченное число членов ряда Тейлора – до линейных включительно [3].

Для нелинейной системы уравнений наблюдений (5) в терминах расширенного фильтра Калмана оценка дальностей на шаге  $(k+1)$  вычисляется:

$$\hat{X}(k+1) = \hat{X}(k+1|k) + \mathbf{G}(\hat{X}, k+1) \cdot [Z(k+1) - \mathbf{h}(\hat{X}(k+1|k), k+1)] \quad (10)$$

где  $\hat{X}(k+1)$  – оценка вектора состояния на момент времени  $(k+1)$ ;  $\hat{X}(k+1|k)$  – вектор предсказанных оценок на момент времени  $(k+1)$  по данным на шаге  $k$ ;  $G(\hat{X}, k+1)$  – матрица весовых коэффициентов;  $\hat{X}(k+1|k) = \Phi(k) \cdot \hat{X}(k)$  – матричное уравнение для расчета вектора предсказания;

$$\Phi(k) = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \Delta t & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \Delta t \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \Delta t & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \Delta t \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \Delta t & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \Delta t \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & \Delta t & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & \Delta t \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & \Delta t & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & \Delta t \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \text{ -переходная матрица(12x12);}$$

В расширенном фильтре Калмана расчет весовых коэффициентов осуществляется по рекуррентным матричным уравнениям следующего вида:

$$G(\hat{X}, k+1) = P(k+1|k) \cdot H^T(\hat{X}, k+1) \times \\ \times [H(\hat{X}, k+1) \cdot P(k+1|k) \cdot H^T(\hat{X}, k+1) + R_E(k+1)]^{-1}, \quad (11)$$

$$P(k+1|k) = F(\hat{X}, k) \cdot P(k|k) \cdot F^T(\hat{X}, k) + R_\Omega(k), \quad (12)$$

$$P(k+1|k+1) = [I - G(\hat{X}, k+1) \cdot H(\hat{X}, k)] \cdot P(k+1|k), \quad (13)$$

где  $P(k+1|k)$  – апостериорная матрица ковариаций ошибок предсказания размерностью  $(12 \times 12)$ ;

$P(k+1|k+1)$  – априорная матрица ковариаций ошибок оценивания размерностью  $(12 \times 12)$ ;

$R_E(k+1)$  – диагональная ковариационная матрица шумов наблюдения размерностью  $(5 \times 5)$ ;

$R_\Omega(k)$  – диагональная ковариационная матрица шумов состояния размерностью  $(12 \times 12)$ ;

$I$  – единичная матрица размерностью  $(12 \times 12)$ ;

$H(\hat{X}, k) = \frac{\partial h(\hat{X}, k)}{\partial \hat{X}}$  – матрица Якоби от вектор-функции наблюдений размерностью  $(5 \times 5)$ .

Структурная схема расширенного фильтра Калмана приведена на рис. 2.

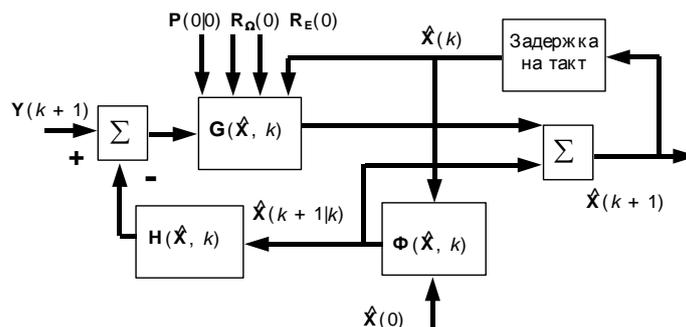


Рис. 2. Структурная схема расширенного фильтра Калмана

Для инициации работы алгоритма необходимо задать начальные значения матрицы ковариации ошибок оценивания  $P(0|0)$ , начальный вектор оценок  $\hat{X}(0)$  и диагональные элементы корреляционных матриц ошибок наблюдения  $R_E(k)$  и состояния  $R_W(k)$ .

Начальные значения вектора  $\hat{X}(0)$  могут быть заданы как средние величины, исходя из предполагаемых максимальных и минимальных значений. Априорная корреляционная матрица ошибок оценивания является диагональной. Значения диагональных элементов соответствуют дисперсиям ошибок оценивания в начальный момент времени [3,4].

**Заключение.** В работе выполнен синтез алгоритма посадки беспилотного летательного аппарата в декартовой системе координат с использованием каналов измерения GPS/ГЛОНАСС. В силу нелинейности модели наблюдений, алгоритм оценивания координат посадки мультикоптера реализуется с помощью расширенного фильтра Калмана. Приведена структурная схема расширенного фильтра Калмана, рассчитаны априорные и апостериорные матрицы ковариации ошибок оценивания, выполнен расчет весовых коэффициентов, вектора-функции наблюдений, определены матрицы шумов состояния и наблюдения. В данной статье рассмотрена возможность применения фильтрации Калмана для задачи точного позиционирования и посадки беспилотного летательного аппарата в автоматическом режиме.

*Semenova L. L., Popov Yu. B., Popova A. I.*

## ALGORITHM OF THE UNMANNED AERIAL VEHICLE LANDING BASED ON THE KALMAN FILTER

*Surgut*

The article considers the algorithm of landing of the single unmanned aerial vehicle (UAV) based on the Kalman filter. The statement of the issue is given, the models of state and observation are described, the algorithm for estimating the landing coordinates and the estimation of the a priori and a posteriori correlation matrix are presented.

*Keywords: Unmanned aerial vehicle (UAV), multirotor airmobile platform (MAP), multicopter, Kalman filter, state model, model of observation using GPS data, algorithm of estimating the single UAV landing coordinates.*

### Список использованной литературы

1. Машаров К. В. Применение фильтра Калмана для оценки координат цели в РЛС // Вестник СибГУТИ. 2011. № 3. С. 59–66.
2. Машаров К. В. Алгоритмы оценивания координат и навигационных параметров воздушной цели в многопозиционной РЛС на основе фильтра Калмана. Диссертационная работа, Сургут. СурГУ, 2011. 100 с.
3. Сейдж Э. Теория оценивания и ее применение в связи и управлении / Э. П. Сейдж, Дж.Л. Мелс. М. : Связь, 1976. 496 с.
4. Попов Ю. Б. Алгоритм определения местоположения подвижного источника излучения в двухпозиционной угломерной динамической системе / Ю. Б. Попов, В. А. Кураков, К. Ю. Хабарова // Автометрия. 2005. № 4 (41). С. 70–77.

УДК 532.543.013.2:532.591/.7

Соколов С. Б.

## МОДЕЛЬ ВОЛНЫ ИЗЛИВА В ВЕРХНЕМ БЬЕФЕ ГИДРОТЕХНИЧЕСКОГО СООРУЖЕНИЯ

г. Сургут

Автор статьи проводит анализ неустановившегося движения жидкости в форме волны излива в горизонтальном канале с прямоугольным сечением, используя принципы движения энергии. Получены зависимости для средней скорости течения и падения уровня в установившемся потоке, к которому стремится течение. Из них следует, что среди возможных состояний такого потока имеются такие, при которых наблюдается максимальный расход воды и максимальный поток энергии. Между глубиной  $h$  потоков с максимумом расхода или максимумом потока энергии и начальной глубиной  $h_0$  существуют постоянные соотношения. Максимальный расход наступает в потоке с глубиной  $h_0/3$ , а максимальное значение потока энергии – при глубине  $h_0/5$ . Полученные зависимости и параметры потоков в особых состояниях требуют экспериментальной проверки и интерпретации. Сделано предположение, что при свободном течении в сухом русле поток стремится к состоянию с максимальным расходом.

*Ключевые слова:* Модель образования волны излива, гидротехническое сооружение.

**Введение.** В статье рассматривается неустановившееся движение жидкости в канале в форме волны излива [9], когда течение происходит с понижением уровня воды, но расход воды при этом возрастает. Такие волны возникают, например, при внезапном удалении преграды, создающей подпор на пути потока. Обычно в таких задачах внимание уделяется потоку в форме так называемой волны прорыва (по классификации длинных волн перемещения – волны наполнения). Однако течение в области, в которой вода изначально покоилась и где движение происходит в форме волны излива, также представляет интерес. Благодаря этой волне в движение вовлекается неподвижная жидкость вверх по течению от места подпора и возникает течение во всем канале.

При анализе задачи используются выводы о волновой структуре течения жидкости, полученные с использованием теории движения энергии (ТДЭ) [6]. Ранее, принципы использования ТДЭ частично приводились для анализа волн наполнения [2; 3].

Цель статьи – представить результаты анализа распространения волн излива и их особенности, которые обнаруживаются при использовании принципов движения энергии.

Рассматривается следующая задача. Жидкость находится в горизонтальном канале прямоугольного сечения с шириной  $B$ . Канал разделен вертикальной перегородкой (рис. 1, а), по обе стороны которой существует некоторая разность уровней, обеспечивающих силу гидростатического давления

$$P = P_1 - P_2, \quad (1)$$

где  $P_1, P_2$  – силы гидростатического давления на перегородку соответственно справа и слева от нее.

Перегородка удерживается некоторой внешней силой  $P_0$ , которая действует слева и уравновешивает силу гидростатического давления так, что  $P_0 = P$ .

В начальный момент времени жидкость находится в покое. Когда исчезает сила  $F$ , перегородка начинает перемещаться под действием разности сил давления. Вслед за ней по обе

стороны от перегородки приходит в движение сама жидкость (рис. 1, б). В верхнем бьефе движение распространяется по каналу в форме волны излива.

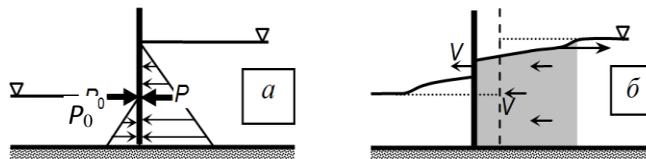


Рис. 1 Начальные условия (а) и образование волны излива в верхнем бьефе (б).

$P_0$  = сила, удерживающая перегородку,

$P$  = равнодействующая сила гидростатического давления слева и справа

Будем считать, что перегородка движется свободно и сохраняет вертикальное положение. Ее движение происходит с ускорением и будет передаваться вверх по течению вместе с волной излива. В конечном итоге, движение перегородки стремится к равномерному с некоторой максимальной скоростью  $V_{max}$ , которая определяет и среднюю скорость течения [8]. Если канал имеет неограниченную длину, то течение, которое образуется в нем, приобретает эту скорость на все большем протяжении. Изначально неустановившееся течение в результате стремится к установившемуся с глубиной  $h$ . Расход в таком потоке будет равен

$$Q = V_{max} hB. \quad (2)$$

Перемещение перегородки происходит за счет равнодействующей силы давления  $P$ . Конечная скорость движения перегородки и скорость течения  $V_{max}$  будет тем больше, чем больше движущая сила, т.е. чем больше начальная разность уровней.

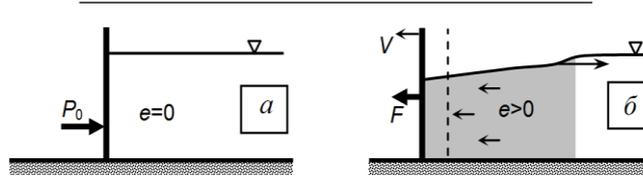
С привлечением понятий об энергии, задача традиционно интерпретируется как преобразование начальной потенциальной энергии покоящейся жидкости в кинетическую энергию потока. Наибольшая скорость течения, таким образом, будет достигаться при наименьшей глубине результирующего потока. Теоретический максимум скорости будет иметь место в частном случае, когда в исходных условиях вода находится только с одной стороны от перегородки. Задача становится аналогичной распространению потока в сухом русле. Движение воды будет определяться наибольшей силой давления, которая зависит от глубины воды в верхнем бьефе  $h_0$

$$P_{max} = \frac{1}{2} \rho g h_0^2 B, \quad (3)$$

где  $\rho$  – плотность воды;  $g$  – ускорение свободного падения.

**Методический подход.** При использовании принципов движения энергии предложенный модельный случай удобно рассмотреть в виде не свободного, а вынужденного растекания воды. Для этого считаем, что вода имеется только с одной стороны от перегородки и в начальный момент времени находится в состоянии устойчивого равновесия. Равновесие обеспечивается постоянной внешней силой  $P_0$ , которая является непрерывно действующей. В соответствии с общим определением в физике, потенциальная энергия воды в канале имеет минимальное значение, которое удобно принять равным нулю.

Движение перегородки теперь возможно только за счет приложения дополнительной внешней силы  $F$ , которая заменяет силу гидростатического давления  $P$  в случае свободного течения (рис.2). Формальное введение этой силы позволяет принимать во внимание уже любое ее значение. Однако здесь ограничимся ее значением, равным  $P_{max}$ .



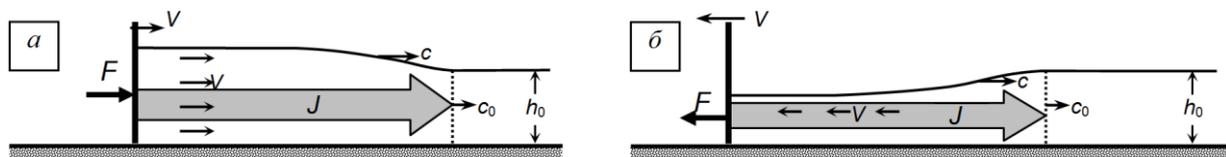
**Рис. 2. Модель образования волны излива. а) Система находится в равновесии.**

$P_0$  = непрерывно действующая постоянная сила. Энергия системы равна нулю.

б) Внешняя сила  $F$  создает движение и производит работу. Энергия жидкости возрастает ( $e > 0$ )

При такой замене перегородка рассматривается как волнопродуктор поршневого типа. Для поведения всей системы проведенная замена равнозначна, так как движение границы вызывается одинаковой силой. В исходной модели скорость перегородки изменялась по закону  $V(t)$ . Если скорость волнопродуктора будет изменяться по тому же закону, то при одинаковых граничных условиях движение самой жидкости будет сходным в обоих случаях. Однако, вводя внешнюю движущую силу, в анализе мы выходим за рамки аналогии со свободным движением жидкости и можем рассматривать задачу более широко, например, задавая  $F = const$ .

Прием с вынужденным движением позволяет применить для анализа этой задачи принципы ТДЭ. Источником энергии системы здесь является сила  $F$ , которая совершает работу по перемещению волнопродуктора, а механическая энергия в форме длинной волны перемещения распространяется вдоль канала, обеспечивая движение жидкости и изменение ее состояния по сравнению с равновесием.



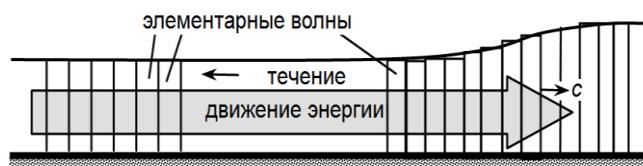
**Рис. 3. Вынужденное течение: а) волна наполнения, б) волна излива.**

$J$  = поток энергии,  $V$  = скорость течения,  $c$  = скорость волны (скорость движения энергии);

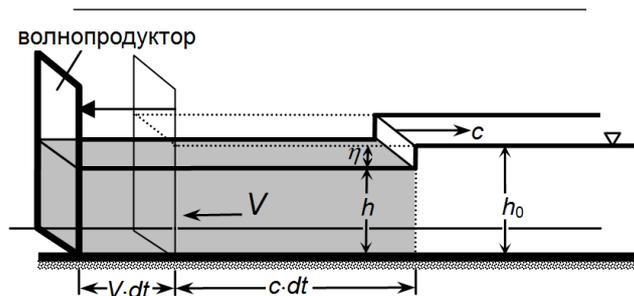
$c_0$  = скорость перемещения фронта волны

Вынужденное течение в форме волны излива симметрично такому же движению в форме волны наполнения. Два случая различаются направлением движущей силы (рис. 3). Общий методический подход применения ТДЭ на примере волны наполнения был изложен в других работах. Здесь приведем лишь основные моменты.

Энергия, которая сообщается системе работой силы  $F$ , перемещается вдоль канала в виде длинной волны (рис. 4). В [5] обосновано, что такая волна может рассматриваться как непрерывная последовательность плоских элементарных волн, которые переносят определенные количества энергии в общем случае с разной объемной плотностью  $e$ . Поскольку отдельные количества энергии связаны с элементарными волнами скорость отдельной элементарной волны тождественна скорости движения энергии  $c$ . Элементарные волны генерируются у волнопродуктора и перемещаются вдоль канала, образуя поток энергии  $J$ . Образование элементарной волны излива показано на рис. 5.



**Рис. 4. Схема волны излива как непрерывной последовательности плоских элементарных волн**



**Рис. 5. Схема образования элементарной волны волнопродуктором.**  
 Объем воды в волне  $dW = h_0 B c \cdot dt$

В момент образования отдельных элементарных волн локальные скорости движения самой жидкости на границе с волнопродуктором одинаковы по всему сечению и равны скорости перемещения волнопродуктора в каждый момент времени  $V(t)$ . Импульс, передаваемый в жидкость, и кинетическая энергия соответствуют этой скорости. При одномерном перемещении элементарной волны вдоль канала в первом приближении будем считать, что импульс и кинетическая энергия сохраняются. При этом нужно иметь в виду, что по мере продвижения волны вдоль канала локальные скорости движения воды могут меняться. Тогда скорость  $V$  должна пониматься как средняя скорость в конкретном сечении потока. Также следует обратить внимание, что эта скорость характеризует лишь значение импульса и кинетической энергии, но не скорость ее переноса. В случае волны наполнения  $V$  совпадает по направлению с движением энергии (движением волны). В случае волны излива поток энергии и поток жидкости движутся в противоположных направлениях.

Полная энергия  $dE = e \cdot dW$  отдельной элементарной волны, занимающей объем  $dW$ , имеет плотность

$$e = \rho V^2, \quad (4)$$

где  $e$  – плотность энергии.

Половину всей энергии составляет кинетическая энергия [2] с плотностью

$$e_k = \rho \frac{V^2}{2}. \quad (5)$$

Другую половину составляет потенциальная энергия, значение которой определяется отклонением состояния конкретного объема воды от состояния равновесия. В канале с прямоугольным сечением эта плотность  $e_U$  равна [4]

$$e_U = \rho g \frac{(h - h_0)^2}{2h}. \quad (6)$$

Потенциальная энергия жидкости зависит от разности уровней воды в возмущенном состоянии и состоянии равновесия. Для волны излива в данной системе при уменьшении глубины потока потенциальная энергия увеличивается. Разность  $h - h_0 = \eta$  является высотой волны. В случае волны наполнения высота волны положительная ( $\eta > 0$ ), а для волны излива она является отрицательной ( $\eta < 0$ ).

Скорость волны и течения жидкости связаны между собой условием постоянства объема (условие несжимаемости)

$$\frac{V}{c} = \frac{h - h_0}{h}. \quad (7)$$

При  $(h-h_0) < 0$  это условие означает, что течение жидкости и поток энергии направлены в противоположные стороны.

Из равенства  $e_K = e_U$  и условия (7) выражаются скорость отдельной элементарной волны

$$c = \sqrt{g(h_0 + \eta)} \quad (8)$$

и средняя скорость, определяющая импульс и кинетическую энергию жидкости для этой волны

$$V = \eta \sqrt{\frac{g}{h_0 + \eta}}. \quad (9)$$

Оба выражения известны. Первое есть экспериментальная формула Рассела [11], в дальнейшем обоснована теоретически Рэлеем и Буссинеском. Вторая формула является аналогом формулы Комоя [10].

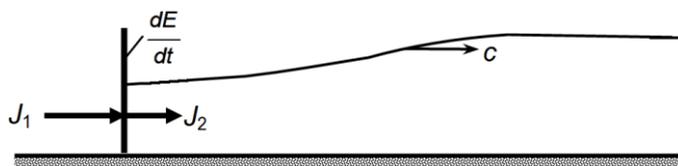
Из формул (8) и (9), в частности, следует, что

$$Vc = g\eta. \quad (10)$$

Самым важным моментом при использовании ТДЭ для задач такого типа является понимание, что установившийся поток жидкости, который получается как конечная стадия неустановившегося движения, есть часть длинной волны. Волновой характер движения энергии здесь состоит в том, что отдельные количества энергии переносятся не объемами жидкости, а со своей собственной скоростью, которая отличается от скорости течения и которую мы связываем со скоростью элементарных волн. Особенностью этой части длинной волны является то, что элементарные волны переносят энергию с одинаковой плотностью. При этом волна, в которой энергия по длине распределяется равномерно, не имеет внешних волновых признаков и выглядит как обычный поток.

## АНАЛИЗ

**Уравнение движения.** Схема потоков энергии для волнопродуктора и на границе с жидкостью показана на рис. 6. Наличие потока энергии  $J_2$  означает, что на границе производится работа и существует сила  $R$ , препятствующая движению волнопродуктора. Для волны наполнения это сила лобового сопротивления, вызванная дополнительным гидростатическим давлением из-за повышения уровня жидкости. Для волны излива она может рассматриваться как сила тяги (отрицательная сила давления) со стороны жидкости



**Рис. 6. Схема потоков энергии в системе «вода-волнопродуктор».**

$J_1$  – поток энергии к волнопродуктору, создаваемый силой  $F$ ,  
 $J_2$  – поток энергии от волнопродуктора в воду, обусловленный работой силы  $R$ ,  
 $dE/dt = J_1 - J_2$  – изменение кинетической энергии волнопродуктора

Если волнопродуктор обладает массой  $m$ , то его динамика определяется уравнением

$$m \frac{dV}{dt} = F - R, \quad (11)$$

которое перепишем в виде

$$F = m \frac{dV}{dt} + R. \quad (12)$$

Выражение для силы сопротивления  $R$  мы получим, учитывая волновой характер движения жидкости.

С точки зрения баланса импульса и энергии на движущейся границе сила  $R$  обеспечивает их поток в жидкость и обуславливает ее движение. При этом в каждый бесконечно малый промежуток времени импульс и энергия увеличиваются с появлением новой элементарной волны, которая локализуется в объеме жидкости  $dW = h_0 B c \cdot dt$  непосредственно у волнопродуктора.

Пусть в произвольный момент времени  $t_0$  импульс  $I$  всей системы был равен

$$I(t_0) = mV_0 + (I_{fl})_0,$$

где  $I_{fl}$  означает общий импульс жидкости в канале (Fig.7, а). За элементарный промежуток времени  $dt$  скорость волнопродуктора увеличится и станет равна  $V_1 = V_0 + dV$ , а импульс жидкости увеличится за счет импульса новой элементарной волны  $d(I_{fl}) = \rho V_1 h_0 B c_1 \cdot dt$  (рис.7, б). Тогда новый импульс всей системы станет

$$I(t_0 + dt) = mV_1 + (I_{fl})_0 + \rho V_1 h_0 B c \cdot dt,$$

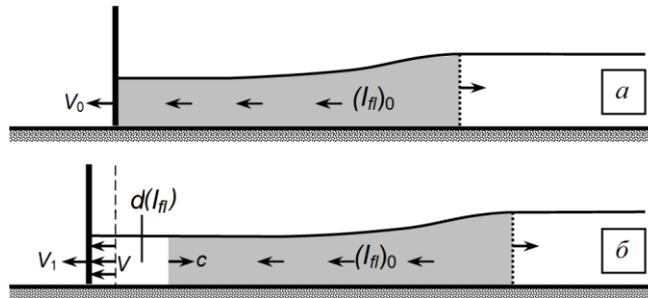


Рис. 7. К выводу уравнения (13).

Вид волны излива в последовательные моменты времени: а)  $t = t_0$ , б)  $t = t_0 + dt$

Изменение импульса между двумя моментами времени равно

$$dI = m \cdot dV + \rho V_1 h_0 B c \cdot dt$$

Изменение импульса системы происходит за счет действия силы  $F$ . Поэтому, согласно 2 закону Ньютона, в виде

$$F = \frac{dI}{dt},$$

она будет равна

$$F = m \frac{dV}{dt} + \rho V c \cdot h_0 B. \quad (13)$$

Индекс у  $V_1$  опущен, так как импульс был записан для текущего момента времени.

Сравнивая с уравнением (12), видим, что

$$R = \rho V c h_0 B. \quad (14)$$

Учитывая (8) формулу (14), можно переписать

$$R = \rho g \eta \cdot h_0 B. \quad (15)$$

**Параметры установившегося течения.** Из (13) следует, что равномерное движение волнопродуктора достигается при условии  $R = F$ . Максимум  $R$  достигается при максимальных значениях  $V$ . Если  $F = const$ , то максимальная скорость течения получается без решения уравнения (13)

$$V_{max} = \frac{F}{\rho c h_0 B}. \quad (16)$$

Глубина воды определяется падением уровня воды, который получается из (15)

$$\eta_{max} = \frac{F}{\rho g h_0 B}. \quad (17)$$

Расход по уравнению (2) с учетом (9) можно записать в виде

$$Q = \eta \sqrt{g(h_0 + \eta)} B. \quad (18)$$

**Параметры движения энергии.** Общее уравнение баланса энергии для волнопродуктора

$$\frac{dE}{dt} = J_1 - J_2, \quad (19)$$

где  $E = mV^2/2$ ,  $J_1 = FV$ ,  $J_2 = RV$ , показывает, что изменение энергии волнопродуктора обусловлено разницей входящего и выходящего потоков энергии. Поток энергии  $J_2$  является выходящим для волнопродуктора и входящим для жидкости. Эта энергия переносится волной по каналу с плотностью по уравнению (4). Из (19) получим

$$FV = m \frac{d\left(\frac{V^2}{2}\right)}{dt} + \rho V^2 c \cdot h B. \quad (20)$$

Входящий поток энергии делится на две части. Одна идет на увеличение кинетической энергии волнопродуктора, вторая – на увеличение энергии жидкости. В отличие от волнопродуктора, за счет работы силы  $R$  в жидкости возрастает как кинетическая, так и потенциальная энергия. Причем, прирост происходит не только за счет увеличения плотности, но и за счет увеличения массы движущейся жидкости пропорционально скорости переноса  $c$ .

При  $F = const$  входящий поток энергии непрерывно возрастает, достигая максимума при равномерном движении волнопродуктора. При этом  $J_1 = J_2$  и вся работа внешней силы расходуется уже только на движение жидкости. Тогда максимальный поток энергии при установившемся движении жидкости будет равен

$$J_2 = \rho V_{max}^2 c \cdot hB. \quad (21)$$

Для волны излива его особенность состоит в том, что он направлен в сторону, противоположную движению самой жидкости.

**Результаты.** Зависимости для  $V_{max}$ ,  $Q$  и  $J_2$  получены, исходя из теоретического анализа и некоторые положения согласуются с уже известными результатами, в т.ч. экспериментальными. Однако пока они рассматриваются формально и при таком подходе, скорее всего, имеют ограничения и должны быть проверены в эксперименте.

**Скорость течения.** Определение скорости установившегося течения основывается на выполнении граничных условий на границе «волнопродуктор-жидкость». Крайне важным обстоятельством в этом анализе является то, что при определении скорости течения нет необходимости учитывать вязкость жидкости!

Скорость границы по (16) зависит от значения силы  $F$ , которое формально может быть неограниченным. В этом случае движение должно стремиться к полному растеканию с  $h \rightarrow 0$ . Тогда, согласно (8), также  $c \rightarrow 0$ , а  $V_{max} \rightarrow \infty$ , что представляется некорректным.

Некорректность связана, в частности, со следующим обстоятельством. Выполнение граничных условий предполагает, что жидкость непрерывно соприкасается с поверхностью волнопродуктора. Однако, если скорость неограниченно возрастает, то при некотором ее значении может случиться отрыв твердой поверхности от жидкости, на что обращалось внимание, в частности, Стокером [6] при рассмотрении подобных задач. После отрыва условие на границе уже не выполняется, движение жидкости перестает быть вынужденным и происходит как свободное. В связи с этим обстоятельством важно знать ограничения для (16) и значение  $F$ , при котором оно возникает. Из приведенного анализа установить это не представляется возможным.

**Изменение расхода.** Формула (18) применима как для волны наполнения, так и волны излива, когда течение жидкости происходит в противоположных направлениях. Во втором случае расход формально является отрицательным из-за  $\eta < 0$ .

При увеличении  $F$  в случае волны излива установившееся движение имеет все большую скорость и меньшую глубину. Рассмотрим, как в этих условиях изменяется расход. Представим (18) в виде

$$Q = K_1 \frac{\eta}{h_0} \sqrt{1 + \frac{\eta}{h_0}}, \quad (22)$$

где  $K_1 = (c_0^3/g)B$ ,  $c_0 = \sqrt{gh_0}$ . При заданных начальных условиях коэффициент  $K_1 = const$ . И формула (20) показывает, как изменяется расход при изменении внешней силы  $F$ . На рис. 8 эта зависимость показана для волн наполнения и излива, в виде  $Q/K_1 = f(\eta/h_0)$ . Для волны излива расход принят положительным.

Обратим внимание, что в области волны излива график имеет локальный максимум при глубине потока  $h = h_0/3$ . И значение расхода равно  $Q = 0.38K_1$ . Это означает, например, что в канале с шириной  $B = 1\text{ м}$  и начальной глубиной жидкости  $h_0 = 1\text{ м}$  для волны излива расход не может превышать значения  $1.19\text{ м}^3/\text{с}$ , который достигается при глубине  $h = 0.33\text{ м}$ .

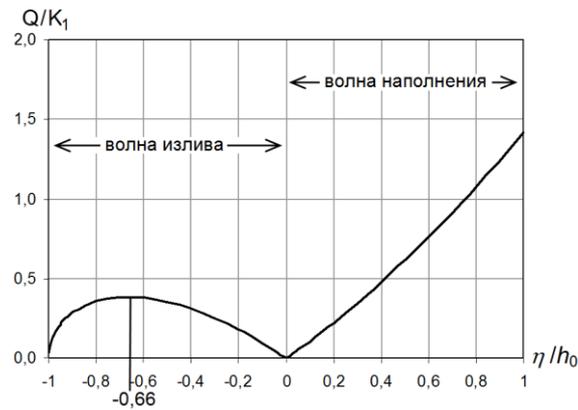


Рис. 8. Расход воды  $Q$  в области длинной волны с установившимся течением в зависимости от  $\eta/h_0$  ( $K_1 = const$ )

**Изменение потока энергии.** Аналогичный результат дает анализ потока энергии, если (21) представить, как

$$J = K_2 \left( \frac{\eta}{h_0} \right)^2 \sqrt{1 + \frac{\eta}{h_0}}, \quad (23)$$

где  $K_2 = \rho(c_0^5/g)B = const$ . Эта зависимость в виде  $J/K_2 = f(\eta/h_0)$  показана на рис. 9. Для волны излива также существует максимум потока энергии, который имеет место при глубине  $h = h_0/5$ .

Обоснованность зависимостей (22) и (23) и значения максимумов расхода и потока энергии пока не подтверждена и требует экспериментальной проверки. Наличие максимумов возможно требует интерпретации.

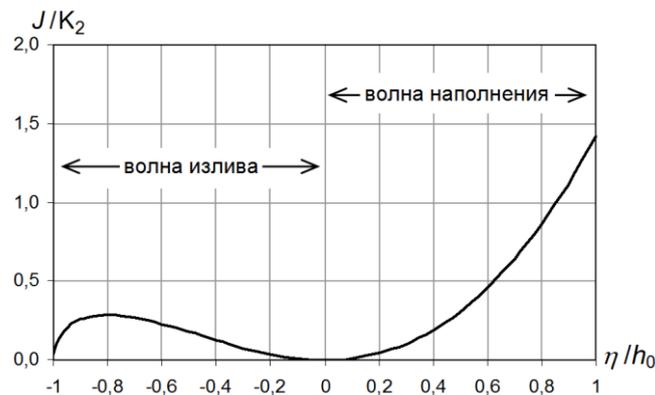


Рис. 9. Поток энергии  $J$  в области длинной волны с установившимся течением в зависимости от  $\eta/h_0$  ( $K_2 = const$ )

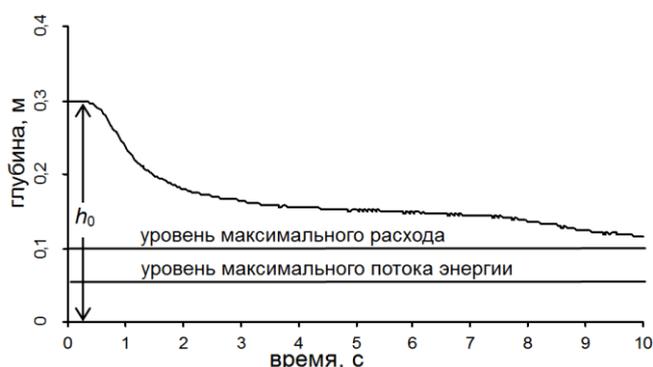
**Сравнение с экспериментом.** Интерес представляет анализ доступных автору данных экспериментов, которые в рамках проекта CADAM проводились Bento Franco et al. [10]. Однако сделанные выводы нельзя признать полностью определенными из-за условий проведения опытов.

В эксперименте изучалось распространение волны прорыва в прямоугольном лотке с резким сужением. Течение создавалось быстрым удалением преграды, которая удерживала воду в начальный момент времени. При быстром открытии ворот в верхнем бьефе образовалась волна излива, начинаясь от створа, где находилась преграда. Интерпретируя результаты

анализа, проведенного выше, можно было предполагать, что при большой длине канала вниз и вверх от створа преграды в нем удалось бы получить установившееся течение.

В опыте регистрировалась глубина потока в нескольких точках. Интерес представляет изменение глубины волны излива, которая регистрировалась в створе плотины. Отраженная волна от сужения лотка ниже по течению не оказывала влияния на течение в этом створе. К сожалению, на течение здесь повлияла волна излива, отраженная от задней стенки лотка из-за недостаточной длины лотка в верхнем бьефе.

Изменение уровня воды в створе плотины показано на рис. 10. Из графика видно, что искаженное отраженной волной естественное падение уровня воды стремится к глубине  $h_0/3$ , т. е. к глубине, при которой должен наблюдаться максимальный расход результирующего потока, согласно (22). Экстраполяция первоначального снижения уровня не позволяет надежно утверждать, до какой отметки продолжал бы снижаться уровень воды, так как сам опыт был кратковременным (10 с).



**Рис. 10. Изменение уровня воды в волне излива в сечении плотины в эксперименте разрушения плотины**

Наблюдаемая динамика дает основания предположить, что при свободном движении поток стремится к состоянию с максимальным расходом. К сожалению, единичный опыт, недостаточная длина лотка и небольшая продолжительность самого опыта не позволяют проверить это предположение.

#### **Заключение:**

1. Неустановившееся движение жидкости удобно рассматривать как вынужденное движение заменой условий равновесия системы. Анализ такого движения удобно проводить с учетом принципов движения энергии.

2. Для вынужденного движения в форме волны излива поток энергии и поток жидкости направлены в противоположные стороны.

3. При действии постоянной внешней силы неустановившееся течение жидкости стремится к установившемуся, которое является волновым процессом.

4. При анализе вынужденного движения жидкости, удобством является то, что при определении скорости течения не нужно учитывать вязкость.

5. Для установившегося потока волны излива в горизонтальном канале прямоугольного сечения наибольший расход имеет место в потоке с глубиной  $h_0/3$ , а наибольшее значение потока энергии – в потоке с глубиной  $h_0/5$ .

*Sokolov S. B.*

## THE MODEL OF THE WAVE OF LOWERING IN THE UPSTREAM OF THE WATERWORKS

*Surgut*

The author analyzes the unsteady fluid motion in the form of the wave of lowering in a horizontal channel with a rectangular cross-section, using the principles of energy motion. The dependences for the average flow velocity and the level drop in the steady flow, to which the flow tends, are obtained. Hence, among the possible states of such a flow there are those with the maximum water flow and the maximum energy flow. There are constant relations between the depth of  $h$  flows with the maximum flow or the maximum of the energy flux and the initial depth  $h_0/3$ . The maximum flow rate occurs in a flow with the depth  $h_0/3$ , and the maximum value of the energy flux occurs at the depth of  $h_0/5$ . The obtained dependences and flow parameters in the special states require experimental verification and interpretation. It is assumed that in condition of free flow in a dry channel, the flow tends to the state of the maximum flow rate.

*Keywords: the model of the wave of lowering, waterworks.*

### Список использованной литературы

1. Архангельский В. А. Расчеты неустановившегося движения воды в открытых руслах. М.-Л. : Изд-во АН СССР, 1947. 134 с.
2. Соколов С. Б. К оценке скорости длинных волн в русле с параболическим сечением // Водное хозяйство России. 2003. № 2. С. 135–151.
3. Соколов С. Б. О скорости волн перемещения в канале с треугольным сечением // Гидротехническое строительство. 2010. № 5. С.48–53.
4. Соколов С. Б. О потенциальной энергии жидкости конечного объема // Образование, наука и техника: XXI век : Сб.науч. ст. ; под ред. О. А. Яворука. Вып.8. Ханты-Мансийск : ЮГУ ; Челябинск : ЧИРПО, 2010. С. 121–127.
5. Соколов С. Б. Об экспериментальном исследовании движения механической энергии в жидкости // Образование, наука и техника: XXI век : сб. науч. ст. Вып. 10 ; Под ред. О. А. Яворука. Ханты-Мансийск : ЮГУ, 2012. С. 48–55.
6. Стокер Дж.Дж. Волны на воде. Математическая теория и приложения. М. : Издательский центр «Издательство МГУ», 1959. 618 с.
7. Умов Н. А. Уравнения движения энергии в телах. Избранные сочинения. М.-Л. : Гостехтеориздат, 1950. С. 151–201.
8. Христианович С. А., Михлин С. Г., Девисон Б. Б. Неустановившееся движение воды в каналах и реках. Некоторые новые вопросы механики сплошных сред. М.-Л. : Изд-во Академии наук СССР, 1938. С. 13–154.
9. Чугаев Р. Р. Гидравлика. М.-Л. : Атомэнергоиздат, 1982. 656 с.
10. Bento Franco, A., Betamio de Almeida, A., Viseu, T. 2000. Dam-break in a channel with a local constriction./ Test cases/ CADAM project CD ROM. Edited in Universite catholique de Louvain, Belgium.
11. Comoy G. E. Études pratique sur les marées fluviales et notamment sur le mascaret: Application aux travaux de la partie maritime des fleuves. Paris: Gauthier–Villars, 1881. 389 p.
12. Russell J.Sc. Report on waves. Report on the 14th meeting British Assoc. for the Advancement of Science. London John Murray, 1845. P. 311–390.

УДК 624.154:621.396.96

*Шошин Е. Л.*

## **РЕКОНСТРУКЦИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ СВАЙ СРЕДСТВАМИ ПОДПОВЕРХНОСТНОГО РАДИОЛОКАЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ**

*г. Сургут*

Автор статьи представляет радиолокационное устройство измерения длины свай. Описана последовательность операций по цифровой обработке радиолокационных изображений свай. Приведены результаты экспериментальных исследований.

*Ключевые слова:* радиолокатор, поляризационная манипуляция, реконструкция свай.

В практической деятельности строителей и проектировщиков часто возникает задача контроля длины установленных свай. В настоящее время для измерения длины сваи преимущественно применяются волновые методы, использующие акустические или электромагнитные воздействия на систему «свая – грунт». Волновые методы позволяют определить длину свай по измеренному значению времени распространения сигнала в свае и известной скорости распространения сигнала в материале сваи. Обследование установленных в грунт свай может быть осуществлено путем зондирования их с торца и с боковых поверхностей. При этом значительное затухание сигнала при его распространении и маскирующие отражения от арматуры свай затрудняют выделение сигнала, отраженного от границы «свая-грунт». Арматура свай, благодаря своей высокой электропроводности, оказывает заметное влияние на рассеяние сигналов. Установлено [1], что металлические штыри, образующие арматуру, хорошо отражают линейно-поляризованные электромагнитные волны, плоскость поляризации которых соответствует ориентации стержней арматуры, и слабо отражают линейно-поляризованные электромагнитные волны, плоскость поляризации которых образует перпендикуляр по отношению к направлению ориентации стержней арматуры. Учет векторных свойств зондирующих и рассеянных сигналов позволяет предложить метод зондирования свай поляризационно-манипулированными сигналами с последующей корреляционной обработкой рассеянных сигналов.

Принцип работы радиолокационного устройства измерения длины свай основан на использовании метода сверхширокополосного радиолокационного зондирования подповерхностных сред и объектов [2], при котором оцениваются характеристики нестационарного электромагнитного поля, формируемого при рассеянии от неоднородностей, включений и границ после их облучения последовательностью поляризационно-манипулированных сверхкоротких радиоимпульсов. Поляризационная манипуляция зондирующих сигналов реализует режим последовательного облучения подповерхностной среды электромагнитными волнами с ортогональными поляризациями, что позволяет выполнить поляризационную обработку сигналов, рассеянных неоднородностями и принятых антеннами ортогональных поляризаций. Результатом поляризационной обработки является выделение поляризационно-анизотропных и поляризационно-изотропных объектов.

Структурная схема радиолокационного устройства измерения длины свай представлена на рис. 1. и включает в себя: 1 – первая передающая антенна, 2 – первый генератор видеоимпульсов, 3 – вторая передающая антенна, 4 – второй генератор видеоимпульсов, 5 – первая приемная антенна, 6 – первый электронный ключ, 7 – первый усилитель, 8 – первый стробоскопический преобразователь, 9 – устройство синхронизации и обработки сигнала (УСО), 10 – вторая приемная антенна, 11 – второй электронный ключ, 12 – второй усилитель, 13 – второй стробоскопический преобразователь.

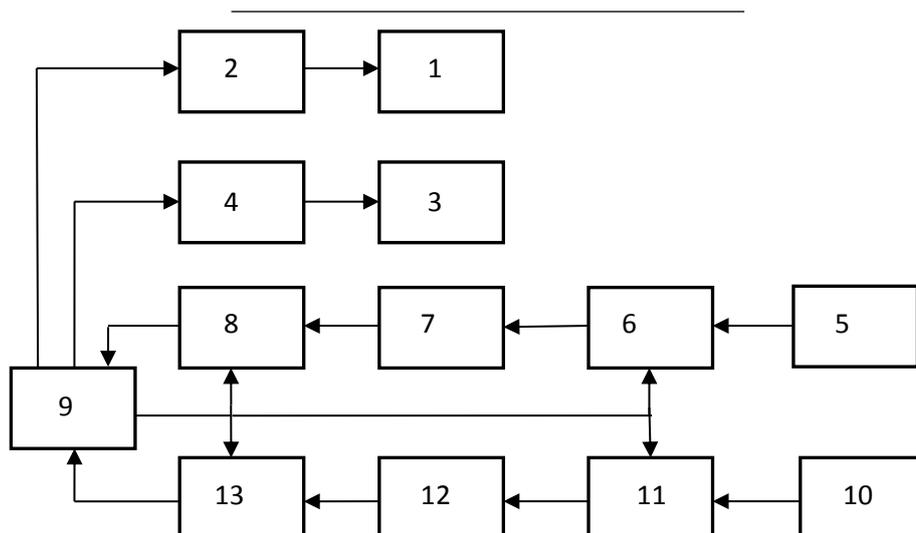


Рис. 1. Радиолокационное устройство измерения длины свай

Радиолокатор подповерхностного зондирования работает следующим образом.

Устройство синхронизации и обработки сигналов формирует:

- сигналы запуска стробоскопических преобразователей и электронных ключей в моменты времени  $t = nT, n = 1, 2, 3, \dots$ , где  $T$  – период следования синхроимпульсов;
- сигналы запуска в моменты времени  $t = 2nT, n = 1, 2, 3, \dots$ , что приводит к формированию на выходе первого генератора видеоимпульсов сверхкоротких импульсов, с последующим их излучением в подповерхностную среду передающей антенной с фиксированной поляризацией;
- сигналы запуска в моменты времени  $t = (2n - 1)T, n = 1, 2, 3, \dots$ , что приводит к формированию на выходе второго генератора видеоимпульсов сверхкоротких импульсов, с последующим их излучением в подповерхностную среду передающей антенной с ортогональной поляризацией.

Неоднородности, границы раздела, пустоты и разуплотнения подповерхностной среды рассеивают зондирующие сверхкороткие импульсы, при этом обратно рассеянные сигналы улавливаются приемными антеннами, образующими поляризационный базис, в котором измеряются изменения поляризационных характеристик обратно рассеянных сигналов от неоднородностей в подповерхностной среде. Поляризационные характеристики металлических стержней позволяют классифицировать арматуру как поляризационно-анизотропный объект. Граница раздела «свая-грунт», наоборот, не критична к поляризации зондирующих сверхширокополосных сигналов и может быть классифицирована как поляризационно-изотропный объект.

Входящие в состав радиолокатора электронные ключи ограничивают по времени прием рассеянных сигналов, приходящих с глубин 5–15 м, усилители компенсируют затухание обратно рассеянных сигналов в подповерхностной среде, а стробоскопические преобразователи выполняют масштабное-временное преобразование и переводят принятые сверхкороткие импульсы в цифровую форму, необходимую для дальнейшей обработки.

Опишем возможную последовательность операций по обработке рассеянных сигналов:

1. Компенсация затухания сигнала в зависимости от глубины проникновения в почвогрунты.

Эмпирическая формула, связывающая затухание  $y$  с глубиной слоя  $x$  для георадара ОКО-2 с частотой зондирования в 250 МГц, составляет линейную аппроксимацию вида  $y(x)[дБ] \approx 19,4x[м]$ .

2. Формирование маски границ раздела поляризационно-изотропных сред при зондировании сверхкоротким импульсом.

С учетом того, что большая часть энергии излученного сигнала сосредоточена в центральном полупериоде моноимпульса и двух боковых полуволн отрицательной полярности [2], маску границы раздела поляризационно-изотропных сред можно представить в виде бинарного изображения чередующихся черной- белой-черной полосы: **=====**

3. Пространственная корреляционная обработка сигналов и маски границы раздела сред.

Алгоритм пространственного корреляционного анализа задается соотношением свертки исходного пространственного образа среды  $s(\xi, \eta)$  с заданной импульсной характеристикой  $h(x, y)$  [1]:

$$s^*(x, y) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} h(x - \xi, y - \eta) s(\xi, \eta) d\xi d\eta.$$

4. Формирование бинарного изображения.

При формировании бинарного изображения пикселями, значения которых выше заданного порога  $x_0$ , назначается значение белого цвета (единица), а пикселями со значениями ниже порога – значение черного цвета (ноль). Алгоритм отсечения порогом задан соотношением [2]:

$$x_{i,j}^* = \begin{cases} 1, & x_{i,j} \geq x_0 \\ 0, & x_{i,j} < x_0 \end{cases},$$

где значение порога задается в настройках, для георадара ОКО-2 с частотой зондирования в 250 МГц составляет  $x_0 = 0,8 - 0,9$ .

5. Реконструкция границ раздела сред.

Типовые операции по выделению протяженных объектов в бинарном изображении включают в себя удаление сегментированных участков, не превысивших порог, с последующим оконтуриванием; результатом реконструкции является выделение оголовка сваи и конца сваи, заглубленного в почвогрунты.

6. Измерение длины свай.

Алгоритм измерения длины сваи  $h$  задается соотношением:

$$h = \frac{cT_n}{2\sqrt{\varepsilon}},$$

где  $T_n$  – время задержки сигнала от оголовка до конца сваи, а  $\varepsilon$  – диэлектрическая проницаемость бетона.

Приведем пример обработки сигналов при радиолокационном зондировании бетонной сваи в диапазоне частот 100–250 МГц линейными поляризационно-манипулируемыми сигналами: на рис. 2 а приведено радиолокационное изображение сваи, на рис. 2 б приведены результаты корреляционной обработки радиолокационного изображения сваи, на рис. 2 в приведены результаты реконструкции длины сваи.

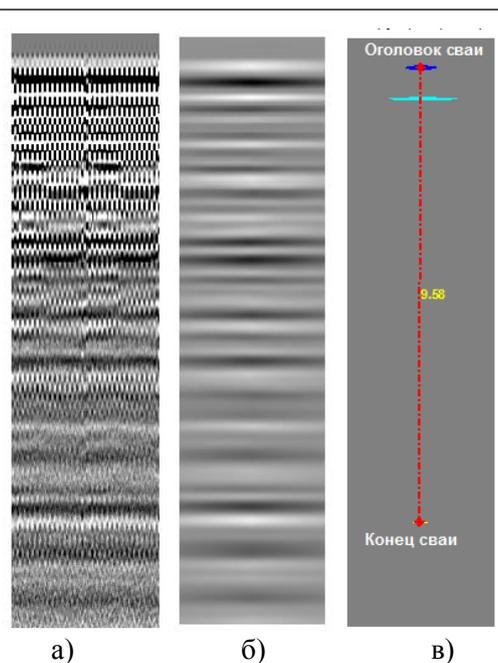


Рис. 2. Реконструкция бетонной сваи

*Shoshin E .L.*

## RECONSTRUCTION OF REINFORCED CONCRETE PILES BY THE MEANS OF SUBSURFACE RADAR SOUNDING

*Surgut*

The radar device of the measurement of the piles length is offered. The sequence of the operations on digital processing of radar images of piles is described. Results of the experimental studies are given.

*Keywords: radar, polarizing manipulation, reconstruction of piles.*

### Список использованной литературы

1. Вопросы подповерхностной радиолокации. Коллективная монография / под ред. А. Ю. Гринева. М. : Радиотехника, 2005. 416 с.
2. Шошин Е. Л., Ковалев Д. М., Лукьянов С. П. Георадарные методы инженерного обследования ; под ред. Е. Л. Шошина. Сургут : Изд-во СурГУ : Библиографика, 2008. 174 с.

## РАЦИОНАЛЬНОЕ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ СЕВЕРНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

УДК 582.475:581.52:581.9(571.122Сургут)

*Варлам И. И., Русак С. Н.*

### **БИОИНДИКАЦИЯ СОСТОЯНИЯ СОСНЫ СИБИРСКОЙ (*PINUS SIBIRICA*) В УСЛОВИЯХ УРБАНИЗИРОВАННОЙ ТЕРРИТОРИИ (НА ПРИМЕРЕ г. СУРГУТА)**

г. Сургут

Авторы статьи оценивают устойчивость и состояние хвойных растений, на примере сосны сибирской (*Pinus sibirica*), в условиях городской среды. Зеленые посадки, оказывая преобразующее влияние на городскую среду, одновременно сами находятся под влиянием техногенных факторов. В процессе исследования установлено, что накопление фенольных соединений и тяжелых металлов, как и морфологические повреждения растений (хлорозы, некрозы), могут служить биоиндикационными признаками, позволяющими оценивать жизненное состояние, адаптацию и устойчивость сосны сибирской в условиях урбанизированной среды.

*Ключевые слова:* биоиндикация, хлорофилл, фенольные соединения, тяжелые металлы.

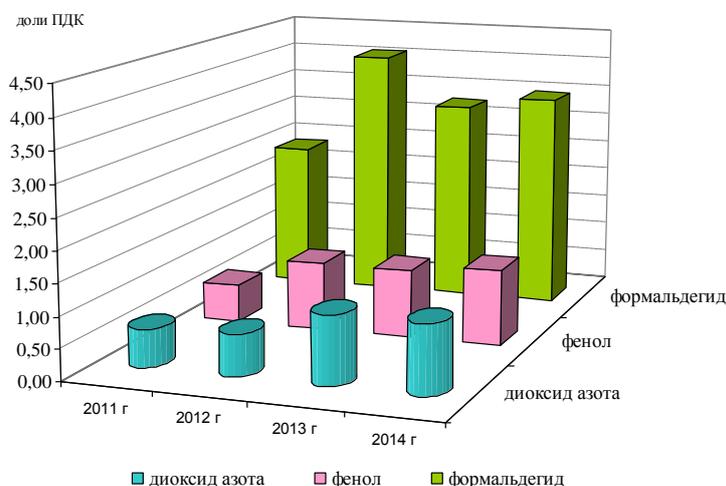
Воздействие атмосферного загрязнения на растение – сложное биохимическое явление, затрагивающее, в первую очередь, метаболические и физиологические процессы и разрушающие ультраструктуру клеток листа (хвои). По мере разрушения внутриклеточных структур начинают проявляться внешние, визуально наблюдаемые повреждения и отклонения от нормы у ассимиляционных органов и других частей растений [6]. Аэротехногенное загрязнение оказывает как прямое влияние на формирование химического состава различных органов растений (фолиарное поглощение загрязняющих веществ, выщелачивание элементов питания из растительных тканей), так и косвенное воздействие через загрязненную тяжелыми металлами почву, в результате которого нарушается питательный режим растений [5].

Высокая степень воздействия негативных антропогенных факторов, присущая урбанизированным территориям, закономерно приводит к ослаблению растительности, преждевременному старению, снижению продуктивности, поражению болезнями, вредителями и гибели насаждений [7]. В связи с этим изучение реакции растений на действие техногенных поллютантов вызывает не только большой научный, но и практический интерес. Активно исследуются поглощение, транспорт и аккумуляция тяжелых металлов в тканях и органах растений, их влияние на основные физиологические процессы: рост, развитие, фотосинтез, водный обмен и минеральное питание, а также механизмы металлоустойчивости растений [8; 11].

Хвойным древесным растениям принадлежит ведущая роль в формировании лесных биогеоценозов в северном полушарии. Наибольший интерес в изучении хвойных растений связан с длительными сроками жизни хвои, приводящими к большему поглощению токсикантов, слабым развитием запасающих тканей и, соответственно, недостаточным накоплением резервных веществ, ограниченных регенеративной способностью [9].

Территория г. Сургута характеризуется развитой системой промышленных и коммунальных объектов [11]. Дополнительно к спектру промышленного загрязнения большое влияние на состояние окружающей среды оказывает и автомобильный транспорт.

Данные об уровне содержания загрязняющих веществ (доли предельно-допустимых концентраций – ПДК) атмосферного воздуха в условиях г. Сургута, в динамике с 2011 по 2014 года [2], представлены на рис. 1.



**Рис. 1. Уровень содержания загрязняющих веществ (доли ПДК) атмосферного воздуха в динамике 2011–2014 года**

Если проследить тенденцию изменения уровня содержания загрязняющих веществ в динамике с 2011 по 2014 года, можно отметить, что качество атмосферы в г. Сургуте незначительно ухудшилось [2]. В городе Сургуте в 2014 г. среднегодовые концентрации формальдегида превышали среднесуточные ПДК в 3,4 раза. Если проследить тенденцию изменения средних концентраций формальдегида в городах Ханты-Мансийского автономного округа – Югры за период 2008–2012 гг., то можно отметить, что значения концентраций в г. Сургуте возросли [2]. Следует отметить, что особенно актуально проведение подобных работ в местах, где антропогенная нагрузка наиболее интенсивная, в частности, в парках, пригородных лесах или на антропогенно нарушенных территориях, где слабо изучено отношение влияния аэротехногенных факторов на состояние пигментного аппарата растительности.

Объектом исследования являлась хвоя сосны кедровой сибирской (*Pinus sibirica* Du Tour). Отбор хвои осуществлялся осенью 2014 г.; хвоя отбиралась на площадках лесопарка «Кедровый Лог», по обеим сторонам Югорского тракта, на различной удаленности от автотранспортной дороги: 50 м, 100 м, 200 м и 300 м. С каждой пробной площадки была отобрана и осмотрена хвоя с первого по четвертый год жизни, в трехкратной повторности – всего 240 растительных образцов. Состояние хвои оценивали по степени ее повреждения и усыхания. В растительных образцах определяли содержание хлорофилла спектрофотометрическим методом, водорастворимых фенольных соединений методом объемной титриметрии, соединения тяжелых металлов (подвижные формы) методом атомно-абсорбционной спектроскопии.

Сравнивая две площадки между собой по степени повреждения хвои в зависимости от автодороги, было отмечено, что, несмотря на одинаковую удаленность от автомобильной дороги, повреждения хвои 4-го года жизни более существенны для площадки № 1 и достигают своего максимума на расстоянии 200 м от автомобильной дороги, а хвои без повреждения не встречалось. Процентное соотношение хвои с усыханием и с пятнами составили практически равные доли. Повреждения хвои 4-го года жизни для растений площадки № 2 менее значительны: здесь присутствовала хвоя без повреждения на удалении 200 м и 300 м от автомобильной дороги, а максимум хвои с усыханием приходился на расстояние 100 м от автодороги и составил 11 %. Можно предположить, что на площадке № 2 антропогенное воздействие на состояние хвои сосны сибирской менее выражено, чем на площадке № 1.

У растений на обеих исследуемых площадках минимальный уровень содержания фотосинтетических пигментов (хлорофилла *a*, *b*) отмечен для однолетней хвои, а максимальные значения – для двухлетней хвои (рис. 2). Содержание суммарного хлорофилла в хвое у растений площадки № 2 выше, чем для площадки № 1. Максимум содержания хлорофилла наблюдался в хвое со 2-го по 4-й год жизни, что вполне согласуется с данными литературы о том, что двухлетняя хвоя у вечнозеленых растений несет основную фотосинтетическую нагрузку [4]. В исследованиях 2014 г. общее содержание хлорофилла (*a* и *b*) в хвое сосны сибирской (*Pinus sibirica*) 1-го года жизни составило  $1,09 \pm 0,12$  мг/г для площадки № 1 и  $1,29 \pm 0,13$  мг/г для площадки № 2, для 4-го года жизни хвои –  $1,34 \pm 0,20$  мг/г и  $1,69 \pm 0,34$  мг/г, соответственно. Уровень содержания каротиноидов в растительных образцах сосны сибирской для площадки № 1 и № 2 лесопарка «Кедровый Лог» очень низок и распределен в интервале от 0,07 до 0,001 мг/г.

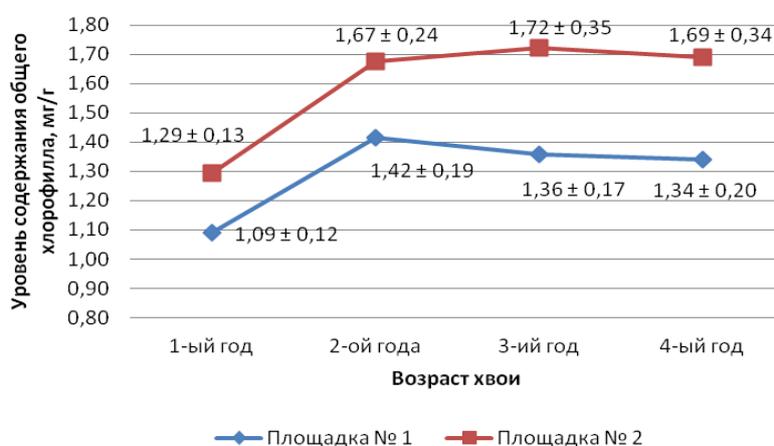


Рис. 2. Уровень содержания хлорофилла общего (суммарного) в растительных образцах сосны сибирской для двух площадок лесопарка «Кедровый Лог» с учетом возраста хвои

Уровень содержания фенольных соединений в хвое растений двух площадок практически идентичный, но отмечена тенденция к накоплению этих соединений с увеличением возраста хвои – так содержание в хвое 4-го жизни более чем в 4 раза превышало уровень фенольных соединений для хвои первого года жизни (рис. 3). Взаимосвязь между содержанием хлорофилла и накоплением фенольных соединений характеризовалась отрицательной корреляционной зависимостью. Кроме того, отмечено увеличение уровня содержания фенольных соединений при уменьшении доли неповрежденной хвои сосны сибирской, что подтверждается данными литературы об уменьшении в растениях низкомолекулярных антиоксидантов, что вызывает ускоренное их усыхание [3].

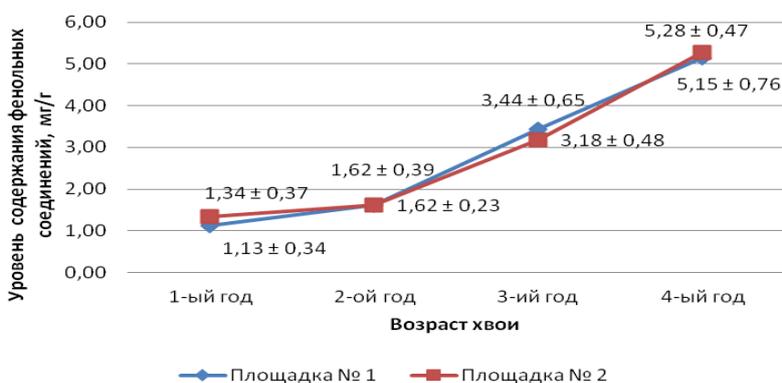


Рис. 3. Уровень содержания фенольных соединений (мг/г) в растительных образцах сосны сибирской для двух площадок с учетом возраста хвои

В таблице 1 представлены результаты исследования уровня содержания тяжелых металлов (свинца и кадмия) в хвое сосны сибирской (*Pinus sibirica*) за 2014 г. Характеристика проведена по хвое 1-го и 3-го года жизни.

Таблица 1

**Уровни содержания тяжелых металлов (подвижных форм) в хвое сосны сибирской в зависимости от возраста хвои**

Вид растения	Даты отбора	Содержание ТМ в хвое, $\pm \Delta$			
		Свинец, мг/кг		Кадмий, мг/кг	
		*1-го года	*3-го года	1-го года	*3-го года
Сосна сибирская	2014 г. Площадка № 1	0,69 $\pm$ 0,22	1,81 $\pm$ 0,45	0,41 $\pm$ 0,13	0,63 $\pm$ 0,31
	2014 г. Площадка № 2	2,75 $\pm$ 0,86	4,66 $\pm$ 2,17	0,72 $\pm$ 0,44	1,33 $\pm$ 0,36

Примечание: – среднее арифметическое значение,  $\Delta$  – стандартная ошибка среднего арифметического значения. \*Различия по содержанию тяжелых металлов между городскими участками достоверны при уровне значимости  $p \leq 0,05$ .

Так, для хвои 3-го года жизни отмечено более высокое содержание соединений свинца, чем для хвои 1-го года жизни для двух площадок. Рядом авторов отмечена тенденция накопления тяжелых металлов в хвое с возрастом [1; 10]. Исследования показали, что при большем уровне накопления соединений тяжелых металлов (суммарно) отмечалось снижение содержания хлорофилла, оценка взаимосвязи накопления хлорофилла на фоне содержания тяжелых металлов (подвижных форм свинца и кадмия) в хвое разного возраста характеризовалась отрицательной корреляционной зависимостью ( $r = -0,25$ ).

Для площадки № 1 и 2 с увеличением возраста хвои наблюдалась тенденция роста уровня фенольных соединений и содержания соединений таких тяжелых металлов как: свинец, хром, кадмий и марганец.

В целом, отмечен разный уровень содержания тяжелых металлов в хвое сосны сибирской, что может быть связано с рядом факторов: зависимостью от техногенной нагрузки, видовой и элементной специфичностью поглощения тяжелых металлов в растениях.

Таким образом, в загрязненной атмосфере проявляются повреждения растений (образование хлорозов и некрозов), а морфологические характеристики хвои, а также накопление фенольных соединений и тяжелых металлов, могут использоваться для биоиндикации загрязнения воздуха различными атмосферными поллютантами (оксидами азота и серы, бенз(а)пиреном) [8].

Оценка накопления уровня хлорофилла, фенольных соединений и соединений тяжелых металлов являются информативными показателями, позволяющими оценивать жизненное состояние, адаптацию и устойчивость сосны сибирской в условиях урбанизированных территорий.

*Varlam I. I., Rusak S. N.*

**BIOINDICATION STATE OF SIBERIAN PINE (*PINUS SIBIRICA*)  
IN THE CONDITIONS OF THE URBAN AREA (ON THE EXAMPLE OF SURGUT)**

*Surgut*

The article is devoted to the question of assessing the stability and condition of coniferous plants on the example of Siberian pine (*Pinus sibirica*) in the urban environment. Green plantings, having a transforming effect on the urban environment, are themselves under the influence of tech-

nogenic factors. In the course of the study, it was established that the accumulation of phenolic compounds and heavy metals, as well as morphological damage to plants (chlorosis, necrosis), can serve as bioindication indicators that allow assessing the life, adaptation and stability of Siberian pine in the urban area.

*Keywords: bioindication, chlorophyll, phenolic compounds, heavy metals.*

### Список использованной литературы

1. Валетова Е. А. Влияние техногенного загрязнения на репродуктивную способность сосны обыкновенной : автореф. дис. ... канд. биол. наук. Барнаул, 2009. 16 с.
2. Доклад об экологической ситуации в Ханты-Мансийском автономном округе – Югре в 2014 году / Департамент экологии Ханты-Мансийского автономного округа – Югры, издание ООО «Печатное дело», 2015. 172 с.
3. Исендерова Т. Г. Индикация атмосферного загрязнения // Вестник МГОУ. Серия «Естественные науки». 2003. № 2. С. 34–37.
4. Кизеев А. Н., Жиров В. К., Никанов А. Н. Влияние промышленных эмиссий предприятий Кольского полуострова на ассимиляционный аппарат сосны // Окружающая среда. Экология человека. 2009. № 1. С. 9–14.
5. Мазная Е. А., Лянгузова И. В. Эколого-популяционный мониторинг ягодных кустарничков при аэротехногенном загрязнении. СПб. : «ВВМ», 2010. 194 с.
6. Андреева Е. Н. [и др.]. Методы изучения лесных сообществ. СПб. : НИИХимии СПбГУ, 2002. 240 с.
7. Неверова О. А. Экологическая оценка состояния древесных растений и загрязнения окружающей среды промышленного города: на примере г. Кемерово // [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.dissercat.com/content/ekologicheskaya-otsenka-sostoyaniya-drevesnykh-rastenii-i-zagryazneniya-okruzhayushchei-sred>.
8. Овечкина Е. С., Шаяхметова Р. И. Морфологические изменения сосны обыкновенной на территории Нижневартовского района // Вестник Нижневартовского государственного гуманитарного университета. 2013. № 3. С. 75–84.
9. Пахарькова Н. В., Калякина О. П., Шубин А. А., Григорьев Ю. С., Пахарьков С. В., Сорокина Г. А. Различия в акклимационных стратегиях сосны обыкновенной и ели сибирской на загрязнение воздушной среды // Хвойные бореальной зоны. 2010. Т. XXXI, № 3–4. С. 232–237.
10. Филимонова М. В., Кравченко И. В., Русак С. Н. Пигментный аппарат *Pinus sylvestris* L. Барсовой горы в зависимости от загрязнения среды обитания // Хвойные бореальные зоны. 2013. Т. XXXI, № 3–4. С. 82–88.
11. Шепелева Л. Ф., Шепелев А. И., Мамонтова Л. В. Экологическая и биоиндикационная оценка территории лесопарковых зон города Сургута // Биологические ресурсы и природопользование : сб. науч. тр. Вып. 5. Сургут : Дефис, 2002. 132 с.

УДК 502.175:502.51(571.122):549.2:504.5:622.32

*Куриленко М. И., Хоменушко Т. И., Русак С. Н.*

## **АККУМУЛЯЦИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОДОЕМОВ ХАНТЫ-МАНСИЙСКОГО РАЙОНА В СЕЗОННОЙ ДИНАМИКЕ**

*г. Сургут*

Авторы статьи рассматривают одну из важных и самых актуальных экологических проблем современности – загрязнение водных объектов тяжелыми металлами. Выполнено исследование по определению содержания тяжелых металлов в донных отложениях водных объектов Ханты-Мансийского района в динамике сезонного накопления. В ходе исследования была установлена сезонная составляющая в накоплении валовых форм тяжелых металлов в весенне-летний период, что может быть обусловлено техногенным влиянием.

*Ключевые слова: тяжелые металлы, загрязнение, донные отложения, сезонное накопление.*

Одной и самой важной из современных экологических проблем на сегодняшний день остается предотвращение загрязнения окружающей природной среды тяжелыми металлами, в том числе в поверхностных водоемах. Тяжелые металлы в водах подвергаются химическим разнообразным превращениям: адсорбции и комплексообразованию, с последующими процессами осаждения и аккумуляции их в донных отложениях. Важной характеристикой водных экосистем являются физико-химические свойства донных отложений, которые отражают многолетнюю картину загрязнения, особенно в малопроточных водоемах. Донные отложения, которые формируются в процессе седиментации взвешенного неорганического и органического материала в воде, играют весомую роль в образовании химического состава водных объектов.

Донные отложения являются достаточно хорошим индикатором степени загрязнения водных объектов [5–6; 8; 12]. Накопление тяжелых металлов в донных отложениях контролируется рядом факторов окружающей природной среды, таких как рН, соленость, тип и концентрация органических и неорганических лигандов, гидравлические процессы в реках и т. д. [11]. Большой особенностью донных отложений, как показателя состояния водного объекта, является то, что они представляют собой последнее звено поступления веществ в поверхностные водотоки, в связи с этим они интегрируют геохимические особенности водосборных площадей, техногенных сбросов и водных объектов.

Быстрое развитие сельского хозяйства, промышленности и транспорта оказывает значительное влияние на загрязнение рек тяжелыми металлами [13]. Так как донные отложения служат депонирующей средой, которая накапливает загрязняющие вещества, то их химические показатели, в отличие от гидрохимических, характеризуют состояние водотоков преимущественно на момент опробования. Они более устойчивы во времени и потому лучше отражают загрязнение речной сети. И, в связи с этим, исследования донных отложений приобретают первостепенное значение для определения степени антропогенного загрязнения водных объектов и оценке их исходного состояния [1].

Приобское нефтяное месторождение является практически самым огромным месторождением по добыче нефти на территории России. Данное месторождение является труднодоступным и удаленным, находится на расстоянии 200 км от города Нефтеюганска и в 70 км от города Ханты-Мансийска. Приобское месторождение включено в Западно-Сибирскую провинцию (нефтегазоносную). Около 80 % территории Приобского нефтяного месторождения располагается именно в пойме реки Обь, на две части поделено водой. Характерной чертой

Приобского месторождения является затопление территории месторождения в периоды паводков.

Уникальная территориальная особенность месторождения обусловлена его расположением в черте водоохранной зоны и на пойменных речных ландшафтах [10]. Приобское нефтяное месторождение, довольно протяженное по площади и уникальное по запасам. В настоящее время Приобское месторождение поделено на две лицензионные территории: северная и южная [7].

Нами была исследована область северной лицензионной территории. Район работ расположен в пойме реки Обь в ее среднем течении. Выбранные для исследования водные объекты объединял идентичный характер антропогенных воздействий на их экосистемы, связанные с добычей и транспортировкой нефти, реконструкцией автомобильных дорог и т. д. Однако масштабы загрязнения и реакция водных экосистем до сих пор изучены недостаточно хорошо. Особенно в настоящее время ощущается нехватка достоверных данных о фоновых содержаниях химических элементов (тяжелых металлов) в донных отложениях района, механизме самоочищения водотоков и донных отложений, переход их химического состава по мере изменения порядка водных объектов и т. д. [9].

Целью настоящего исследования являлась предварительная оценка сезонного накопления тяжелых металлов (свинец, цинк, марганец, железо, ртуть, медь, хром, кадмий и никель) в донных отложениях поверхностных водоемах (пр. Норник, пр. Неулева, пр. Малый Салым, пр. Промет, р. Межевая, р. Евьяха, р. Городищенская, р. Обь) Ханты-Мансийского района.

Отбор проб донных отложений производился стандартизованным методом [4], образцы донных отложений отбирали при помощи дночерпателя и помещали в двойные полиэтиленовые пакеты для исключения потерь сверхтонких фракций и летучих элементов. Отбор и анализ донных отложений проводился посезонно – осенне-зимний и весенне-летний периоды года. Исследования проводились на территории Приобского месторождения Ханты-Мансийского района: донные отложения отбирались с шести различных участков (кустов) (кусты скважин №№ 99–103 – р. Городищенская, кусты скважин №№ 113–110 – р. Межевая, куст скважин № 151 – р. Обь, куст скважин № 170 – пр. Норник, куст скважин № 171 – пр. Малый Салым, куст скважин № 174 – пр. Неулева, кусты скважин №№ 280–282 пр. Промет) (рис. 1).



**Рис. 1. Участки отбора проб донных отложений на Приобском месторождении (Ханты-Мансийский район):**

1 – р. Евьяха; 2 – пр. Промет; 3 – пр. Норник; 4 – пр. Неулева; 5 – пр. Малый Салым;  
6 – р. Обь; 7 – р. Городищенская; 8 – р. Межевая

В исследуемых водных объектах донные отложения по механическому составу различались незначительно. Большинство из них включали тонкий состав русловых отложений – супесчаный и суглинистый. Некоторые водотоки (пр. Норник и р. Евьяха) отличались преобладанием илистых с примесью супеси грунтов, сформировавшихся в результате отмирания произрастающей достаточно обильной водной растительности.

Глубина отбора проб не превышала отметки 0,6 м. Пробы отбирались в прибрежной части дна, без конкретной приуроченности к одному из берегов. Отобранные пробы донных отложений анализировали в комплексной аналитической лаборатории, ООО «ЮганскНИПИ» (Аттестат аккредитации Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии № РОСС RU.0001.515777 от 24 июня 2014 г., действителен до 24 июня 2019 г.). Содержание химических загрязняющих веществ (тяжелых металлов) в пробах донных отложений определяли в соответствии с нормативными требованиями методик выполнения измерений, допущенных для целей государственного экологического контроля и актуализированных национальных стандартов.

Содержание сезонного накопления тяжелых металлов в донных отложениях поверхностных водотоков Приобского месторождения за период 2015 года представлено в таблице 1.

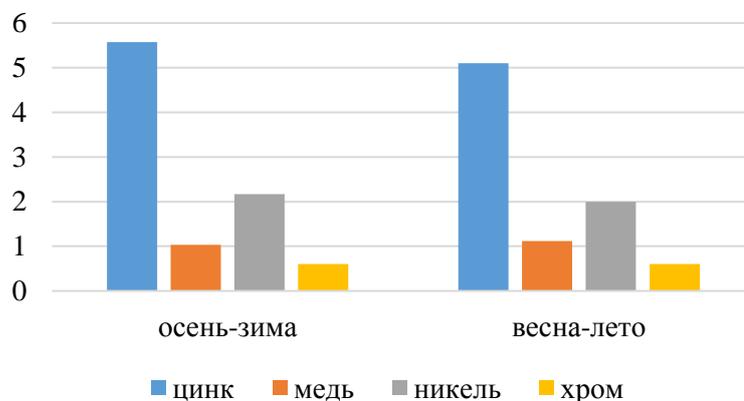
Таблица 1

**Сезонное накопление тяжелых металлов в донных отложениях поверхностных водотоков  
Приобского месторождения за период 2015 года, мг/кг**

Период	Водотоки	Химический элемент								
		Pb	Zn	Mn	Fe	Hg	Cu	Cr	Cd	Ni
осень- зима	р. Евьяха	3,36	3,54	56	26,1	0,025	<0,50	<0,50	0,495	1,54
	пр. Промет	9,39	0,65	168	131	0,0138	<0,50	<0,50	0,916	<0,50
	пр. Норник	7,01	8,66	74	283	0,029	<0,50	<0,50	0,300	<0,50
	пр. Неулева	7,65	7,81	326	2786	0,074	<b>3,10</b>	1,14	0,617	<b>4,26</b>
	пр. Малый Салым	8,73	7,50	236	3748	0,064	2,18	1,06	0,541	<b>5,25</b>
	р. Обь	4,60	12,8	82,7	12387	0,033	<0,50	0,82	0,180	1,34
	р. Городищенская	5,59	3,65	74,9	80,9	0,028	<0,50	<0,50	0,603	2,37
весна- лето	р. Межевая	1,70	10,8	50,6	16,5	0,028	<0,50	<0,50	0,120	1,67
	р. Евьяха	5,07	2,57	47,7	866	0,241	<0,50	<0,50	0,387	0,694
	пр. Промет	10,8	0,750	167	100	0,065	<0,50	<0,50	<b>1,09</b>	<0,50
	пр. Норник	7,24	0,822	122	119	0,131	0,815	<0,50	<b>1,95</b>	2,09
	пр. Неулева	7,04	9,68	356	4865	0,042	2,99	1,37	0,566	<b>4,47</b>
	пр. Малый Салым	10,2	7,73	131	2845	0,0094	2,07	0,794	0,456	3,17
	р. Обь	<0,50	7,3	99,2	9754	0,132	<0,50	<0,50	0,121	1,11
р. Городищенская	9,38	11,8	325	1120	0,037	<0,50	<0,50	<b>1,78</b>	1,72	
р. Межевая	5,50	2,38	62,4	278	0,068	0,924	<0,50	0,377	2,28	

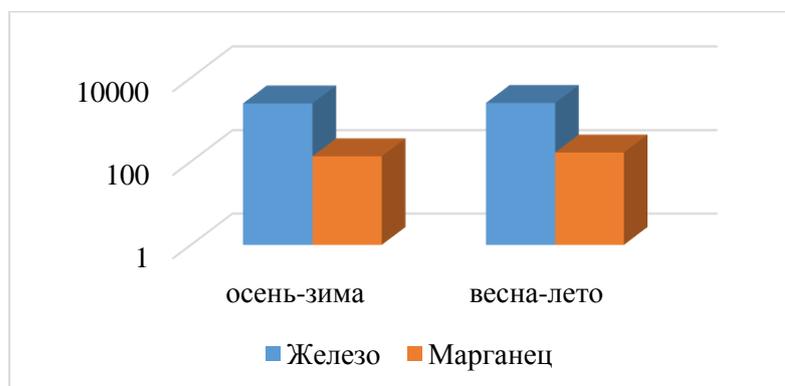
При анализе сезонного накопления анализируемых элементов в донных отложениях исследуемых водотоков был выявлен ряд особенностей. Так, содержание подвижных форм цинка и меди в донных отложениях варьировало в следующем диапазоне: от 0,65 мг/кг до 12,8 мг/кг, при среднем значении 6,2 мг/кг (12,4 % от кларка [2]) и от 0,50 мг/кг до 3,1 мг/кг при среднегодовой концентрации 1,06 мг/кг (1,1 % от кларковой величины [2]), соответственно. Наибольшее сезонное содержание цинка в донных отложениях отмечалось в осенне-зимний период – 5,57 мг/кг (весенне-летний – 5,1 мг/кг), тогда как полученные для меди величины максимальных накоплений, наоборот, приходились на весенне-летний сезон – 1,1 мг/кг (осенне-зимний – 1,04 мг/кг). Можно отметить, что сезонное накопление соединений никеля в донных отложениях отличалось небольшими вариациями – от 0,50 мг/кг до 5,25 мг/кг, при среднегодовом значении 2,1 мг/кг, составляя 2,7 % от кларка. Самое высокое накопление никеля было выявлено в осенне-зимний период (2,2 мг/кг), оно незначительно больше в сравнении с весенне-осенним периодом (2,0 мг/кг). Содержание подвижных форм хрома изменялось

в интервале значений от 0,5 мг/кг до 1,37 мг/кг. Среднесезонные накопления металла не различались и составляли 0,6 мг/кг как в осенне-зимний период, так и в весенне-летний (рис. 2).



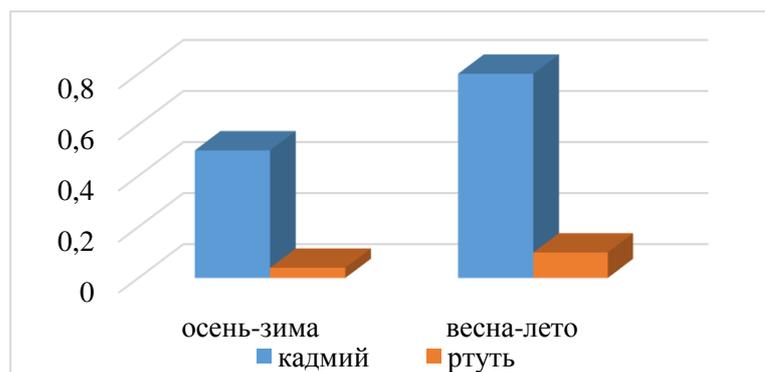
**Рис. 2. Содержание подвижных форм цинка, меди, никеля и хрома в донных отложениях поверхностных водотоков Приобского месторождения, мг/кг**

Уровни сезонного накопления валовых форм железа и марганца изменялись в широких диапазонах: от 16,5 мг/кг до 12 387 мг/кг, при среднегодовом значении 2 462 мг/кг и от 47,7 мг/кг до 356 мг/кг при среднем значении 148,7 мг/кг, составляя 16,5% от кларка, соответственно. Наибольшее содержание (среднее) марганца и железа отмечалось в весенне-летний период (163,8 мг/кг и 2493,3 мг/кг, соответственно), а наименьшее – в осенне-зимний (133,5 мг/кг и 2432,3 мг/кг) (рис. 3).



**Рис. 3. Содержание валовых форм железа и марганца в донных отложениях поверхностных водотоков Приобского месторождения, мг/кг**

Годовое накопление кадмия (по сезонам года) в донных отложениях характеризовалось очень узким размахом величин – от 0,12 мг/кг до 1,95 мг/кг, при среднегодовом значении 0,65 мг/кг, составляя 13 % от кларка. Содержание ртути варьировало от 0,0094 мг/кг до 0,241 мг/кг, при среднегодовом значении 0,067 мг/кг, составляя 80,7 % от кларка. Также можно отметить и сезонное накопление кадмия и ртути в исследуемых пробах: наибольшее содержание (среднее) приходилось на период весна-лето – 0,8 мг/кг и 0,1 мг/кг, соответственно (осень-зима – 0,5 мг/кг и 0,04 мг/кг) (рис. 4).



**Рис. 4. Содержание валовых форм кадмия и ртути в донных отложениях поверхностных водотоков Приобского месторождения, мг/кг**

Безусловно, в некоторых единичных пробах донных отложений были отмечены превышения предельно-допустимых концентраций ПДК, а именно меди (пр. Неулева), кадмия (пр. Норник, пр. Промет, р. Городищенская) и никеля (пр. Неудева и пр. Малый Салым) [3]. Возможно, это связано с повышенной антропогенной нагрузкой территории месторождения, однако для выявления причинно-следственных связей в адекватности оценки загрязненности донных отложений поверхностных водотоков данной территории, необходимо проведение дальнейших повторных исследований.

Таким образом, в результате исследований была выявлена тенденция к увеличению сезонного накопления валовых форм тяжелых металлов в донных отложениях в весенне-летний период. Вероятно, это может быть связано как с увеличением антропогенного влияния в теплый период времени, так и с фактом, что данная территория является активно действующим и развивающимся месторождением, а также медленной миграцией и быстрым накоплением тяжелых металлов в различных компонентах природной экосистемы. Подвижные формы тяжелых металлов не демонстрировали определенной тенденции, накопление тяжелых металлов фиксировалось как в осенне-зимний, так и в летний периоды, отчасти это может быть обусловлено недостаточностью наблюдений и исследований за данными водными объектами. Все вышперечисленные водные объекты могут являться источниками дополнительного поступления тяжелых металлов в донные отложения в результате техногенного воздействия, связанного с деятельностью Приобского месторождения. Берега водотоков регулярно укрепляются путем отсыпки, что может привносить дополнительные количества тяжелых металлов в донные отложения, а также может быть обусловлено смывом поллютантов с менее глубоких участков в более глубокие в направлении русла.

*Kurilenko M. I., Homenushko T. I., Rusak S. N.*

#### **ACCUMULATION OF HEAVY METALS IN THE BOTTOM DEPOSITS OF SURFACE WATERS OF THE KHANTY-MANSIYSK AREA IN SEASONAL DYNAMICS**

*Surgut*

The article considers one of the most important and topical environmental problems of our time, which is the contamination of water by heavy metal compounds. A study was conducted to determine the content of heavy metals in bottom sediments of water bodies of the Khanty-Mansiysk region in the dynamics of seasonal accumulation. In the course of the study, a seasonal component in the accumulation of gross forms of heavy metals in the spring-summer period was established, which may be due to technogenic influence.

*Key words: heavy metals, pollution, bottom sediments, seasonal accumulation.*

### Список использованной литературы

1. Березин Г. И., Кутявина Т. И., Завалина С. А. Изучение динамики содержания тяжелых металлов в донных отложениях Омутинского водохранилища // Проблемы науки. 2016. № 11 (12). С. 5–7.
2. Виноградов А. П. Закономерности распределения химических элементов в земной коре // Геохимия. 1956. № 1. С. 6–52.
3. ГН 2.1.7.2041-06. Гигиенические нормативы. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве.
4. ГОСТ 17.1.5.01-80. Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к отбору проб донных отложений водных объектов для анализа на загрязненность. Московченко Д. В., Валеева Э. И. Исследование состава донных отложений бас-сейна Нижней Оби (В пределах Ханты-Мансийского автономного округа) Тюмень : Изд-во ИПОС СО РАН, 2001. 227 с.
5. Московченко Д. В. Нефтегазодобыча и окружающая среда: эколого-геохимический анализ Тюменской области. Новосибирск : Изд-во Наука, 1998. 109 с.
6. Нефтяники. Нефть и газ. Приобское ЮЛТ нефтяное месторождение URL: [http://www.nftn.ru/oilfields/russian\\_oilfields/khanty\\_mansijskij\\_ao/priobskoe\\_jult/6-1-0-20](http://www.nftn.ru/oilfields/russian_oilfields/khanty_mansijskij_ao/priobskoe_jult/6-1-0-20)
7. Русак С. Н., Филимонова М. В. Аккумуляция техногенных загрязнений в донных отложениях водных объектов г. Сургута // Академический журнал Западной Сибири. Тюмень: ООО «М-центр». 2010. № 3. С. 50–50.
8. Сереброва Н. И., Алехин В. Г., Русак С. Н. Влияние г. Сургута на содержание тяжелых металлов в воде р. Оби // Экологические проблемы бассейнов крупных рек – 4 : сб. тез. Междунар. конф. науч-практ. конф. г. Тольятти – 15–19 сентября. 2008. С. 131–131.
9. Greenologia.ru сохраним нашу планету зеленой /Приобское НМ – сложное, но перспективное нефтяное месторождение в ХМАО. URL: <http://greenologia.ru/eko-problemy/proizvodstvo-neft/priobskoe-mestorozhdenie.html>.
10. Helios-Rybacka E. 1991. Akumulacja i mobilizacja metali ciężkich w osadach srodowiska wodnego: osady datowane jako wskaznik chronologiczny, Mat. Konf. : Geologiczne aspekty ochrony srodowiska, Kraków, p. 18–23.
11. Kucuksezgin F., Uluturhan E., Batki H., 2008 Distribution of heavy metals in water, particulate matter and sediments of Gediz River (Eastern Ae-gean) Environ Monit Assess 141, p. 213–225.
12. Nocon W. 2006. Zawartosc metali ciężkich w osadach dennych rzeki Kłodnicy, Ochrona Srodowiska, 3, p. 39–44

УДК 502.175:502.51(571.122):549.2:504.5:622.32

*Куриленко М. И., Хоменушко Т. И., Русак С. Н.*

### НАКОПЛЕНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОДАХ ХАНТЫ-МАНСИЙСКОГО РАЙОНА

*г. Сургут*

Авторы статьи анализируют накопление тяжелых металлов в поверхностных водах Ханты-Мансийского района на основе данных практических исследований в разные сезоны года. Актуальность исследования связана со многими экологическими проблемами региона, в том числе с поиском источников техногенного загрязнения поверхностных водоемов и последующего мониторинга за качеством этих вод. Приведенные выводы и обобщения представ-

ляют собой теоретическую часть, которая может быть использована в дальнейшем для практических мониторинговых исследований.

*Ключевые слова:* тяжелые металлы, экология, экологический баланс, поверхностные воды, реки.

Влияние роста антропогенной нагрузки на окружающую среду, как показывает практика, приводит к обострению целого ряда экологических проблем [1; 5–6]. Возможные пути их решения непосредственно связаны с реализацией так называемой концепции «устойчивого развития», то есть стабильного сосуществования природы и человечества. Важными составляющими указанной концепции являются: сохранение и воспроизводство существующей ресурсной базы, улучшение структуры природопользования, которое базируется на объективной характеристике ситуации в экологическом поле, и, наконец, состоянии здоровья человека. Все это требует разработки дополнительных алгоритмов, позволяющих оценивать устойчивость экосистем, изучения закономерностей их динамики, оценку комбинированного воздействия техногенных нагрузок в целом на экосистему, совершенствования методик оценки воздействия на окружающую среду, включая экологический прогноз.

Из всех существующих природных сред наибольшему загрязнению антропогенного характера подвержены поверхностные воды, источниками загрязнения которых могут служить как промышленные предприятия, так и поступление сточных вод хозяйственно-бытового типа и поверхностного стока сельскохозяйственных и городских территорий, а также естественное загрязнение, которое вносится атмосферными осадками [1; 5–6].

Водная среда представляет собой индикатор экологического состояния не только площадей, связанных с водосбором, но и природно-экономических регионов в целом. Такое положение требует систематического обследования ее экологического состояния, использования современных методов обработки значительного объема данных ее состава с целью последующего принятия управленческих решений при анализе и прогнозировании будущего состояния рек, при оценке экологических ситуаций в местах выпуска сточных вод, при водохозяйственном планировании.

В пресных водоемах наиболее распространенными веществами-загрязнителями являются тяжелые металлы. Большинству из них свойственен ряд особенностей, которые являются опасными для здоровья человека и, в конечном счете, приводят к ухудшению качества окружающей среды. Важно отметить, что тяжелые металлы обладают повышенной токсичностью даже при микроконцентрации, они способны накапливаться и передаваться в трофических цепях [3]. Иными словами, для подобного вида загрязнителей свойственна слабая биodeградация. Загрязнение тяжелыми металлами вод является наиболее актуальной экологической проблемой. Водотоки и водоемы, которые располагаются вблизи мегаполисов и промышленных центров, испытывают на себе повышенную антропогенную нагрузку. Данная нагрузка, в частности, выражена в повышенном содержании тяжелых металлов на водосборной площади. Исходя из этого, наблюдается повышение концентраций тяжелых металлов в воде, гидробионтах и донных отложениях. Для постоянного мониторинга и управления качеством водных объектов важным является получение информации о локальных концентрациях тяжелых металлов в конкретных экосистемах различных регионов, которым свойственна своя геохимическая и промышленная специфика.

В Ханты-Мансийском районе располагается Приобское месторождение одноименного округа Тюменской области. Географическое положение указанного месторождения отнесено к центральной части Средне-Обской низменности Западно-Сибирской равнины.

Район находится на достаточно значительном удалении от г. Ханты-Мансийска (в 65-ти км к востоку) и западнее г. Нефтеюганска (на 100 км). В настоящее время рассматриваемый район отнесен к числу наиболее экономически развитых, что влечет за собой определенную экологическую нагрузку. Вблизи указанного района ведутся разработки достаточно круп-

ных месторождений: Салымского (в 20-ти км на восток от Приобского месторождения), Приразломного (в непосредственной близости) и Правдинского (в 57-ти км на юго-восток от района работ). Отметки рельефа в абсолютном значении составляют от 30 до 55 м.

Наиболее крупными городами, оказывающими влияние на экологическую обстановку, являются Нефтеюганск, Ханты-Мансийск, Сургут, из более мелких населенных пунктов – поселки Сытомино, Селиярово, Лемпино и др. Во многом это повышает уровень интереса к настоящему исследованию и переводит его в разряд актуальных.

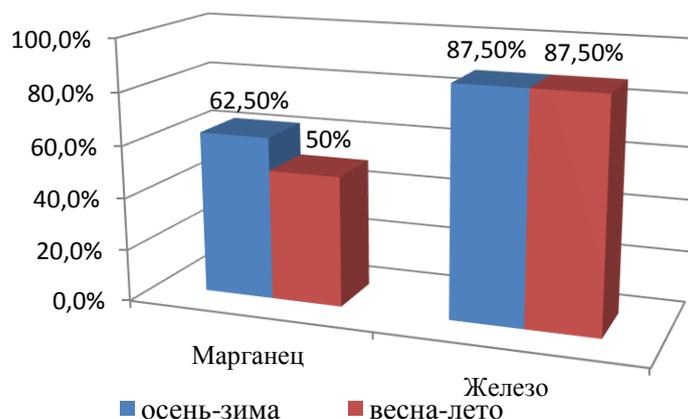
При исследовании содержания тяжелых металлов в поверхностных водах на территории Ханты-Мансийского района было установлено, что из выборки по пяти тяжелым металлам (ртуть, медь, хром (VI), марганец и железо) превышение уровня предельно-допустимых концентраций (ПДК) отмечалось для двух металлов – марганцу и железу, по остальным же элементам показатели соответствуют норме (табл. 1) [4].

Таблица 1

**Санитарно-гигиенические нормативы содержания химических веществ в водоемах рыбо-хозяйственного назначения (предельно-допустимые концентрации)**

Металл	Класс опасности	ПДК, мг/дм <sup>3</sup>
Ртуть	1	0,005
Медь	3	1,000
Хром (VI)	3	0,050

Для случаев марганца и железа следует отметить, что частота встречаемости превышения ПДК для этих металлов варьировала в зависимости от времени года или местоположения водного объекта (рис. 1).



**Рис. 1. Частота случаев (%) превышения уровня ПДК для марганца и железа в водных объектах Ханты-Мансийского района**

Для дальнейшего установления загрязненности вод был использован показатель кратности превышения ПДК, который определяется по формуле (1):

$$K_i = \frac{C_i}{C_{пдк}} \quad (1)$$

где  $K$  – кратность превышения ПДК по  $i$  – му компоненту;

$C_i$  – концентрация  $i$ -го ингредиента в воде водного объекта, мг/л;

$C_{пдк}$  – предельно допустимая концентрация  $i$ -го ингредиента, мг/ дм<sup>3</sup> [2].

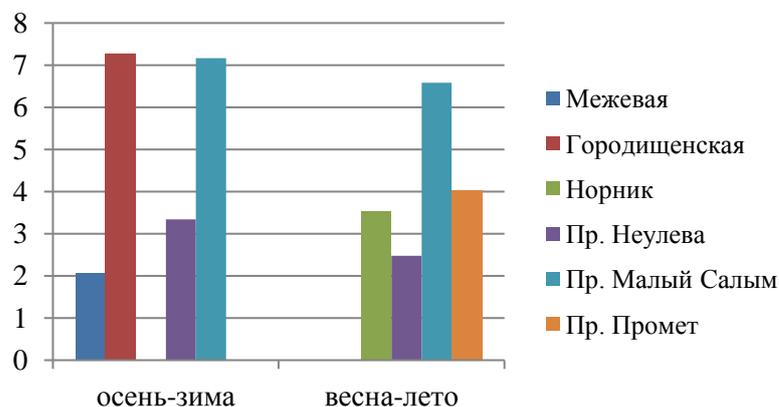
В ходе настоящего исследования было установлено, что на некоторых реках наблюдалось превышение содержания соединений марганца относительно нормируемых показателей (табл. 2).

Таблица 2

**Кратность превышения ПДК для марганца на водоемах Приобского месторождения**

Металл	Время года	Межевая	Евьяха	Городищенская	Норник	пр. Неулева	пр. Малый Салым	пр. Промет	р.Обь
Марганец	Осень-зима	2,06	–	7,28	–	3,34	7,17	–	–
	Весна-лето	–	–	–	3,53	2,48	6,58	4,04	–

На водоемах пр. Неулева, пр. Малый Салым превышение предельно допустимых значений наблюдается круглый год. На других реках – Межевая, Норник и т. д. – превышение обусловлено сезонностью.



**Рис. 2. Изменение кратности превышения ПДК для марганца на водных объектах Ханты-Мансийского района**

Немного иначе выглядят показатели для соединений другого тяжелого металла – железа (табл. 3).

Таблица 3

**Кратность превышения ПДК для железа на водоемах Приобского месторождения**

Металл	Время года	Межевая	Евьяха	Городищенская	Норник	Пр. Неулева	Пр. Малый Салым	Пр. Промет	Обь
Железо общее	Осень-зима	7,46	6,97	–	1,15	4,67	13,93	1,59	2,9
	Весна-лето	–	9,53	2,6	18,33	3,93	13,77	4,33	1,72

Как видно из данных таблицы 3, практически на всех реках рассматриваемой территории, вне зависимости от сезона, отмечалось устойчивое превышение ПДК для железа. При этом, случаи превышения ПДК на шести водных объектах наблюдались круглогодично, но, в зависимости от сезона, варьировали в более значительном диапазоне (рис. 3).

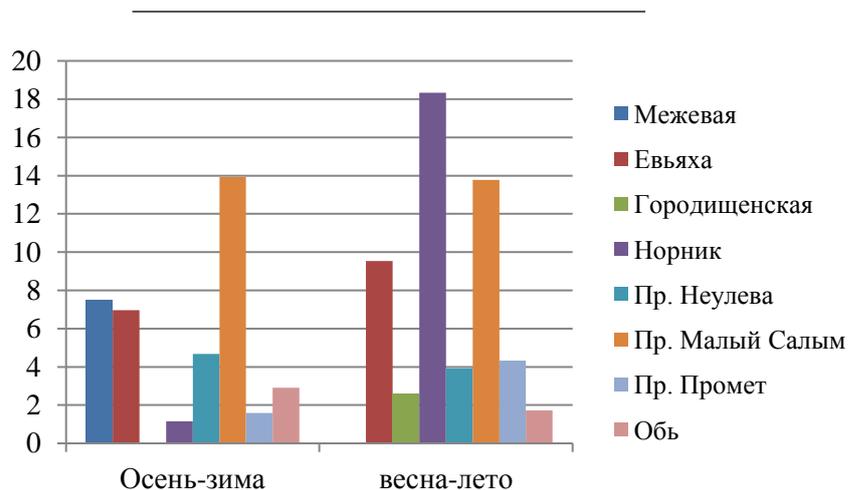


Рис. 3. Изменение кратности превышения ПДК железа на водных объектах

Таким образом, проведенный анализ показал, что в исследуемом районе отмечается условно благоприятный экологический баланс по содержанию тяжелых металлов в целом. Однако круглый год наблюдаются отклонения по содержанию марганца и железа, что свидетельствует о необходимости поиска источника загрязнения и дальнейшего мониторинга состояния поверхностных вод Ханты-Мансийского района.

*Kurilenko M. I., Homenushko T. I., Rusak S. N.*

#### ACCUMULATION OF HEAVY METALS IN SURFACE WATERS OF KHANTY-MANSIYSK AREA

*Surgut*

In this article, the author analyzes the accumulation of heavy metals in the surface waters of the Khanty-Mansiysk region on the basis of practical research executed in different seasons of the year. The relevance of the research is related to many environmental problems in the region, including the search for sources of technogenic contamination of surface water bodies and subsequent monitoring of the quality of these waters. The resulted conclusions and generalizations represent a theoretical part, which can be used further for practical monitoring researches.

*Key words: heavy metals, ecology, ecological balance, surface water, rivers.*

#### Список использованной литературы

1. Ахметгалиева Г. А. Тяжелые металлы в водной среде и их биологическое воздействие на живой организм // Эколог – профессия будущего : Материалы Молодежного науч. семинара ; под ред. Т. В. Галаниной, М. И. Баумгартэна. 2014. С. 11–15.
2. Головин В. В., Суркова С. С. Совершенствование методики измерения содержания тяжелых металлов в воде // Наука третьего тысячелетия : сб. ст. междунар. науч.-практ. конф. Научный центр «Аэтерна». 2014. С. 11–12.
3. Осипова Н. А., Язиков Е. Г., Янкевич Е. П. Тяжелые металлы в почвах и овощах как факторы риска для здоровья человека // Фундаментальные исследования. 2013. № 8–3. С. 681–686.
4. О введении в действие ГН 2.1.5.1315-03 (вместе с ГН 2.1.5.1315-03) : постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 30.04.2003 № 78 (ред. от 30.08.2016)

[Электронный ресурс] // Режим доступа : <http://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=LAW&n=204827&fld=134&dst=100020,0&rnd=0.5758993637739049#0> (дата обращения 31.03.2017).

5. Русак С. Н., Филимонова М. В. Аккумуляция техногенных загрязнений в донных отложениях водных объектов г. Сургута // Академический журнал Западной Сибири. г. Тюмень. Изд. ООО «М-центр». № 3. 2010. С. 50–50.

6. Сереброва Н. И., Алехин В. Г., Русак С. Н. Влияние г. Сургута на содержание тяжелых металлов в воде р. Оби // Экологические проблемы бассейнов крупных рек – 4 : сб. тез. междунар. конф. науч-практ. конф. г. Тольятти – 15–19 сентября. 2008. С. 131–131.

УДК 502.175:502.6(571.122):504.5

*Мурашко Ю. А., Ширькова А. А.*

## **ДИНАМИКА НАКОПЛЕНИЯ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В СНЕЖНОМ ПОКРОВЕ г. СУРГУТА И ЕГО ОКРЕСТНОСТЕЙ**

*г. Сургут*

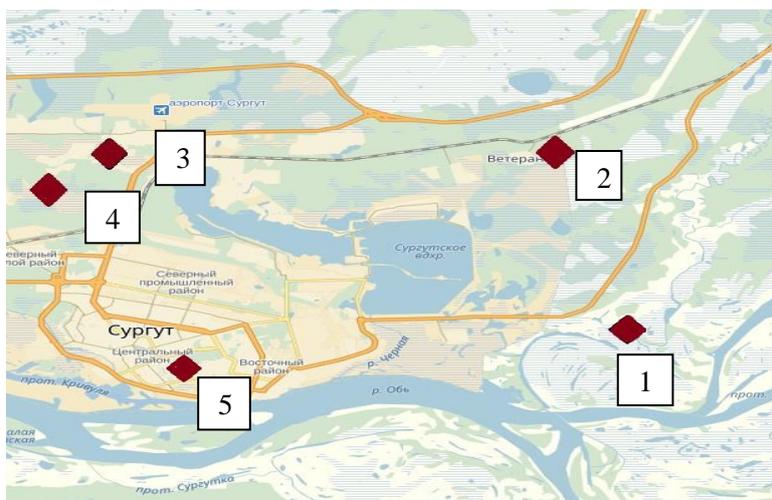
Авторы статьи представляют информацию об изменении в течение зимнего периода (с декабря 2016 г. по март 2017 г.) основных физико-химических показателей и химического состава снежных осадков в г. Сургуте и его окрестностях. Приведены результаты измерения концентрации тяжелых металлов Fe, Cu, Zn, Cd, Mn, Ni, Pb, Cr в талой снеговой воде. Установлено, что талая вода имеет слабокислую реакцию (рН) и характеризуется низкой минерализацией. Ионный состав представлен анионами:  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  и катионами щелочных металлов:  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  и примесью  $\text{NH}_4^+$ . Приоритетным загрязнителем атмосферы является цинк.

*Ключевые слова: снег, динамика накопления, химический состав, тяжелые металлы, экологический мониторинг.*

**Введение.** Снежный покров является средой, аккумулирующей загрязняющие вещества из атмосферы, и считается хорошим индикатором для выявления процессов загрязнения территории на протяжении зимнего периода. Снег, захватывая существенную часть продуктов техногенеза (соединения серы и азота, тяжелые металлы, нефтяные углеводороды и ряд других загрязняющих веществ), накапливает их в течение зимних месяцев. Исследование физико-химических характеристик снега, его химического состава, показателя кислотности (рН), концентрации тяжелых металлов и других токсичных веществ, представляет собой интерес для установления степени антропогенного воздействия на окружающую среду. Актуальность проведения такого рода исследований обусловлена тем, что снежный покров не только отражает состояние городской атмосферы, но и оказывает непосредственное влияние на качество поверхностных и грунтовых вод, почвы и растительности [1].

**Цель работы:** проследить изменение физико-химических показателей снега и динамику накопления загрязняющих веществ в нем в течение зимы.

**Объекты и методы исследования.** Объектом исследования служили пробы снега на пяти пробных площадках (ПП) в окрестностях г. Сургута и на его территории. Отбор проб осуществлялся в соответствии с ГОСТ 17.1.5.05-85 [2]. Места расположения площадок, на которых производили отбор проб, представлены на рисунке 1.



**Рис. 1. Места расположения пробных площадок:**

- ПП 1 Шоссе на Нижневартовск (7 км), берег р. Почекуйка, между руслом реки и лесом.
- ПП 2 Дачный кооператив «Ветеран-2», ул.7, уч. 352.
- ПП 3 Район дачного кооператива «Бережок». Берег р.Черная.
- ПП 4 Выезд из дачного кооператива «Виктория » на восточную дорогу (ЛЭП, опора № 26).
- ПП 5. г. Сургут, парк «Старый Сургут». Берег р. Сайма у моста от гл. корпуса СурГУ.

Анализ физико-химических показателей снега проводился по данным, полученным в ходе ежемесячного наблюдения, в период с декабря 2016 по март 2017 года. Отбор снега осуществлялся при помощи цилиндрического пробоотборника. Проба состояла из трех кернов. Диаметр керна: 0,1 м ( $S = 7,85 \times 10^{-3} \text{ м}^2$ ). Для получения усредненного образца снеговые пробы отбирались методом конверта. Для транспортировки пробы помещались в чистые полиэтиленовые пакеты. Предварительная подготовка и измерения характеристик снега проводились в Научной лаборатории биохимии и комплексного мониторинга окружающей среды НИИ экологии Севера СурГУ. Предварительная подготовка проб снега заключалась в растапливании снежной массы и фильтровании талой воды. Последующие измерения показателей талой воды проводились после установления стандартных условий. Для измерения количественных характеристик талой воды использовались методы: рН-метрии, потенциометрического титрования, кондуктометрии, фотоколориметрии, атомно-абсорбционной спектрометрии (ААС) и высокоэффективной жидкостной ионной хроматографии (ВЭЖХ).

Измерения осуществлялись с использованием аналитических приборов: анализатора жидкости «Анион-7000» с электрохимической ячейкой, составленной из стеклянного ионселективного электрода и хлорсеребряного электрода сравнения; кондуктометра «Эксперт-002» с электродным датчиком погружного типа; фотоэлектрического фотометра КФК-3 с использованием кварцевых кювет с толщиной оптического слоя 50 мм, значения оптической плотности регистрировались при длине волны 380 нм; атомно-абсорбционного спектрометра МГА-915МД, с помощью которого было измерено содержание тяжелых металлов: Fe, Cu, Zn, Cd, Mn, Ni, Pb, Cr [3]; жидкостного ионного хроматографа «Стайер» с комплектом разделительных ионообменных колонок. При определении анионного состава – Transgenomic IC Sep AN2, при определении катионов – Shodex IC YS-50.

**Результаты и их обсуждение.** Результаты измерений физико-химических характеристик талых снеговых вод представлены в таблице 1.

Таблица 1

**Основные физико-химические показатели снега**

Время отбора проб	Место отбора проб	Плотность снега, г/см <sup>3</sup>	рН	Электрическая проводимость, кСм/см
Декабрь 2016 г.	ПП 1	0,14	6,3	12,4
	ПП 2	0,18	5,9	7,3
	ПП 3	0,15	5,9	8,2
	ПП 4	0,17	5,9	14,8
	ПП 5	0,20	6,3	21,0
Январь 2017 г.	ПП 1	0,18	6,3	9,8
	ПП 2	0,18	6,4	8,0
	ПП 3	0,16	6,2	9,4
	ПП 4	0,18	6,1	15,4
	ПП 5	0,18	6,6	15,5
Февраль 2017 г.	ПП 1	0,20	6,3	9,6
	ПП 2	0,21	6,3	8,6
	ПП 3	0,19	6,1	9,9
	ПП 4	0,19	6,3	14,6
	ПП 5	0,18	6,8	16,8
Март 2017 г.	ПП 1	0,25	6,0	13,2
	ПП 2	0,25	5,6	8,5
	ПП 3	0,24	5,6	9,8
	ПП 4	0,21	5,8	10,1
	ПП 5	0,24	6,6	18,0

Плотность снега в течение зимы характерно изменяется и колеблется в пределах от 0,14 до 0,25 г/см<sup>3</sup>. При этом наименьшей плотностью закономерно обладает снег, выпавший в начале зимы при первых понижениях температуры. С течением времени под влиянием погодных условий и собственного веса плотность постепенно увеличивается и к концу зимы достигает верхнего предела (таблица 1).

Измерения оптических характеристик талой воды показали, что относительно стандартной хром-кобальтовой шкалы (ХКШ) цветности, собственная цветность проб заключается в диапазоне от 1° до 13°. Это говорит о том, что в снежной массе содержится минимальное количество веществ, способных растворяться в воде и окрашивать ее. Косвенным подтверждением такого заключения служат невысокие показатели электрической проводимости воды, полученной из снега. Значения этой характеристики также представлены в таблице 1. Для проб со всех ПП в течение всего периода наблюдений электропроводность не превышает величину 21 мкСм/см. Относительное повышение электрической проводимости отмечено на ПП 4 и 5, которые расположены в границах лесной просеки ЛЭП, недалеко от автомобильной дороги (ПП 4) и в центральной части города (ПП 5). Местоположение этих ПП предполагает возможность дополнительного загрязнения снега за счет техногенной и антропогенной нагрузки.

По результатам измерения уровня кислотности (рН) установлено, что водородный показатель талых снеговых вод находится в диапазоне слабокислых значений (от 5,9 до 6,9 ед. рН). Подкисление снежных осадков происходит вследствие выбросов продуктов сгорания от различных источников, в которых преобладают оксиды углерода, азота и серы. В связи с этим талые воды имеют и характерный ионный состав, в котором среди анионов наряду с гидрокарбонатами и хлоридами преобладают нитрат- и сульфат-ионы. Катионный состав представлен в основном ионами щелочных металлов: натрия, калия, магния и кальция, с небольшой примесью ионов аммония.

Особое место в оценке экологического состояния окружающей среды отводится изучению содержания тяжелых металлов. Данные о массовой концентрации тяжелых металлов в снежном покрове обследованных территорий представлены в таблице 2.

Таблица 2

**Массовая концентрация тяжелых металлов в талой снеговой воде, мкг/дм<sup>3</sup>**

Место отбора пробы	Тяжелые металлы							
	Fe	Cu	Zn	Cd	Mn	Ni	Pb	Cr
<i>Декабрь 2016 г.</i>								
ПП 1	4,34	0,57	31,04	0,07	0,99	0,22	0,12	0,21
ПП 2	2,74	0,55	25,62	0,04	1,09	0,07	0,03	0,15
ПП 3	3,88	0,31	43,69	0,05	9,71	0,03	0,09	0,19
ПП 4	8,14	0,90	36,65	0,05	8,06	0,05	0,06	0,18
ПП 5	17,04	1,55	11,45	0,05	5,53	0,12	0,07	0,13
<i>Январь 2017 г.</i>								
ПП 1	7,27	0,25	59,12	0,02	8,27	0,07	–	0,16
ПП 2	5,57	0,44	27,79	0,09	3,97	0,06	0,02	0,17
ПП 3	14,32	0,42	17,76	0,08	5,87	0,02	0,04	0,17
ПП 4	22,18	0,56	43,69	0,02	1,12	0,04	0,06	0,17
ПП 5	48,60	0,91	13,09	0,07	4,17	0,07	0,09	0,28
<i>Февраль 2017 г.</i>								
ПП 1	11,09	0,91	60,91	0,09	7,08	0,11	0,27	0,14
ПП 2	10,66	0,72	22,95	0,07	3,22	0,04	0,25	0,17
ПП 3	17,86	1,08	33,54	0,14	–	0,13	0,12	0,16
ПП 4	17,59	1,28	45,94	0,09	2,72	0,19	0,07	0,17
ПП 5	44,37	0,88	11,17	0,11	4,45	0,24	0,19	0,21
<i>Март 2017 г.</i>								
ПП 1	8,71	0,76	40,88	0,10	8,32	0,46	0,53	0,34
ПП 2	8,94	0,69	37,86	–	2,88	0,49	0,40	0,36
ПП 3	14,26	0,75	36,02	0,19	4,43	0,39	0,95	0,44
ПП 4	9,65	0,46	73,06	0,06	4,31	0,19	0,16	0,79
ПП 5	43,35	0,81	18,13	0,08	–	0,31	0,29	0,63
ПДК, мкг/дм <sup>3</sup> [5]	100	1	10	5	10	10	6	70

*Примечание:* прочерк в таблице означает отсутствие данных.

Проведенные исследования показали, что в талой снеговой воде присутствуют в разных количествах все выбранные элементы. Содержание в снеге большинства тяжелых металлов (Cu, Cd, Mn, Ni, Pb, Cr) в течение зимнего периода остается постоянным или незначительно увеличивается. При этом их концентрация в пробах талой воды значительно ниже ПДК, установленного для воды водоемов рыбохозяйственного назначения [5].

Наибольшую степень опасности среди исследованных элементов имеют кадмий и свинец (2 класс опасности) [5]. Необходимо отметить, что концентрация кадмия в талой воде значительно ниже критериев ПДК и степень его присутствия не меняется в течение зимы. Поведение свинца в снеговых осадках имеет отличительные признаки, связанные как с местом выбора ПП, так и временем отбора проб. Количество данного элемента на ПП, расположенных вблизи крупных автомагистралей (ПП 1, 3, 4) оказалось несколько выше, чем на ПП, размещенных в отдалении от них. В течение зимнего периода содержание этого металла имеет тенденцию к увеличению.

Содержание железа в пробах снега также имеет слабо выраженную тенденцию к накоплению. В первые зимние месяцы концентрация этого элемента на всех ПП значительно ниже, чем в конце зимнего периода (см. таблицу 2). В то же время, необходимо отметить, что общая концентрация железа в талой снеговой воде также значительно ниже установленных нормативов ПДК [5].

При рассмотрении динамики содержания цинка в снежном покрове на обследованной территории можно отметить, что оно остается примерно постоянным на протяжении всего зимнего периода. Однако его средняя концентрация в талой воде изменяется в широком диапазоне от 11,17 до 73,06 мкг/дм<sup>3</sup> и всегда превышает норматив ПДК для водных объектов по этому элементу.

#### **Выводы:**

1. Осадки снега, выпадающие в зимний период на территории г.Сургута и в его окрестностях, характеризуются слабокислой реакцией талой воды и малой минерализацией.
2. Снежный покров на исследуемых участках в г. Сургуте и его окрестностях характеризуется повышенным содержанием цинка. На всех пробных площадках отмечено превышение норматива ПДК по этому элементу.
3. При изучении динамики содержания элементов в снежных осадках для железа и свинца отмечена тенденция к накоплению их в течение зимнего периода. Наличие такой тенденции может быть связано с активизацией грузовых перевозок в зимнее время года и с более интенсивным режимом работы промышленных предприятий энергетического комплекса.
4. Приоритетным загрязнителем из набора исследованных тяжелых металлов на всей исследованной территории является цинк, который считается индикатором техногенеза.

*Murashko Yu. A., Shirykova A. A.*

### **DYNAMICS OF ACCUMULATION OF POLLUTANTS IN SNOW COVER IN THE CITY OF SURGUT AND ITS SURROUNDINGS**

*Surgut*

The article presents information about the changes during the winter period (from December 2016 to March 2017) of the main physicochemical parameters and chemical composition of snowfall in Surgut and the surrounding area. The results of measuring the concentrations of heavy metals Fe, Cu, Zn, Cd, Mn, Ni, Pb, Cr in the melted snow water are presented. It has been found that melt water has a slightly acid reaction (pH) and is characterized by low mineralization. Ion composition is represented by anions: HCO<sup>3-</sup>, Cl<sup>-</sup>, NO<sup>3-</sup>, SO<sup>4</sup><sup>2-</sup> and cations of alkali metals Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Ca<sup>2+</sup> and a mixture of NH<sup>4+</sup>. Priority pollutant of the atmosphere is zinc.

*Key words: the snow, the dynamics of accumulation, chemical composition, heavy metals, environmental monitoring.*

#### **Список использованной литературы**

1. Безуглая Э. Ю. Чем дышит промышленный город / Э. Ю. Безуглая, Г. Л. Расторгуева, И. В. Смирнов. Л., 1991. 255 с.
2. ГОСТ 17.1.5.05-85 Общие требования к отбору проб поверхностных и морских вод, льда и атмосферных осадков. Введ. 1986-07-01. М.: ФГУП «Стандартинформ», 2010. 12 с.
3. Количественный химический анализ вод. Методика измерений массовой концентрации алюминия, бария, бериллия, ванадия, железа, кадмия, кобальта, лития, марганца, меди, молибдена, мышьяка, никеля, свинца, селена, серебра, стронция, титана, хрома, цинка в про-

бах природной и сточных вод атомно-абсорбционным методом с электротермической атомизацией с использованием атомно-абсорбционного спектрометра модификацией МГА-915, МГА-915 М, МГА-915 МД. ПНД Ф 14.1:2.253-09 (М 01-46-2013). М. : НПФ Люмэкс, 2009. 36 с.

4. Московченко Д. В., Бабушкин А. Г. Особенности формирования химического состава снеговых вод на территории Ханты-Мансийского автономного округа // Криосфера Земли. 2012. Т. XVI, № 1. С. 71–81.

5. Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения»: Приказ Федерального агентства по рыболовству от 18 января 2010 года № 20 // Рос. газ. 2010. 5 марта.

УДК 551.345(571.1):378.4(571.16)ТГУ

*Парначёв В. П.*

## **РОЛЬ УЧЕНЫХ ТОМСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА В ИЗУЧЕНИИ ВЕЧНОЙ МЕРЗЛОТЫ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ**

*г. Томск*

Автор статьи описывает роль ученых Томского государственного университета в изучении вечной мерзлоты (ММП) на территории Западной Сибири. А. А. Земцовым в Кеть-Тымском междуречье и в бассейне Кети установлено наличие реликтовых толщ ММП на глубинах от 117 до 286 м при мощности свыше 160 м. Мерзлыми являются верхнемеловые, породы сымской свиты, в единичных случаях – отложения палеогена. Наблюдается переслаивание песков с глинами и растительными остатками. В глинах встречаются линзочки льда, а в мерзлых песках – кристаллы льда. В вертикальном разрезе керна (от кровли к подошве) ММП начинаются частым переслаиванием таликов с мерзлыми породами, которые ниже сменяются сплошной мерзлой толщей. Ближе к подошве ММП становятся более монолитными, а их граница с нижележащими тальми породами является четкой. Севернее Кети ММП образуют обширный и единый по площади массив.

*Ключевые слова: вечная мерзлота, ММП, реликтовая мерзлота, деградация мерзлоты, Западная Сибирь.*

На наличие вечной мерзлоты (ММП) и ее реликтов на территории Западной Сибири указывали еще В. Г. Петров [15] и С. П. Качурин [14], но более детальное ее изучение началось во второй половине 20-го века [16; 1; 2]. В одной из последних работ [1] в составе континентальной криолитологической провинции были выделены ряд зон, подзон и областей и, в частности, северная зона с северной Мужинско-Туруханской и более южной Березовско-Нижневартовской подзонами. Для последней характерно островное и редкоостровное распространение ММП. При написании этой монографии частично использовались данные и томских ученых [11; 18].

Если ММП северной и центральной зон изучены относительно хорошо, то проблема реликтовой криолитозоны южных районов впервые была поднята в трудах ученого Томского государственного университета А. А. Земцова [5; 6; 7].

А. А. Земцовым [5; 8] подтверждено повсеместное и весьма неглубокое (0,3–2,0 м) залегание вечномерзлых пород в пределах низменности севернее Полярного круга, в то время

как южнее, примерно до  $64^{\circ}$  с. ш. мерзлые грунты встречаются реже и глубже. В Таз-Енисейском междуречье в области вечной мерзлоты мерзлые породы залегают неглубоко от дневной поверхности. Мощность деятельного слоя, в зависимости от состава пород, колеблется в широких пределах: в бассейне р. Таз в августе и начале сентября 1954–55 гг. в 100 пунктах мерзлые породы находились на глубине от 0,3 до 2 м. В пос. Тазовском мощность вечномерзлых пород достигает 215 м, в пос. Тольке на р. Таз – 120 м. В двух последних пунктах буровыми скважинами вечномерзлые породы полностью не пройдены, а кровля их вскрыта соответственно на глубинах 108 и 140 м от дневной поверхности [10].

Буровыми скважинами летом и осенью 1953 года были вскрыты ММП в устье р. Таз на глубинах 1–2 м при мощности толщи ММП 215 м, в пос. Красноселькупе на глубине 108 м при мощности 182 м, в пос. Ермаково на р. Тром-Юган на глубине 185,5 м при мощности более 39,5 м, в пос. Вар-Еган на р. Аган на глубине 228 м при мощности более 85 м и у юрт Еутских на р. Юган на глубине 142 м при мощности более 108 м [5; 8]. При этом у пос. Ермаково, Вар-Еган и юрт Еутских нижняя граница вечной мерзлоты также не была достигнута. Автором отмечалось, что южная граница реликтовой мерзлоты в Западной Сибири пересекает бассейн р. Бол. Юган южнее юрт Еутских, широтный участок течения Оби несколько севернее  $60^{\circ}$  с. ш., южнее устья р. Вах и далее на северо-восток по его долине в верховья р. Елогуй. По мнению А. А. Земцова [5], реликтовая мерзлота, сохранившаяся в центральной части Западной Сибири, образовалась в тазовскую (постмаксимальную) ледниковую эпоху, со времени которой и сохранилась до сих пор. По представлениям А. А. Земцова [8], южная граница ММП может быть доведена примерно до  $60^{\circ} 30'$  с. ш., то есть на несколько сотен километров южнее границы, предполагаемой ранее М. И. Сумгиным [17] и А. И. Поповым [16]. При этом А. А. Земцов считал возможным выделить три широтных зоны. Первая зона, по мнению автора, располагается севернее Полярного круга, где имеется сплошной массив ММП мощностью более 300–350 м. Формирование его охватывало длительный промежуток времени и продолжается в характеризующий интервал времени, так как климат Заполярья способствует промерзанию пород на значительную глубину. Вторая зона находится примерно между Полярным кругом и  $62^{\circ}$  с. ш., где развиты два слоя многолетнемерзлых пород: нижний, залегающий на глубине 60–100 м и связанный, по-видимому, с похолоданием в последнюю или предпоследнюю ледниковую эпоху, и верхний, образовавшийся в голоцене во время некоторого похолодания, последовавшего вслед за термическим максимумом. Протаивание мерзлых пород на значительную глубину связано с этим термическим максимумом. Южная граница ММП, показываемая на геологических и географических картах, соответствует границе верхнего слоя, достаточно хорошо изученного А. И. Поповым [16]. Третья зона начинается южнее  $62^{\circ}$  с. ш. и примерно до  $60^{\circ} 30'$  с. ш. ММП залегают здесь на глубине 100–200 м и более. Эта толща является реликтовой, ММП здесь деградировала, оставив следы в четвертичных отложениях и формах рельефа [8].

А. А. Земцовым [6] отмечалось, что в большинстве случаев в мерзлом состоянии находятся только породы третичного возраста, залегающие под толщей четвертичных осадков. Водоносные горизонты, приуроченные к песчаным отложениям, обнаружены над вечной мерзлотой в Варьеганской (глубина 126 и 144 м) и Ермаковской (глубина 135 и 185 м) скважинах. В пределах Западно-Сибирской низменности присутствуют два горизонта вечной мерзлоты, которые отделяются друг от друга мощной толщей талых пород. И далее «Верхний слой вечной мерзлоты ... образовался во время похолодания, наступившего в позднем голоцене после термического максимума. В настоящее время наблюдается некоторое потепление климата и деградация вечной мерзлоты, особенно по южной периферии, где она сохранилась, по-видимому, лишь в торфяниках. Нижний горизонт вечной мерзлоты является реликтовым и лежит на значительной глубине, занимая обширную территорию. Южная граница его распространения нами проводится примерно по  $60$  градусам  $30$  минут южной широты, т. е. на несколько сот километров южнее границы, установленной В. Н. Сукачевым и А. И. Поповым для верхнего горизонта [6, с. 57]. Автор считал, что образование нижнего горизонта вечной мерзлоты происходило в более суровых, чем современные, климатических условиях, которые имели место

именно во время похолоданий в ледниковый период, со времени которого он мог сохраниться вплоть до наших дней, испытав сложную историю развития: то продвигаясь к югу, то отступая к северу. «По-видимому, благоприятными были условия для образования нижнего горизонта вечной мерзлоты в тазовскую или зырянскую (более позднюю) ледниковые эпохи. Причем зырянский ледниковый покров был удален от центральной части низменности на многие тысячи километров, тогда как тазовский достигал водоразделов правых притоков Оби с р.р. Пуром и Тазом. Южнее этого ледникового покрова с большой вероятностью могла образовываться вечная мерзлота, захватившая площади бассейна широтного участка р. Оби, где она сохранилась и до настоящего времени на больших глубинах» [6, с. 61].

В 1971 году А. А. Земцовым и др. [3; 11; 9] было опубликовано сообщение об открытии реликтовых ММП в восточной части Западно-Сибирской равнины далеко за пределами южной границы их распространения, показанной на геокриологических картах. В 1964–65 и 1972–77 гг. в Кеть-Тымском междуречье и в правобережье р. Кети было пробурено несколько десятков скважин глубиной до 600 м, в которых были вскрыты ММП. Скважины бурились по профилю субмеридионального простирания длиной около 100 км по линии р. Орловка (правый приток р. Кети) – р. Чурбига (правый приток р. Орловки) между 58 и 60° с. ш. При этом в левобережье Кети лишь одна скважина вскрыла небольшой останец ММП мощностью 0,7 м [3; 18; 12]. Таким образом, был выявлен новый крупный массив сплошного распространения ММП площадью свыше 20 тыс. км<sup>2</sup> с южной границей по долине р. Кети. Вскрытая здесь на глубинах от 117 до 286 м от дневной поверхности мощность реликтовой многолетней мерзлоты на водоразделах превышает 160 м. Так же в левобережье Оби в бассейне ее притока Ларьегана в скважине выявлена вечная мерзлота на глубине 140 м. При этом установлена общая закономерность – увеличение мощности ММП с юга на север от 6 до 160 м и более. Многолетнемерзлыми оказались верхнемеловые, кампанские и маастрихтские породы. Последние слагают верхнюю и частично нижнюю подбиты сымской свиты. В маастрихтских осадках выделены три пачки – нижняя степановская, средняя карбинская и верхняя чворская, сложенная корой выветривания. Только единичная скважина (№ 30) вскрыла мерзлые отложения палеогена. Температура ММП колеблется от 0 до –2 °С, и они мало отличаются от талых пород. Наблюдается переслаивание песков с глинами и растительными остатками (лигнитизированная древесина, лигнит и др.). В глинах встречаются линзочки льда толщиной до 3 мм и длиной до 30 мм в количестве до 5–7 на 10 см керна. Лед бесцветный, хрупкий, пресный и не содержит какие-либо включения. Мерзлые глины камнеподобны, при таянии размягчаются и приобретают нормальную пластичность. Мерзлый песок плотный, но через несколько часов пребывания на поверхности рассыпается. В мерзлых песках наблюдаются кристаллы льда, которые цементируют пески в очень плотную породу. В вертикальном разрезе керна (от кровли к подошве) ММП начинаются частым переслаиванием таликов с мерзлыми породами. Через 10–20 м проходки таликов становится меньше и, наконец, идет сплошная толща ММП. В двух скважинах (№ 4 на р. Орловке и № 10) встречены два многолетнемерзлых слоя, разделенных таликами толщиной в 23–59 м, которые не сплошные, а содержат многочисленные линзы мерзлых пород. Ближе к подошве многолетнемерзлая толща становится более монолитной, а ее граница с нижележащими талыми породами устанавливается достаточно четко. Севернее Кети глубокозалегающие ММП образуют обширный и единый по площади массив. Южнее его ММП обнаружены в скважине 18 в левобережье Кети и в скважине 19 в верховьях р. Улу-Юл, правого притока р. Чулым в интервале глубин 173–175 и 193–195,5 м [4]. По данным А. Ф. Шамахова и А. А. Земцова [18], многолетняя мерзлота в бассейне Кети образовалась в плейстоцене, является реликтовой и деградирует, что подтверждается глубоким залеганием их кровли от дневной поверхности, сравнительно высокой температурой мерзлых пород, нарушением их сплошности многочисленными таликами, таянием и сверху и снизу, формированием на дневной поверхности термокарстовых котловин и западин, различных криогенных образований, которые Р. С. Ильиным [13] принимались за «безвалунные морены».

Нужно отметить, что эти наиболее полные данные о распространении и природе ММП были получены во второй половине прошлого века. К сожалению, позднее такого рода исследования не проводились. Но даже сравнительный анализ приведенных данных с отрывочными материалами о ММП, имеющимися в настоящее время, может позволить количественно определить степень «глобального потепления» на территории Западной Сибири.

*Parnachev V. P.*

## **THE ROLE OF SCIENTISTS OF TOMSK STATE UNIVERSITY IN THE STUDY OF THE PERMAFROST OF WESTERN SIBERIA**

*Tomsk*

The author considers the role of Tomsk State University scientists in the study of permafrost (MMP) in the territory of Western Siberia. A. A. Zemtsov established the presence of relic MMP at depths from 117 to 286 m at the power of more than 160 m in the Ket-Tymsky interfluvium and in the Keti basin. The Upper Cretaceous, the rocks of the Simevskaya Formation, in isolated cases are the Paleogene deposits. There is interbedding of sands with clays and plant remains. Lenses are found in clays, and ice crystals – in frozen sands. In the vertical section of the core (from the roof to the sole), MMPs begin with a frequent interlayering of taliks with frozen rocks, which are replaced below by a continuous frozen sequence. Closer to the soles MMPs become more monolithic, and their boundary with the underlying thawed rocks is clear. To North from Keti, the MMPs form an extensive and uniform array of areas.

*Keywords: permafrost, MMP, relic permafrost, permafrost degradation, Western Siberia.*

### **Список использованной литературы**

1. Геокриологическое районирование Западно-Сибирской плиты. М. : Наука, 1987. 221 с.
2. Геокриология СССР. Западная Сибирь. М. : Недра, 1989. 453 с.
3. Горюхин Е. Я., Кривенцов А. В., Земцов А. А. Многолетнемерзлые породы в Кеть-Тымском междуречье // Палеогеографические аспекты изменения природных условий Сибири и Дальнего Востока : Материалы к симпозиуму IV совещания географов Сибири и Дальнего Востока. Вып. 3. Новосибирск : СО Наука, 1969. С. 102–104.
4. Евсеева Н. С., Головеров А. Г., Попкова Н. И. Современные процессы рельефообразования в бассейне среднего и нижнего течения р. Чулым // Вопросы географии Сибири. 1984. Вып. 16. Томск : ТГУ, 1984. С. 48–57.
5. Земцов А. А. Новые данные о вечной мерзлоте в Западной Сибири // Труды ТГУ. 1957. Т. 147. Сер. геогр. С. 71–73.
6. Земцов А. А. О границах распространения и времени образования вечной мерзлоты в Западной Сибири // Вестник ЗСГУ и НТГУ. 1958. Вып. 1. С. 53–621.
7. Земцов А. А. Реликтовая мерзлота в Западно-Сибирской низменности // Ледниковый период в Европейской части СССР и Сибири. М. : МГУ, 1959. С. 331–334.
8. Земцов А. А. Глубокозалегающие многолетнемерзлые породы в Западной Сибири // Известия АН СССР. Сер. геогр. 1960. № 4. С. 89–93
9. Земцов А. А. Вечная мерзлота в пределах Томской области // Вопросы географии Сибири. Вып. 22. Томск: ТГУ, 1997. С. 5–9.
10. Земцов А. А. Природа Таз-Енисейского междуречья // Вопросы географии Сибири. Вып. 23. Томск : ТГУ, 1999. С. 10–29.

11. Земцов А. А., Горюхин Е. Я., Карлсон В. Н. Многолетнемерзлые породы в восточной части Западно-Сибирской равнины // Известия ВГО. Т. 103. Вып. 1. 1971. С. 80–82
12. Земцов А. А., Шамахов А. Ф. Особенности реликтовой криолитозоны Западно-Сибирской равнины // География и природные ресурсы 1992. № 3. С. 103–107.
13. Ильин Р. С. Границы оледенения в области среднего течения р. Оби. (Отчет о работе за 1930 г.) // Материалы по геологии Западно-Сибирского края. 1934. Вып. 14. Томск : ЗСГГГТ, 1934. 61 с.
14. Качурин С. П. Реликты вечной мерзлоты на юге Западно-Сибирской низменности // Мерзлотоведение. 1947. Т. 2. № 1. С. 23–30.
15. Петров В. Г. Новый вариант южной границы вечной мерзлоты в Западной Сибири // Труды Комиссии по изучению вечной мерзлоты АН СССР. 1937. Т. 5.
16. Попов А. И. Вечная мерзлота в Западной Сибири. М. : АН СССР, 1953. 230 с
17. Сумгин М. И. Вечная мерзлота почвы в пределах СССР. М.-Л. : АН СССР, 1937. 379 с.
18. Шамахов А. Ф., Земцов А. А. Многолетняя реликтовая мерзлота в Западной Сибири // Известия ВГО, 1979. Т. 111. Вып. 2. С. 150–155.

УДК 332.1(470+570.1-17)

*Рудский В. В.*

## **СЕВЕР РОССИИ: РАЗВИТИЕ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ В КОНТЕКСТЕ РАЦИОНАЛЬНОГО ЭКОНОМИЧЕСКОГО ПОВЕДЕНИЯ**

*г. Москва*

Автор статьи приводит результаты многолетних исследований в различных регионах России. Проведение эффективной экономической политики регионов в области рационального природопользования возможно на основе активизации деятельности собственного населения; привлечения экономически активного населения извне, целенаправленного использования финансовых рычагов развития; активного использования преимуществ географического положения и уникальных природных ресурсов.

*Ключевые слова:* рациональное природопользование, экономическое поведение, природно-ресурсный потенциал, устойчивое развитие.

Поиск и разработка уникальной концепции регионального развития и стратегии перехода в состояние активного экономического роста – актуальная задача современной региональной политики для любого субъекта федерации России [1–9]. Удержание стратегической функции самоопределения и осуществления самостоятельной эффективной экономической политики возможно на основе: 1) ясных мотивов активизации собственного населения; 2) привлечения экономически активных субъектов извне; 3) минимизации локальных рисков для потенциальных инвесторов; 4) уверенного роста налогооблагаемой базы; 5) кредитоспособности собственных финансовых институтов; 6) эффективной администрации; 7) целенаправленного использования финансовых рычагов развития; 8) активного использования преимуществ (географического положения, уникальных ресурсов, исторических традиций и опыта населения и др.); 9) создания новых, ранее не существовавших преимуществ. В этом заключается основное содержание политики развития территориального образования.

Любое муниципальное образование, имеющее собственный бюджет, должно иметь собственную экономическую политику, которая основана на объективных критериях, хорошо

мотивирована, выражена в правовых и политических категориях, а также должна быть одобряемой населением. Лица, принимающие решения (ЛПР) властного уровня, должны, как минимум, разделять положения концепции развития, политически отвечая за ее реализацию. Экономически активная часть населения, на которую фактически ложится осуществление всех практических действий, должна не только быть посвящена в цели и задачи программы развития, но четко видеть перспективы развития. Задача включения населения в планы территориального развития является сложной для выполнения, но, будучи решенной, дает цели и мотивы для успешной деятельности населения, снимает его страхи и неуверенность [3; 7]. Все это чрезвычайно актуально для осваиваемых регионов Севера России.

Исходя из цели нашего исследования – сформировать региональную концепцию рационального экономического поведения в целях устойчивого социально-экономического развития территории – очень важным аспектом был выбор объекта исследования.

Предварительно была принята рабочая гипотеза о том, что и пространственное положение, и качество природно-ресурсного потенциала, и история практически любого региона дают основания для оптимизма: возможен не только экономический рост, но и вполне самостоятельная политика развития

В целом, проблемную область развития региона можно разбить на три группы (категории) задач [7–9].

1. Задачи (проблемы) федерального уровня, которые не могут быть решены на муниципальном и региональном уровнях. Прежде всего, это проблема институциональных дефицитов и государственной политики. Их влияние на свою судьбу рассматриваемый регион разделяет со всеми муниципальными образованиями страны и ничем особенным в этом плане не выделяется. В качестве примера можно указать на серьезные пробелы и противоречия в ресурсном законодательстве страны (Водное, Земельное, Лесное право) и регулировании гражданских отношений (в частности, Гражданский кодекс). Максимум, что здесь может сделать любой административный район, это в рамках существующего законодательства попытаться компенсировать недостатки государственной политики на своем уровне.

2. Задачи преимущественно федеральной и региональной власти, в которых район может влиять на принятие решений. У всех муниципальных образований есть проблемы, которые связаны с формированием бюджетных отношений, уточнением круга полномочий администраций, утверждением места и роли района в регионе и т. д.

3. Задачи муниципального уровня, которые обычно обсуждаются как прерогатива муниципального уровня управления, в котором нашли место почти все «узкие места» и «больные точки» территории. Эта группа задач на сегодняшний день представляется относительно структурированной. Обобщенно выделим в ней три главных аспекта: поиск ресурсов и путей развития; обозначение задач и направлений (собственно концепция развития) с мерами их поддержки; выработка и реализация своей экономической политики, включающей инициацию, поддержку, устранение препятствий для реализации и анализ выполнения ключевых решений.

*Содержание исследований.* Происходит деградация экономического и социального пространства многих регионов Севера наряду с наличием полюсов роста, обусловленных разработкой и добычей нефти, газа и других минеральных ресурсов. Необходимо подчеркнуть, что разрушению подверглись предприятия и отношения, сложившиеся в рамках плановой экономики и бывшие жизнеспособными только в условиях распределительной системы

В ходе наших предыдущих исследований [1; 5; 7–9] было проведено анкетирование различных групп населения, среди которых можно выделить учеников старших классов и учителей средних школ района, а также студентов вузов и техникумов. Во всех случаях анкеты включали вопросы относительно занятости, уровня желаемых доходов, проблем и перспектив развития региона. Между тремя группами респондентов существуют отличия в оценке перспектив развития района. В целом, наибольший (весьма сдержанный) оптимизм демонстрируют старшеклассники, меньший – учителя. К числу основных проблем, которые сдерживают развитие района и определяют невысокий уровень жизни, отнесены безработица (особенно

среди молодежи), низкие зарплаты, отток населения. Довольно высоки миграционные настроения у всех групп опрошенных. Но почти половина старшеклассников готова вернуться в район (после получения специального образования) при условии работы по специальности и достойной зарплаты. Все группы участников опроса уверены в том, что руководству района нужны инициативы населения, что район нуждается в молодых и квалифицированных специалистах. Это позволяет выделить особый компонент потенциала развития территории, которому необходимо уделять постоянное внимание – человеческий капитал, в том числе, образование.

Рассмотрев в предыдущих публикациях по теме [1–9] некоторые аспекты формирования концепции развития модельных районов, мы обозначили ключевые, на наш взгляд, элементы региональной политики, которую можно будет именовать рациональным экономическим поведением.

Используя мировой опыт управления депрессивными и прогрессивными территориями, приведем несколько ключевых принципов [7–9].

1. Выделение главного, характерного для региона, что составляет его отличительную особенность и настойчивое осуществление попыток использовать это качество, постоянный поиск внутренних резервов, часто не замечаемых старожилами.

2. Поиск «слабых мест», поиск потерь, которые постоянно несет район и всемерная борьба с ними. Это очень сложная работа, которая не может быть проведена только с опорой на «свои» силы.

3. Выделение неконструктивных конфликтных ситуаций в развитии, их локализация и решение. Конструктивные конфликты, например, конкурентные отношения, объективно полезны.

4. Последовательная защита собственности и поддержание напряженной конкуренции между производителями, в торговле и на рынке труда.

5. Прямая, широко рекламируемая поддержка производителей, активно меняющих свою экономическую стратегию в наиболее эффективном направлении.

6. Поддержание «сильных» и стимулирование «слабых». Принцип предполагает создание условий для эффективно работающих предприятий, поощрение преобразований на подающих надежды предприятиях и сокращение безнадежных; в критический период – создание рабочих мест с помощью общественных работ и организация новых (муниципальных) предприятий, с последующей их приватизацией.

7. Всемерное поощрение предприимчивости местного населения. Создание льготных условий (через региональные и местные банки, через бюджет и др.) в наиболее ответственных направлениях, особенно на начальных этапах становления бизнеса.

8. Последовательное поощрение сложного и наукоемкого производства, поощрение продажи внутри района собственной продукции и экспорта высокоценной, образующей в границах района максимум рабочих мест, продукции (например, высококачественные продукты питания). Чем выше качество, сложность и цена труда, приложенного внутри района, тем конкурентоспособней его продукция, тем выше уровень благосостояния его населения, тем большая доля произведенной прибавочной стоимости остается району.

9. Изначальная ориентация на самое высокое качество продукции, что потребует неординарных усилий от администрации.

10. Совершенствование и расширение человеческого капитала. Этот принцип, прежде всего, предполагает поддержку образования и вовлечение талантливой молодежи в научную и конструкторскую деятельность; импорт и широкое распространение современных знаний, в частности, в нефтегазовой отрасли; выращивание и, главное, удержание в районе квалифицированной рабочей силы; привлечение специалистов извне для преподавания и проведения профессиональных разовых обучающих и консультационных программ.

11. Поддержание и защита эколого-экономического потенциала (контроль качества среды, вовлечение в использование новых ресурсов, защита и восстановление нарушенных

природных систем, включая благоустройство территории, диверсификация производства и совершенствование продуктов природопользования.

12. Льготы производителям и инвесторам, направляющим свободные средства в новые виды производств и на исследование перспективных направлений развития (поощрение региональной научно-практической деятельности, связанной с высшей школой, техническими нововведениями, вложения в информационные технологии). Здесь можно упомянуть, что усилиями предпринимателей в крупных населенных пунктах монтируются цифровые телефонные станции и обеспечивается доступ в Интернет. Это открывает интересные возможности для виртуального образования и дает администрации инструмент для распространения полезной информации.

13. Привлечение к сотрудничеству с администрацией опытных бизнесменов, добившихся успехов в своем деле. В частности, было бы полезно регулярное проведение ими уроков в школе, встречи с выпускниками, организация ученических практик на предприятиях и др.

14. Последовательная политика приватизации административных функций, неэффективных предприятий, параллельно с созданием рабочих мест в новых отраслях и целевая подготовка кадров для будущих производств [7–9].

Таким образом, концепция рационального экономического поведения в модельном районе, основываясь на выше обозначенных принципах, направлена на совершенствование занятости всего трудоспособного населения района, а в конечном смысле - на решение кризисных ситуаций в природопользовании и постепенный переход на рельсы устойчивого развития.

*Rudsky V. V.*

## THE NORTH OF RUSSIA: DEVELOPMENT OF ENVIRONMENTAL MANAGEMENT IN THE CONTEXT OF RATIONAL ECONOMIC BEHAVIOR

*Moscow*

The article presents the results of years of research in various regions of Russia. Implementation of the effective economic policy of regions in the field of environmental management is possible on the basis of the revitalization of its own population; the involvement of the economically active population from outside, targeted use of financial levers of development; active use of advantages of geographical position and unique natural resources.

*Keywords: environmental management, economic behavior, natural-resource potential, sustainable development.*

### Список использованной литературы

1. Лысенкова З. В., Рудский В. В. Качество жизни населения как элемент рационального экономического поведения // Здоровье и здоровый образ жизни: состояние и перспективы (медико-психологические, социальные, правовые и экологические аспекты) : Сб. материалов VI Всерос. науч.-практ. конф. (Смоленск, 5–6 декабря 2008 г.). Смоленск, 2008. С. 270–275.
2. Рудский В. В. К стратегии перехода Алтая на модель устойчивого развития // Региональное природопользование и экологический мониторинг : тез. докл. респ. конф. Барнаул, 1996. С. 335–337.
3. Рудский В. В. Проблемы организации природопользования в горных странах (географический аспект) // Современные проблемы географии и природопользования. Вып. 1. Барнаул, 1999. С. 51–65.
4. Рудский В. В. Место Сибири в глобальной экосистеме на рубеже тысячелетий // География и экология в школе XXI века. Гео-Эко. 2004, № 8. С. 11–24.

5. Рудский В. В. Природопользование и региональное развитие (теоретический аспект) // Актуальные проблемы современной географии: сборник научных статей. Вып. 4. Смоленск : Универсум, 2005. С. 334–340.

6. Рудский В. В., Лысенкова З. В. Зарубежный опыт изучения изменения землепользования в контексте устойчивого развития // Экологические и экономические стратегии устойчивого землепользования в степях Евразии в условиях глобального изменения климата : Материалы Междунар. науч.-практ. конф. Изд-во АлтГУ, Барнаул. 2014. С. 27–30.

7. Скалон А. В., Лысенкова З. В., Рудский В. В. Проблемы муниципального управления в контексте концепции рационального экономического поведения // Местное управление и самоуправление: прошлое и настоящее. Проблемы и перспективы развития. Смоленск : Изд-во «Свиток», 2010. С. 56–66.

8. Скалон А. В., Лысенкова З. В., Рудский В. В., Катровский А. П. Формирование концепции развития Демидовского района и г. Демидова Смоленской области (общие подходы и направления) // Региональные исследования. 2007. № 5 (15). С. 46–55.

9. Скалон А. В., Рудский В. В. Предпосылки формирования стратегии развития Демидовского района Смоленской области // Историко-культурное наследие и природное разнообразие: опыт деятельности охраняемых территорий : Материалы науч.-практ. конф., посвящ. 15-летию национального парка «Смоленское Поозерье». Смоленск : Изд-во «Смоленская городская типография», 2007. С. 358–362.

УДК 551.588.7:502/504

*Рудский В. В., Фрюауф М.*

## **ПРОБЛЕМЫ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА В МЕЖДУНАРОДНОМ ПРОЕКТЕ «КУЛУНДА»**

*г. Москва,  
г. Галле (Заале)*

Авторы публикации представляют результаты выполнения крупного международного проекта «Кулунда», поддержанного Федеральным Министерством науки и образования Германии в рамках программы «Устойчивый менеджмент сельских территорий». Выполнение проекта (2012–2016 гг.) позволило внести значительный вклад в адаптацию природопользования (землепользования) к климатическим изменениям на уровне регионов. Новые стратегии обработки и использования почв позволяют не только улучшить содержание органических веществ и воды в почве, но и климат. Огромный интерес представляет практический аспект проекта. Разработанная в ходе проекта система сельскохозяйственного менеджмента на модельных участках может быть перенесена (адаптирована) в других районах России и Евразии.

*Ключевые слова: климатические изменения, экология, природопользование, состояние ландшафтов, устойчивое развитие.*

Идея исследований по изучению взаимовлияния деятельности человека и изменений климата в Сибири возникла у авторов данной публикации в середине 1990-х годов во время проведения совместных исследований в Кулундинской степи Алтайского края [2]. Спустя почти двадцать лет, она была поддержана Федеральным Министерством науки и образования Германии в рамках программы «Устойчивый менеджмент сельских территорий», модуля 1 «Взаимовлияния между менеджментом сельского хозяйства и изменениями климата» и полу-

чила соответствующее финансирование [3; 4]. Для выполнения проекта был образован Исследовательский консорциум **КУЛУНДА, представленный** преподавателями из университета Мартина Лютера Галле-Виттенберг, а также университетов Йены, Ганновера и Геттингена. В него также входят ученые научно-исследовательских институтов и центров: Центр экологических исследований им. Гельмгольца (Фалькенберг) (UFZ), Институт Лейбница по аграрному развитию в Центральной и Восточной Европе (IAMO), Институт страноведения им. Лейбница (IfL), Институт климатических исследований (Потсдам) (PIK), а также Общество Зенкенберг по исследованию проблем охраны природы и другие организации Германии. Выполнение проекта позволит внести значительный вклад в адаптацию природопользования (землепользования) на уровне регионов к климатическим изменениям, что в итоге приведет к устойчивому развитию сельского хозяйства на региональном уровне. Огромный интерес представляет практический аспект проекта. Разработанная в ходе проекта система сельскохозяйственного менеджмента на модельных участках может быть перенесена (адаптирована) на другие районы России и Евразии. Проект состоит из 11 подпроектов. В каждом подпроекте участвует российская сторона, которая поддерживает и ведет исследования в рамках проекта, используя свои финансовые возможности (российские фонды). Цель и задачи проекта предполагают работу и исследования по следующим основным направлениям:

- Анализ взаимосвязей и влияния системы землепользования на свойства почв.
- Развитие и внедрение адаптационных систем землепользования и возможности восстановления естественных ландшафтов.
- Анализ влияния природных и антропогенных условий на принятие решений в сфере сельскохозяйственного природопользования.
- Создание консультационной и управленческой платформы для реализации и внедрения в практику эколого-экономических стратегий устойчивого развития сельского хозяйства.

Последние десятилетия резко возрос интерес к исследованию проблем изменения климата, которые тесно связаны со многими другими элементами ландшафта и влияют на хозяйственную деятельность. Своеобразным «зеркалом» ландшафта являются почвы, имеющие решающее влияние на глобальную климатическую и экологическую систему Земли. Растения поглощают углекислый газ из воздуха и образуют большое количество биомассы, т. е. органические соединения углерода. Таким образом, диоксид углерода фиксирован, в первую очередь, в растениях, а после их отмирания преобразуется в почвенный гумус. Однако интенсивное сельскохозяйственное использование ускоряет процесс минерализации для обратного превращения гумуса в углекислый газ. Он выбрасывается в атмосферу (рис. 1), внося свой вклад в парниковый эффект и изменение климата.

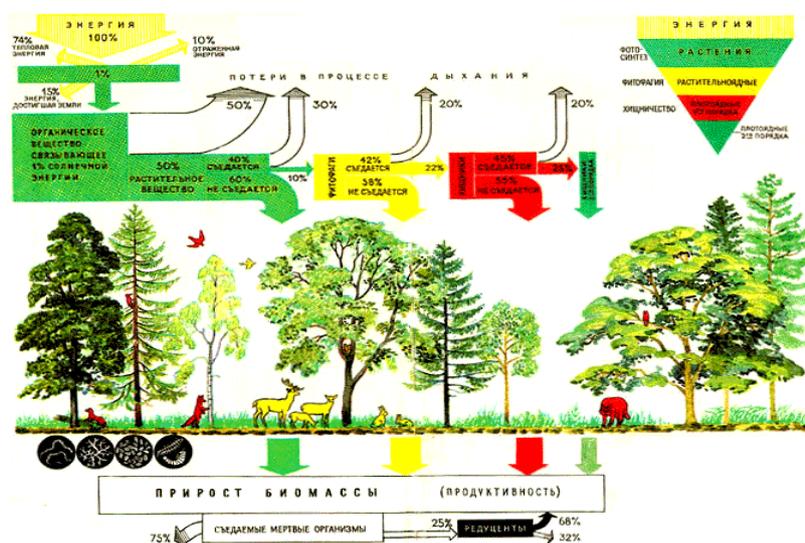


Рис. 1. Системные взаимосвязи почвы и климата [1]

Но не только климат, плодородие почв страдает от этого эффекта. Резкое уменьшение гумуса в черноземных почвах (как типичного представителя степных почв) в результате интенсивного сельскохозяйственного использования видно из сравнения рисунков 2 и 3. Толщина верхнего горизонта почвы на экстенсивно используемых пастбищах (рис. 2) составляет 45 см, а на интенсивно используемых пашнях (рис. 3) не превышает 25 см.



Рис. 2. Чернозем под малоиспользуемым пастбищем [5]



Рис. 3. Деградированный чернозем на интенсивно используемых пашнях [5]

С уменьшением содержания гумуса ухудшаются благоприятные свойства почв, что приводит к увеличению восприимчивости почв к эрозии. Негативную роль также играют такие процессы как весенние палы, недостаточное количество удобрений, слишком глубокая вспашка, увеличивающие минерализацию гумуса. Последствия этих процессов: уменьшение плодородия, снижение эффективности сельского хозяйства, а также образование большого количества углекислого газа – ведут к изменению климата (глобальному потеплению). Наибольшие потери органического вещества произошли в степях Кулунды в первые годы освоения целинных земель в 1950-х годах. Впоследствии содержание гумуса стабилизировалось, но на гораздо более низком уровне, при этом первоначально высокие урожаи уже не могли быть достигнуты.



Рис. 4. Целинная эпопея 50–60-х годов XX века

Обработка почвы плугом, таким образом, оказалась непригодной в климатических условиях степной зоны. По этой причине, были предприняты попытки уже в Советском Союзе установить экстенсивные методы растениеводства, которые принимают во внимание дефицит осадков и устойчивость почвы к эрозии. Но даже при этом никаких существенных способов увеличения урожаев не найдено. Что же можно сделать, чтобы увеличение органического вещества в почве не приводило к существенным изменениям климата? В рамках проекта Кулунда были рассмотрены возможности решения этой проблемы.

Как известно, осадки в степи – критический фактор роста сельскохозяйственных культур. Чтобы сохранить воду в виде дождя и снега, почва всегда должна быть скрыта напочвенным покровом, даже после окончания периода вегетации, например, стерней. Таким образом может быть ограничен расход ценных грунтовых вод. Обработка почвы делается для того, чтобы не нарушить структуру почвы и сохранить низкую минерализацию органического вещества почвы. Существуют различные технические параметры, которые рассматриваются подробно в контексте проекта Кулунда. Полевые исследования строились на сравнении испытаний трех систем земледелия: а) *Традиционной системе*; б) *Адаптированной системе*; в) *Современной системе*.

В традиционной системе, процесс обработки почвы осуществляется без внесения удобрений, использования гербицидов и культиваторов старого образца. Адаптированная система также работает с советской техникой, но адаптировалась к климатическим условиям, севообороту, внесению удобрений и гербицидов. В современной системе используется новый культиватор, адаптированное удобрение, даты посева, время и севооборот приспособлены к местным почвенно-климатическим условиям. В серии тестов следующие параметры были проверены в различных сочетаниях: варианты обработки почвы, севооборот, зимний снежный покров, даты посева, защита растений, глубина почвы, междурядья, удобрение, сорта, общие затраты энергии.

С помощью экспериментов были получены статистические величины, позволяющие обеспечить конкретные рекомендации для оптимального согласования различных параметров с региональными условиями и условиями обработки почвы (рис. 5).



**Рис. 5. Посев на испытательном поле**

Меры по оптимальной адаптации сельского хозяйства к климатическим условиям также способны внести важный вклад в защиту климата, и в то же время привлечь экономические выгоды от него. Долгосрочной целью этих мер является, как видно и из рис. 6, достижения отрицательного баланса углерода. Таким образом степи, как описано выше не только долговечны, но и эффективно поглощают парниковые газы. Это, во-первых, экономически выгодно, т. к. формирует более стабильную доходность. Во-вторых, это экологически благоприятно для защиты атмосферы и сохранения почв в качестве центрального фактора региональной экономики.

Таким образом, почвенно-климатические условия степей Кулунды представляют собой очень хорошую основу для интенсивного и успешного сельского хозяйства сегодня и в буду-

шем. В успешном осуществлении мер по адаптации условий к агротехническим приемам ведения хозяйства, безусловно, важную роль сыграет немецко-русский проект сотрудничества «Кулунда». Полученные результаты имеют также важное значение в познании причин изменения климата в северной части Евразии, в том числе и в Арктическом бассейне, а также в выработке консолидированной концепции решения многих экологических проблем.

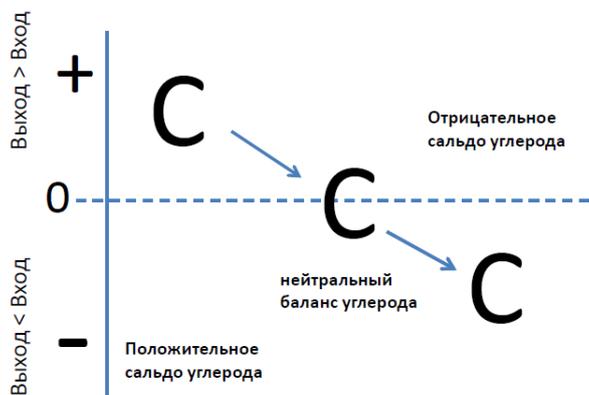


Рис. 6. Цель адаптированного сельского хозяйства – достижение отрицательного баланса углерода [4]

*Rudsky V. V., Fruehauf M.*

## THE PROBLEMS OF CLIMATE CHANGE IN THE INTERNATIONAL PROJECT "KULUNDA"

*Moscow, Halle (Saale)*

The authors present the results of the implementation of a major international project "Kulunda", supported by the Federal Ministry of Education and Science of Germany in the framework of the program "Sustainable Management of Rural Territories". The implementation of the project (2012–2016) has made a significant contribution to the adaptation of nature use (land use) to climate change at the regional level. New strategies for processing and using soils allow not only improving the content of organic matter and water in the soil, but also the climate. Of great interest is the practical aspect of the project. The system of agricultural management developed in the course of the project in model areas can be transferred (adapted) in other regions of Russia and Eurasia.

*Keywords: climate research, ecology, environmental management, the state of the landscape, sustainable development.*

### Список использованной литературы

1. Потеев М. И. Концепции современного естествознания. СПб : ГИГМО (ТУ). Электронный учебник, 1999. URL [http://de.ifmo.ru/bk\\_netra](http://de.ifmo.ru/bk_netra).
2. Фрюауф М., Рудский В. В.: Международные геоэкологические исследования в Кулундинской степи Алтайского края. География и геоэкология: проблемы науки, практики и образования. Север России: Стратегия и перспективы развития. Сургут ; М., 2016. С. 176–182
3. Фрюауф М. Опыт и последствия североамериканского синдрома “DUST BOWL – ПЫЛЬНЫХ БУРЬ” для проекта «КУЛУНДА» // Вестник Алтайской науки. 2014. № 4. С. 226–233.

4. Frühauf M. Erfahrungen und Konsequenzen aus dem nordamerikanischen "Dust Bowl Syndrom" für das KULUNDA Projekt. In: *Ekologitscheskie i Ekonomitscheskie Strategi Ustoi-tchiwogo Zemliepolzowania w Stiepatch Ewrazi w Uslowiach Globalnowo Izmienienia Klimata*. Altajski Gasudarstwiennyj Uniwersitet. Barnaul. S. 45–47

5. Illiger P., Frühauf M., Schmidt, Meinel, T., Belyaew V. I., Silanteva M. M., Kasarjyan M. Ökosystemkonversion und ihre Folgen bezüglich der Kohlenstoffsinken-Funktion in der westsibi-rischen Kulundasteppe. In: Karsten Grunewald, Olaf Bastian, Alexander Drozdow und Vasil Grabovsky (Hrsg.), *Erfassung und Bewertung von Ökosystemdienstleistungen (ÖSD) – Erfahrungen, insbesondere aus Deutschland und Russland*. BfN-Skripten 373, Bonn, S. 300

УДК 581.5:581.13.042:622.32

*Русак С. Н., Кравченко И. В., Варлам И. И.*

### **НАКОПЛЕНИЕ ФОТОСИНТЕТИЧЕСКИХ ПИГМЕНТОВ У РАСТЕНИЙ, ПРОИЗРАСТАЮЩИХ В ЗОНЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ФАКЕЛА СЖИГАНИЯ ПОПУТНОГО ГАЗА**

*г. Сургут*

Авторы статьи провели исследование пигментного состава растительных образцов хвои сосны обыкновенной (*Pinus Sylvestris L.*), отобранных на разных площадках: фоновой и в зоне ранее действующего факела сжигания попутного нефтяного газа. Отмечено, что техно-генное влияние источника проявлялось в снижении уровня накопления хлорофилла «а» в хвое, как основного фотосинтетического пигмента.

*Ключевые слова: фотосинтетические пигменты, факел сжигания попутного нефтя-ного газа.*

Хвойным древесным растениям принадлежит ведущая роль в формировании лесных биогеоценозов. Благодаря значительной листовой поверхности, они являются хорошим погло-тителем аэрозольных загрязнений атмосферного воздуха, их естественным аккумулятором, препятствуя распространению загрязнения в окружающей среде [1–2].

Традиционно считается, что пигментный состав растений является информативным ин-дикатором фотосинтетической активности [3; 6–7]. Одним из показателей реакции растений на изменение факторов внешней среды, степени их адаптации к новым экологическим усло-виям является содержание хлорофиллов и каротиноидов – главных фоторецепторов фотосин-тезирующей клетки. Выявление и подбор наиболее информативных параметров «нормаль-ного» роста и развития растения с целью их использования в качестве эталона сравнения при изучении негативного влияния антропогенных факторов, а также прогнозирования и создания благоприятных оптимальных условий произрастания весьма актуальны. Важной составной ча-стью растений являются флавоноиды, которые принимают активное участие в окислительно-восстановительных процессах, выполняют роль поглотителей ультрафиолетовых лучей, предохраняя хлорофилл и плазму.

Фотосинтетический аппарат, в первую очередь, подвергается воздействию стрессовых факторов, поэтому растения являются наиболее надежным и удобным индикатором при про-ведении оценки загрязненности атмосферного воздуха. Следует отметить, что большое коли-чество загрязняющих веществ, выбрасываемых в атмосферу на территории добычи нефти в Западной Сибири, приходится на долю факелов, при сжигании попутного газа в атмосферу выбрасываются в значительных объемах оксид углерода, диоксид азота и углеводороды. На

нефтяных месторождениях факелы являются источниками хронического многолетнего загрязнения атмосферы, влияние которых проявляется на больших расстояниях от источников выбросов загрязняющих веществ [5; 7].

Однако следует отметить, что в рамках новой экологической стратегии и ужесточения требований природоохранного законодательства РФ [4] по минимизации выбросов загрязняющих веществ при сжигании попутного нефтяного газа в целях обеспечения утилизации, выделяется не менее 95-ти % получаемого попутного нефтяного газа (ПНГ). В Ханты-Мансийском автономном округе большинство факелов на месторождениях за последние годы прекратили свое существование.

Объектом настоящего исследования послужила оценка особенностей в накоплении фотосинтетических пигментов на фоне аккумуляции полифенольных соединений (флавоноидов) в древесных растениях – хвое сосны обыкновенной (*Pinus Sylvestris L*), произрастающих в зоне ранее действующего факела сжигания попутного нефтяного газа (ПНГ) на территории нефтяного месторождения в Сургутском районе. Отбор растительных образцов производили летом, в период наибольшей активности фотосинтетических процессов. В качестве контроля была выбрана пробная площадка (фоновая), расположенная за чертой города Сургута с западной стороны – вблизи п. Барсово, не подверженная действию техногенного загрязнения; исследуемая площадка находилась на территории Родникового нефтяного месторождения Сургутского района, расположенного в северо-восточном направлении от г. Сургута, вблизи п. Ульт-Ягун. В экстрактах хвои определяли содержание основных и вспомогательных форм хлорофилла, каротиноидов и флавоноидов спектрофотометрическим методом.

В результате проведенных исследований были получены количественные характеристики содержания основных фотосинтетических пигментов, которые представлены в таблице 1.

Таблица 1

**Содержание фотосинтетических пигментов и флавоноидов (в пересчете на рутин) в хвое сосны**

Параметр, мг/кг	Диапазон	< x >	< dx >	Me	25%	75%	Фон
	100 м						
хлорофилл	0,74 ÷ 0,91	0,84	*0,84 ± 0,08	0,87	0,81	0,89	хлорофилл: *1,59 ± 0,24
каротиноиды	0,03 ÷ 0,07	0,05	*0,05 ± 0,02	0,04	0,04	0,05	
флавоноиды	1,44 ÷ 2,46	1,63	*1,63 ± 0,52	1,99	1,72	2,18	
300 м							
хлорофилл	0,20 ÷ 1,53	0,96	0,96 ± 0,11	1,02	0,94	1,24	каротиноиды: *0,16 ± 0,06
каротиноиды	0,03 ÷ 0,17	0,09	0,09 ± 0,03	0,08	0,07	0,10	
флавоноиды	0,29 ÷ 3,43	2,12	2,12 ± 0,69	2,16	2,04	2,67	
500 м							
хлорофилл	0,95 ÷ 1,52	1,13	*1,13 ± 0,12	1,06	1,01	1,23	флавоноиды: *4,15 ± 0,18
каротиноиды	0,03 ÷ 0,17	0,07	*0,07 ± 0,01	0,07	0,06	0,09	
флавоноиды	1,40 ÷ 4,53	3,20	*3,20 ± 0,50	3,03	2,81	3,38	

\*Примечание: различия по содержанию пигментов в хвое между фоном и участком в зоне воздействия факела ПНГ достоверны при уровне значимости  $p \leq 0,05$

Как видно из данной таблицы, с удалением от источника (факела сжигания ПНГ) в хвое сосны отмечена незначительная тенденция к накоплению хлорофилла и флавоноидов, однако не во всех случаях эти различия были достоверны. Следует отметить, по осредненным показателям содержания основных и вспомогательных фотосинтетических пигментов в хвое деревьев, расположенных в зоне 500 м от источника (факела), и фонового участка, эти отличия наблюдались (рис. 1).

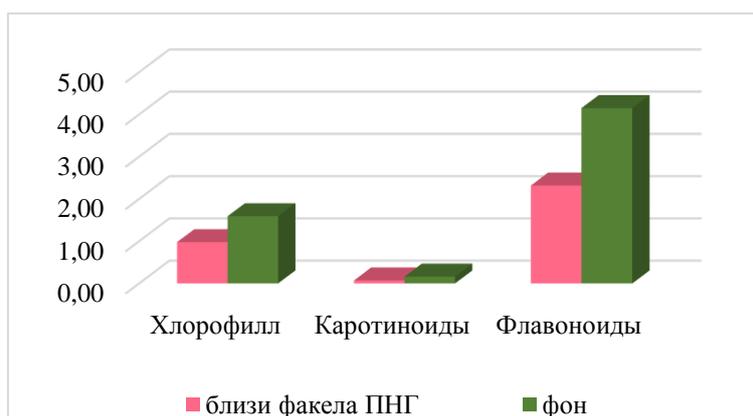


Рис. 1. Уровень содержания фотосинтетических пигментов (мг/г) в хвое сосны сибирской для двух площадок

Накопление полифенольных соединений (флавоноидов) у высших растений связывают с процессами вторичного метаболизма, они выполняют восстановительные функции и совместно с каротиноидами, аскорбиновой кислотой защищают клетки от окислительного стресса [6-7]. В нашем случае, отмечен бóльший уровень накопления флавоноидов в хвое деревьев фонового участка, чем для растительных образцов, отобранных вблизи ранее действующего факела сжигания ПНГ, т. е. аккумуляция флавоноидов в хвое характеризует механизм адаптации растений к газовому загрязнению атмосферы

Традиционно одним из показателей общей устойчивости у растений используют соотношение ( $K_{a/b}$ ) хлорофиллов «a» и «b» в хвое. Хлорофилл «a» входит в состав реакционных центров и периферических антенных комплексов фотосистемы I (ФС I) и фотосистемы II (ФС II), в то время как хлорофилл «b» является компонентом светособирающего комплекса ФС II – постоянство же данного отношения указывает на неизменность стехиометрического соотношения между комплексами реакционных центров ФС и светособирающего комплекса ФС II. У растений, подверженных техногенному воздействию, могут изменяться количественные характеристики состава пигментов, в частности, отношения содержания форм хлорофилла «a» к содержанию хлорофилла «b». Как указывают многие экспериментальные данные [1, 6–7], количественная пропорция между этими формами хлорофилла может варьировать в интервале значений от 3:1 до 2:1.

Результаты исследования показали, что в хвое, произрастающей в зоне ранее действующего факела сжигания ПНГ, количественные соотношения ( $K_{a/b}$ ) основных и вспомогательных форм хлорофилла (a:b) имели показатели от 1,30:1 до 1,50:1 (рис. 2).

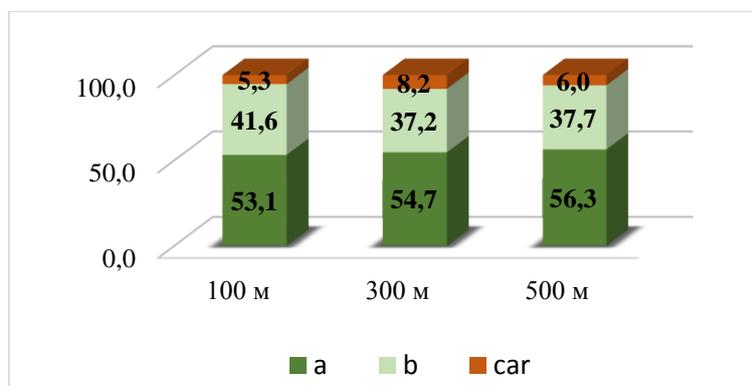


Рис. 2. Структура вклада (%) основных и вспомогательных форм (хлорофилл a, b, каротиноиды) в общий уровень накопления фотосинтетических пигментов для хвои сосны, в зависимости от удаленности ранее действующего факела ПНГ

Далее сравнение накопления фотосинтетических пигментов и их пропорции в хвое сосны двух рассматриваемых участков показало, что у деревьев в зоне техногенного источника (факел сжигания ПНГ) на 11,6 % снижена доля хлорофилла «а» в суммарном уровне содержания пигментов, в сравнении с фоном.

Кроме того, установлено, что у древостоев, расположенных в зоне влияния ранее действующего факела сжигания ПНГ, показатель количественного соотношения форм хлорофилла ( $K_{a/b}$ ) ниже, чем в хвое деревьев фонового участка и составляет 1,41:1 и 2,13:1, соответственно: изменение активности фотосинтеза является наиболее чувствительной физиологической реакцией растений на стрессовые факторы – техногенное воздействие и холодный климат (рис. 3).

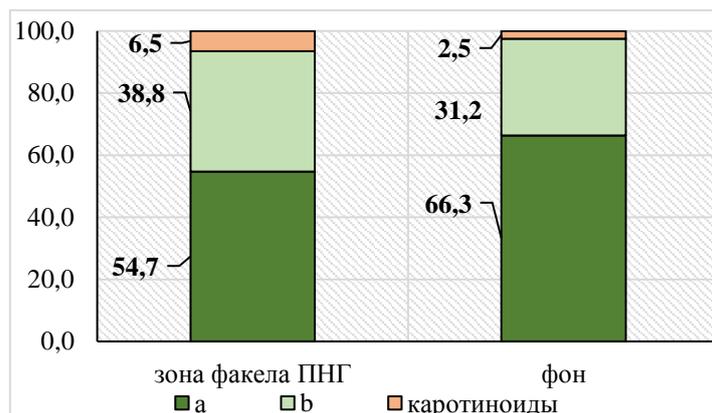


Рис. 3. Структура основных и вспомогательных форм (хлорофилл а, б, каротиноиды, %) в общем уровне накопления фотосинтетических пигментов в хвое, на примере двух участков

**Вывод:** Роль пигментного комплекса в обеспечении устойчивости и продуктивности растений в условиях урбанизированных северных территорий повышена, что необходимо учитывать для ранней диагностики экологического неблагополучия.

*Rusak S. N., Kravchenko I. V., Varlam I. I.*

#### ACCUMULATION OF PHOTOSYNTHETIC PIGMENTS IN PLANTS GROWING IN THE AREA AFFECTED BY FLAMBEAU LIGHTS

*Surgut*

The authors present the results of the research of pigment composition of pine needles (*Pinus Sylvestris* L) plant samples, which were selected at different sites: in the background and in the zone of previously working flambeau lights. It is noted that the technogenic influence of the source was manifested in a decrease of the level of accumulation of chlorophyll «a», as the main photosynthetic pigment, in the pine needles.

*Keywords: Photosynthetic pigments, flambeau lights.*

#### Список использованной литературы

1. Кизеев А. Н., Жиров В. К., Никанов А. Н. Влияние промышленных эмиссий предприятий Кольского полуострова на ассимиляционный аппарат сосны // Окружающая среда. Экология человека. 2009. № 1. С. 9–14.

2. Овечкина Е. С., Шаяхметова Р. И. Морфологические изменения сосны обыкновенной на территории Нижневартовского района // Вестник Нижневартовского государственного гуманитарного университета. 2013. № 3. С. 75–84.

3. Пахарькова Н. В., Калякина О. П., Шубин А. А., Григорьев Ю. С., Пахарьков С. В., Сорокина Г. А. Различия в акклиматизационных стратегиях сосны обыкновенной и ели сибирской на загрязнение воздушной среды // Хвойные бореальной зоны. 2010. Т. XXVII, № 3–4. С. 232–237.

4. Об охране атмосферного воздуха : федер закон № 96-ФЗ (в редакции изменений от 13.07.2015 г.). 1992.

5. Филимонова М. В., Кравченко И. В., Русак С. Н. Пигментный аппарат *Pinus sylvestris* L. Барсовой горы в зависимости от загрязнения среды обитания // Хвойные бореальные зоны. 2013. Т. XXXI, № 3–4. С. 82–88.

6. Чупахина Г. Н., Масленников П. В., Скрыпник Л. Н., Бессережнова М. И. Реакция пигментной и антиоксидантной систем растений на загрязнение окружающей среды г. Калининграда выбросами автотранспорта // Вестник Томского государственного университета. Биология. 2012. № 2 (18). С. 171–185.

7. Шепелева Л. Ф., Филимонова М. В. Биохимия растительного сырья в условиях техногенных ландшафтов Ханты-Мансийского автономного округа. Томск : ТМЛ-Пресс. 2008. 118 с.

УДК 502.51(571.51):504.61:622.3

*Хоменушко Т. И., Куриленко М. И., Русак С. Н.*

## **ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ФОНОВЫХ КОНЦЕНТРАЦИЙ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ТАЙМЫРСКОГО РАЙОНА КРАСНОЯРСКОГО КРАЯ**

г. Сургут

Авторы статьи дают оценку фоновой загрязненности водных объектов северо-восточной части Таймырского района Красноярского края. Проблема загрязнения окружающей среды на территории деятельности нефтегазодобывающих предприятий – актуальная проблема северных районов России. В результате обобщения и интерпретации результатов исследований были выявлены повышенные концентрации некоторых загрязняющих веществ в поверхностных природных водах. Полученные данные фоновых концентраций позволят в дальнейшем определить степень антропогенного влияния нефтегазодобывающего комплекса на данный регион.

*Ключевые слова:* фоновые концентрации загрязняющих веществ, поверхностные воды, нефтегазодобыча, нефтепродукты, Таймырский район Красноярского края.

Любая производственная деятельность оказывает негативное воздействие на окружающую среду, тем более, если речь идет о северном районе Красноярского края, богатейшем нефтяном районе России. Существующие тенденции развития нефтегазодобывающей отрасли обусловлены негативным влиянием на природные ресурсы.

Учитывая хрупкость северных экосистем, динамичность развития нефтегазодобывающего комплекса, проблема экологической обстановки на территории Таймырского района Красноярского края является приоритетной в наше время.

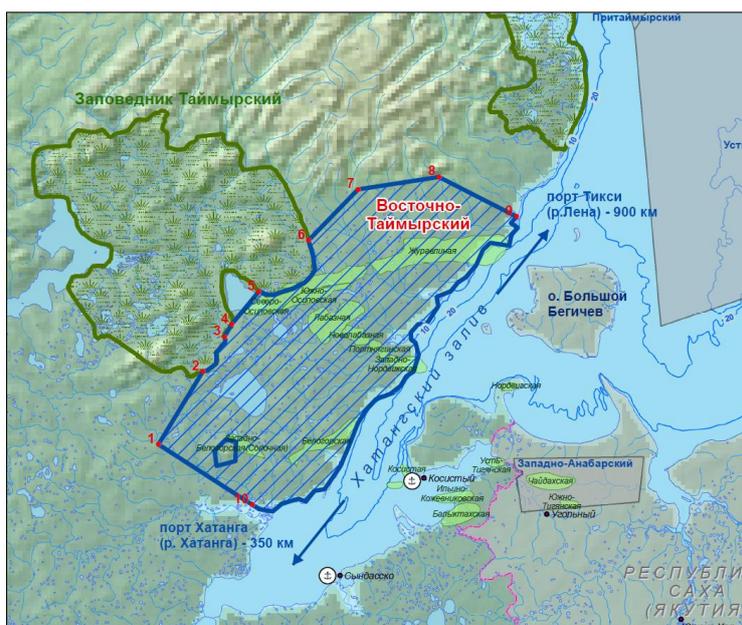
При разработке, обустройстве месторождений, активной добыче нефти и газа нарушается экологическое равновесное состояние экосистем. В связи с суровыми климатическими

особенностями рассматриваемой территории, длительным периодом восстановления экосистем, анализ и сохранение экологической ситуации является приоритетной задачей в условиях масштабной эксплуатации севера Красноярского края.

В настоящее время северная часть Таймырского района характеризуется естественным состоянием, так как находится на начальной стадии нефтегазодобычи, в то время как южная часть Таймырского района находится уже в активной эксплуатации. Очень важно на начальном этапе разработки нефтяных и газовых месторождений оценить фоновые концентрации загрязняющих веществ в природной среде для дальнейшей разработки природоохранных мероприятий.

Таймырский район с севера омывается водами Карского моря и моря Лаптевых, поэтому проблемы техногенной нагрузки на природные системы и их экологического состояния выходят за рамки региона и принимают глобальный характер. Кроме этого, на территории Таймырского района существует действующий государственный природный биосферный заповедник «Таймырский».

Участок проведения исследовательских работ расположен в пределах Восточно-Таймырского месторождения на территории Таймырского Долгано-Ненецкого муниципального района Красноярского края, в 400 км на северо-восток от с. Хатанга (рис. 1), в географическом отношении находится на северо-востоке Красноярского края. Территория участка полностью расположена за полярным кругом. Площадь лицензионного участка составляет 13 800 км<sup>2</sup>.



**Рис. 1. Обзорная карта участка исследования фоновых концентраций загрязняющих веществ**

Водная среда, как наиболее динамичный, но и наиболее ранимый компонент природной среды, является своеобразным индикатором ее текущего состояния. Вода очень быстро реагирует на любые изменения природной среды, как естественного, так и техногенного происхождения. Формирование состава поверхностных вод территории происходит под влиянием большого количества факторов. Ведущими среди них являются: взаимодействие атмосферных осадков с почвами и породами, вещественный состав отложений и рудных тел, восходящая разгрузка подземных вод глубоких горизонтов, биохимические процессы, мерзлота.

Для определения степени техногенного воздействия на водную среду, особенно на начальных этапах исследований, необходимо установление естественных факторов, определяющих ее свойства.

Хозяйственная деятельность в пределах Восточно-Таймырского лицензионного участка связана с проведением геологоразведочных работ. Источники техногенного загрязнения на данном этапе отсутствуют, что дает возможность достоверно определить исходное загрязнение месторождения до разработки его недропользователем.

Опробованию подвергались поверхностные водотоки и водоемы в границах лицензионного участка с учетом особенностей гидрографической сети территории, а также расположения источников техногенного воздействия. В транзитных водотоках, пересекающих лицензионный участок, отбор проводился на входе водотока в пределы лицензионного участка и его выходе за границы участка. Мелкие водотоки, чьи водосборы полностью находятся в границах лицензионного участка, опробовались в приустьевых частях.

Характеристика качества поверхностных вод на исследуемой территории дается в сравнении с предельно-допустимыми концентрациями веществ в поверхностных водах, используемых для рыбохозяйственных целей.

Оценка состояния поверхностных вод проводилась на 7-ми реках, в том числе ручье, и 6-ти озерах. В пробах поверхностных вод определялись такие компоненты, как водородный показатель (рН), ионы аммония, нитраты, биологическое потребление кислорода, фосфаты, сульфаты, хлориды, поверхностно-активные вещества, углеводороды (нефть и нефтепродукты), фенолы (в пересчете на фенол), железо общее, свинец, цинк, марганец, никель, хром VI-валентный, медь (таблица 1).

Содержание хлоридов и сульфатов не превышает предельно-допустимую концентрацию, водотоки по содержанию макрокомпонентов можно отнести к категории чистых.

Показателем, косвенно характеризующим содержание в воде органики, служит биологическое потребление кислорода (БПК). БПК показывает темп использования кислорода микроорганизмами на окисление азота, выделяющегося при разрушении органических веществ, и идентифицирует присутствие быстроокисляющегося органического вещества.

Величина БПК в пробах поверхностной воды лицензионного участка колеблется от 2,5 мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup> до 2,93 мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup> и не превышает предельно-допустимой концентрации. По величине биологического потребления кислорода поверхностные воды могут быть отнесены к умеренно загрязненным.

Большое количество веществ с высокой концентрацией, превышающей предельно допустимые значения, отмечается в озерах. Например, по содержанию иона аммония наблюдалось превышение допустимых значений в 1,6 раз, железа общего – в 1,3 раза, хрома VI-валентному – в 4,5 раза, меди – в 4 раза.

Ион аммония и железо относятся к биогенным элементам и поступают в поверхностные воды, в основном, в результате вымывания из почв и с промышленными стоками. Но, ввиду отсутствия на данный момент на участке каких-либо производственных работ, превышение иона аммония и железа общего, очевидно, связано с природными условиями территории.

Отмечено повышенное содержание меди в озерах, что обусловлено их генетической связью с подземными водами, а также наличием фотосинтезирующих организмов, аэробными условиями, разложением биомассы.

Хром считается биогенным химическим элементом, это значит, что он в обязательном порядке входит в состав и растительных, и животных тканей, что и объясняет повышенное содержание хрома VI-валентного в озерах.

**Заключение.** На территории северо-восточной части Таймырского района Красноярского края развиты ландшафты с областями преимущественного выноса и преобладанием механической денудации над химической [1]. Проведенные исследования позволяют сделать вывод, что гидрохимия поверхностных вод лицензионного участка на современном этапе определяется, главным образом, природными факторами. В связи с отсутствием промышленных объектов, прямое антропогенное воздействие на поверхностные воды отсутствует, и полученные результаты можно принять за фоновую загрязненность.

Таблица 1

Сводная таблица результатов анализов поверхностной воды Восточно-Таймырского лицензионного участка

№	Место отбора	pH		Нитрат-ион мг/дм <sup>3</sup>	БПК полн. мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	Ион аммония	Fe общ.	Mn	АПAB	Сульфат ион	Хлорид ион	Нефте- продук- ты	Фосфат ион	Pb	Фенолы	Zn	Cr VI	Ni	Cu
		ед.рН	мг/дм <sup>3</sup>																
		6,5-8,5	40	3	0,5	0,1	0,01	0,1	0,1	100	300	0,05	0,15	0,006	0,001	0,01	0,02	0,01	0,001
1	р. Климовка на выходе из л.у.	8.3	<0.1	2.58	0.34	0.1161	0.0024	<0.025	<0.025	<10	<10	0.02	<0.05	0.0063	0.0006	<0.005	<0.01	0.0078	0.0012
3	р. Апрелька на СВ л.у.	7.93	<0.1	2.5	0.41	<0.05	0.0021	<0.025	<0.025	<10	<10	0.03	<0.05	0.0018	0.0005	<0.005	<0.01	0.0098	<0.001
5	оз. Нордвик на СВ л.у.	7.43	<0.1	2.89	0.8	0.1031	0.004	<0.025	<0.025	<10	<10	0.04	0.12	0.0044	0.001	<0.005	0.091	0.0121	0.004
7	р. Журавлёва в 1,37 км от скв ИП	7.25	<0.1	2.71	0.48	<0.05	0.0067	<0.025	<0.025	13.06	<10	0.03	<0.05	0.0041	0.0006	<0.005	<0.01	0.0094	<0.001
9	р. М. Подкаменная на СВ л.у.	7.28	<0.1	2.93	0.54	<0.05	0.0069	<0.025	<0.025	11.25	<10	0.02	<0.05	<0.001	0.0007	<0.005	0.01	0.0088	<0.001
11	р. Подкаменная на СВ л.у.	7.32	<0.1	2.54	0.52	<0.05	0.0078	<0.025	<0.025	13.98	<10	0.02	<0.05	<0.001	0.0007	<0.005	<0.01	0.0094	<0.001
13	оз. Хугуда-Турку на севере л.у.	7.69	<0.1	2.8	0.38	<0.05	0.0046	<0.025	<0.025	<10	<10	0.02	<0.05	0.0013	0.0006	<0.005	<0.01	0.0091	<0.001
15	оз. б/н 0,4 км от скв. ИП	7.29	<0.1	2.67	0.9	0.1044	0.0036	<0.025	<0.025	<10	<10	0.03	0.13	0.004	0.0011	<0.005	0.079	0.0142	0.0037
17	р. Хозяйская на выходе из л.у.	7.53	<0.1	2.67	0.74	0.1123	0.0063	<0.025	<0.025	<10	<10	0.03	0.05	<0.001	0.0008	<0.005	<0.01	0.0104	0.0016
19	оз. Кунгасалах на севере л.у.	7.3	<0.1	2.63	0.62	<0.05	0.0066	<0.025	<0.025	<10	<10	0.03	0.06	<0.001	0.0007	<0.005	<0.01	0.0086	<0.001
21	ручей б/н на ЮВ выходе из л.у.	7.27	<0.1	2.89	0.67	0.0652	0.0051	<0.025	<0.025	<10	<10	0.02	<0.05	<0.001	0.0005	<0.005	<0.01	0.0079	<0.001
23	оз. Портыгино на западе л.у.	7.66	<0.1	2.71	0.8	0.0841	0.0046	<0.025	<0.025	<10	<10	0.03	0.05	0.0023	0.0005	<0.005	<0.01	0.0102	<0.001
25	оз. Сопочное в ЮЗ части л.у.	7.32	<0.1	2.8	0.85	0.1321	0.0065	<0.025	<0.025	<10	<10	0.03	<0.05	0.0014	0.0006	<0.005	0.012	0.0076	0.0017
Смпн		7.25	-	2.5	0.34	0.0652	0.0021	-	-	<10	-	0.02	<0.05	<0.001	0.0005	-	<0.01	0.0076	<0.001
Слах		8.3	-	2.93	0.9	0.1321	0.0078	-	-	13.98	-	0.04	0.13	0.0063	0.0011	-	0.091	0.0142	0.004
<b>Локальный фон (Сгр)</b>		<b>7.51</b>	<b>&lt;0.1</b>	<b>2.72</b>	<b>0.62</b>	<b>0.1025</b>	<b>0.0052</b>	<b>&lt;0.025</b>	<b>&lt;0.025</b>		<b>&lt;10</b>	<b>0.027</b>			<b>0.0007</b>	<b>&lt;0.005</b>		<b>0.0096</b>	

*Homenushko T. I., Kurilenko M. I., Rusak S. N.*

## **ECOLOGICAL EVALUATION OF BACKGROUND CONCENTRATIONS OF POLLUTANTS OF THE ENVIRONMENT OF THE NORTH-EASTERN PART OF THE TAIMYR DISTRICT OF THE KRASNOYARSK TERRITORY**

*Surgut*

The article provides assessment of the background pollution of the North-Eastern part of the Taimyr district of the Krasnoyarsk region. The problem of environmental pollution on the territory of the activities of oil companies is a vital issue in the Northern regions of Russia. Generalization and interpretation of the results of the studies have shown the increased concentrations of some pollutants in the surface waters. The obtained data of the background concentrations will determine the degree of anthropogenic impact of oil and gas producing complex in the region.

*Keywords: background contaminant concentrations, surface water, soil, air, vegetation petroleum products, the Taimyr district of the Krasnoyarsk region.*

### **Список использованной литературы**

1. Геохимия биосферы. Электронный учебно-методический комплекс. URL: [http://www.kgau.ru/distance/ebtf\\_01/mahlaev/geohimiya-bad/02\\_03.html](http://www.kgau.ru/distance/ebtf_01/mahlaev/geohimiya-bad/02_03.html) (дата обращения 25.03.2017).
2. Душкова Д. О., Евсеев А. В. Анализ техногенного воздействия на геосистемы Европейского Севера России // Арктика и север. 2011. № 4. URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/analiz-tehnogennogo-vozdeystviya-na-geosistemy-evropeyskogo-severa-rossii> (дата обращения 26.03.2017).
3. Пиковский Ю. И., Геннадиев А. Н., Чернянский, С. С, Сахаров Г. Н. Проблема диагностики и нормирования загрязнения почв нефтью и нефтепродуктами // Почвоведение. 2003. № 9. С. 1132–1140.
4. Пиковский Ю. И. Природные и техногенные потоки углеводородов в окружающей среде. М. : Изд-во МГУ, 1993. 208 с.
5. РД 52.04.186-89. Руководящий документ. Руководство по контролю загрязнения атмосферы. Москва: Москомгидромет СССР, 1991 г. 693 с.
6. Пиковский Ю. И., Пузанова Т. А. Экологические проблемы добычи нефти в России // ТЭК России. 2012. № 1. С. 34–37.
7. De Wit, T. Lichens as indicators for air quality // Environmental Monitoring and Assessment. 1983. Vol.3. P. 273–282.

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

**Андреанов Денис Юрьевич** – студент, Поволжский государственный технологический университет

**Аптюкова Гульнара Алимовна** – аспирант, Сургутский государственный университет

**Аронов Сергей Яковлевич** – магистр техники и технологии, аспирант, Сургутский государственный университет

**Бикметова Ирина Леонидовна** – студент, Сургутский государственный университет

**Булыгина Алиса Владимировна** – магистрант, Сибирский государственный университет водного транспорта

**Бушмелева Кия Иннокентьевна** – доктор технических наук, доцент, профессор кафедры автоматизированных систем обработки информации и управления, Сургутский государственный университет

**Быковских Дмитрий Александрович** – инженер-программист, Научный центр междисциплинарных исследований, Политехнический институт, Сургутский государственный университет

**Бычин Игорь Валерьевич** – ведущий специалист, научный центр междисциплинарных исследований, Сургутский государственный университет

**Варлам Ирина Ивановна** – аспирант Сургутского государственного университета

**Вирстюк Анастасия Юрьевна** – аспирант, Сургутский государственный университет, инженер-программист, ПУ «СургутАСУнефть»

**Власко Андрей Федорович** – инженер-программист, Сургутский государственный университет

**Гавриленко Анна Владимировна** – младший научный сотрудник, научный центр междисциплинарных исследований, Сургутский государственный университет

**Гавриленко Тарас Владимирович** – кандидат технических наук, доцент, директор научного центра междисциплинарных исследований, Политехнический институт, Сургутский государственный университет

**Галиев Ильдар Мурзагитович** – кандидат физико-математических наук, заведующий лабораторией кафедры строительных технологий и конструкций, Сургутский государственный университет

**Галкин Валерий Алексеевич** – доктор физико-математических наук, профессор, эксперт РАН, директор Политехнического института, Сургутский государственный университет

**Глебова Ирина Геннадьевна** – студент магистратуры, Сургутский государственный университет

**Гончарук Анастасия Юрьевна** – магистрант, Сургутский государственный университет

**Гореликов Андрей Вячеславович** – кандидат физико-математических наук, доцент, кафедра прикладной математики, Сургутский государственный университет

**Горынин Глеб Леонидович** – доктор физико-математических наук, заведующий кафедрой строительных технологий и конструкций, Сургутский государственный университет

**Григорьев Юрий Игоревич** – ассистент кафедры строительных материалов и конструкций, Сургутский государственный университет

**Даниленко Иван Николаевич** – кандидат технических наук, доцент, Первый проректор Сургутского государственного университета

**Девицын Иван Николаевич** – аспирант кафедры прикладной математики, Сургутский государственный университет

**Дёмин Юрий Васильевич** – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры электрооборудования и автоматики ФБОУ ВПО «СГУВТ»

**Дёмко Анатолий Ильич** – кандидат технических наук, доцент кафедры радиоэлектроники и электроэнергетики, Сургутский государственный университет

**Денискина Диана Алексеевна** – инженер-технолог III категории, ПУ «СургутАСУ-нефть», ОАО «Сургутнефтегаз»

**Денчик Юлия Михайловна** – кандидат технических наук, Сургутский государственный университет

**Егоров Александр Алексеевич** – кандидат технических наук, ведущий научный специалист НЦМИ, доцент кафедры ИВТ, Сургутский государственный университет

**Еловой Сергей Григорьевич** – старший преподаватель кафедры информатики и вычислительной техники, Сургутский государственный университет

**Ельмендеев Алик Пятибаевич** – аспирант кафедры ИВТ, Сургутский государственный университет

**Жедик Олеся Игнатьевна** – аспирант кафедры автоматизированных систем обработки информации и управления, Сургутский государственный университет

**Жиренков Александр Александрович** – старший преподаватель кафедры строительных технологий и конструкций, Сургутский государственный университет

**Заикин Павел Владимирович** – преподаватель, Сургутский государственный университет

**Зайцев Илья Юрьевич** – аспирант кафедры АСОИУ, Сургутский государственный университет

**Занин Антон Сергеевич** – аспирант, Сургутский государственный университет

**Заринова Лилия Разатовна** – аспирант, Сургутский государственный университет

**Затик Ольга Сергеевна** – кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры информатики и вычислительной техники, Сургутский государственный университет

**Затик Сергей Иванович** – аспирант, Сургутский государственный университет

**Иванов Геннадий Викторович** – кандидат технических наук, доцент кафедры электроэнергетики Тобольского филиала ФГБОУ ВО «ТИУ»

**Иванов Дмитрий Михайлович** – студент, Новосибирский государственный технический университет

**Иванов Михаил Николаевич** – кандидат технических наук, доцент ИнЕУ

**Иванов Фёдор Фёдорович** – кандидат технических наук, старший научный сотрудник, профессор, Сургутский государственный университет

**Иванова Елена Васильевна** – доктор технических наук, доцент, профессор кафедры электроэнергетических систем и электротехники ФГБОУ ВО «СГУВТ» Сибирский государственный университет водного транспорта, г. Новосибирск

**Кадиров Айдын Абдулгабович** – ведущий инженер-электроник МКУ Управление дошкольными образовательными учреждениями

**Кислицин Евгений Юрьевич** – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры радиоэлектроники и электроэнергетики, Сургутский государственный университет

**Кожевников Данил Сергеевич** – аспирант, ассистент кафедры АСОИУ, Сургутский государственный университет

**Конник Сергей Игоревич** – кандидат технических наук, доцент, Сургутский государственный университет

**Коромыслов Антон Сергеевич** – студент магистратуры, Сургутский государственный университет

**Кравченко Инесса Вячеславовна** – кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории биохимии и комплексного мониторинга окружающей среды научно-исследовательского Института экологии Севера, Сургутский государственный университет

**Кудрявцев Игорь Аркадьевич** – руководитель лаборатории «Мехатронные системы», Поволжский государственный технологический университет

**Кузнецова Нина Петровна** – заведующий клинико-диагностической лабораторией ГБУЗ «ГКБ № 5», г. Оренбург

**Куриленко Мария Игоревна** – аспирант Сургутского государственного университета

**Лисовой Анатолий Анатольевич** – инженер-программист I категории ОАО «Сургут-нефтегаз»

**Лобанов Павел Юрьевич** – инженер кафедры радиоэлектроники и электроэнергетики Сургутского государственного университета

**Лысенкова Светлана Александровна** – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры информатики и вычислительной техники, Сургутский государственный университет

**Микшина Виктория Степановна** – кандидат технических наук, доцент, профессор, Сургутский государственный университет

**Мурашко Юрий Александрович** – ведущий научный сотрудник, заведующий научной лабораторией биохимии и комплексного мониторинга окружающей среды научно-исследовательского Института экологии Севера, Сургутский государственный университет

**Мусина Светлана Сергеевна** – студент кафедры информационных систем и технологий, Сургутский государственный университет

**Назина Нина Борисовна** – доцент, Сургутский государственный университет

**Носова Александра Юрьевна** – магистрант кафедры информатики и вычислительной техники, Сургутский государственный университет

**Острейковский Владислав Алексеевич** – доктор технических наук, профессор кафедры информатики и вычислительной техники, Сургутский государственный университет

**Павлов Сергей Игоревич** – аспирант, преподаватель кафедры информатики и вычислительной техники, Сургутский государственный университет

**Палагушкин Борис Владимирович** – доктор технических наук, профессор, проректор по науке ФБОУ ВПО «СГУВТ»

**Погореловский Михаил Александрович** – аспирант, Сургутский государственный университет

**Полунин Михаил Андреевич** – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры строительного производства и конструкций ФБОУ ВПО «СУВТ»

**Попов Юрий Борисович** – кандидат технических наук, доцент кафедры радиоэлектроники и электроэнергетики, Сургутский государственный университет

**Попова Августина Ивановна** – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры радиоэлектроники и электроэнергетики, Сургутский государственный университет

**Рожков Андрей Павлович** – студент магистрант, Сургутский государственный университет

**Романов Марк Николаевич** – доцент кафедры электрооборудования и автоматики ФБОУ ВПО «СГУВТ», Сургутский государственный университет

**Рудский Виктор Валентинович** – доктор географических наук, профессор, Государственный университет управления, г. Москва

**Русак Светлана Николаевна** – доктор биологических наук, профессор кафедры экологии, Сургутский государственный университет

**Рыжак Виталий Владимирович** – кандидат физико-математических наук, заведующий кафедрой радиоэлектроники и электроэнергетики, Сургутский государственный университет

**Рыковский Никита Андреевич** – аспирант, Сургутский государственный университет

**Рысев Дмитрий Валерьевич** – кандидат технических наук, доцент кафедры электрической техники, Омский государственный технический университет

**Рысев Павел Валерьевич** – кандидат технических наук, доцент кафедры радиоэлектроники и электроэнергетики, Сургутский государственный университет

**Ряховский Алексей Васильевич** – кандидат физико-математических наук, преподаватель кафедры прикладной математики, Сургутский государственный университет

**Сабиров Руслан Альфирович** – аспирант кафедры АСОИУ, Сургутский государственный университет

**Сальников Василий Герасимович** – доктор технических наук, профессор кафедры электроэнергетических систем и электротехники, Сибирский государственный университет водного транспорта

**Сапегина Анастасия Андреевна** – ассистент кафедры радиоэлектроники и электроэнергетики, Сургутский государственный университет

**Семенов Константин Геннадьевич** – инженер-программист, ОАО «Сургутнефтегаз»

**Семёнов Олег Юрьевич**, кандидат физико-математических наук, старший преподаватель кафедры радиоэлектроники и электроэнергетики, Сургутский государственный университет

**Семенова Лариса Леонидовна** – старший преподаватель кафедры радиоэлектроники и электроэнергетики, Сургутский государственный университет

**Семенюк Наталья Андреевна** – старший преподаватель кафедры физики Омского государственного технического университета

**Сиднев Станислав Маркович** – аспирант кафедры информатики и вычислительной техники, Сургутский государственный университет

**Снигирева Вера Алексеевна** – преподаватель кафедры строительных материалов и конструкций, Сургутский государственный университет

**Соколов Сергей Борисович** – кандидат технических наук, старший научный сотрудник, доцент кафедры строительных технологий и конструкций, Сургутский государственный университет

**Соловьев Николай Александрович** – инженер, аспирант, Сургутский государственный университет

**Спирёв Сергей Михайлович** – аспирант ФГБОУ ВО «СГУВТ»

**Суриков Вадим Иванович** – кандидат физико-математических наук, профессор, профессор кафедры физики Омского государственного технического университета

**Толашко Татьяна Алексеевна** – старший преподаватель ФГБОУ ВО «СГУВТ»

**Увайсов Сайгид Увайсович** – доктор технических наук, профессор, Московский государственный институт электроники и математики

**Урманцева Нелли Руслановна** – преподаватель кафедры автоматизированных систем обработки информации и управления, инженер Научного центра междисциплинарных исследований, Политехнический Институт, Сургутский государственный университет

**Фищенко Петр Алексеевич** – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры высшей математики, Поволжский государственный технологический университет

**Фрюауф Манфред** – доктор географических наук, профессор, директор Института наук о Земле Университета Мартина Лютера Галле-Виттенберг, Германия

**Хоменушко Татьяна Ивановна** – аспирант, Сургутский государственный университет

**Шайторова Ирина Анатольевна** – старший преподаватель кафедры информатики и вычислительной техники, Сургутский государственный университет

**Шырыкова Асия Адгамовна** – старший лаборант научной лаборатории биохимии и комплексного мониторинга окружающей среды научно-исследовательского Института экологии Севера, Сургутский государственный университет

**Шмаков Дмитрий Александрович** – аспирант кафедры электрооборудования и автоматики ФБОУ ВПО «СГУВТ»

**Шошин Евгений Леонидович** – кандидат технических наук, доцент кафедры радиоэлектроники и электроэнергетики, Сургутский государственный университет

**Щербина Александр Викторович** – студент магистратуры, Сургутская ГРЭС-1

**Яценко Елена Александровна** – кандидат технических наук, доцент кафедры автоматизированных систем обработки информации и управления, Сургутский государственный университет

Научное издание

**СЕВЕР РОССИИ: СТРАТЕГИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ**

*Материалы III Всероссийской научно-практической конференции  
26 мая 2017 г.*

Том II

*Технический редактор Е. В. Бодрова*

За информацию, содержащуюся в статьях, ответственность несут авторы

БУ ВО «Сургутский государственный университет»,  
628412, Ханты-Мансийский автономный округ – Югра,  
г. Сургут, пр. Ленина, 1. Тел. (3462) 76-31-79.

Подписано в печать --.--2017 г.  
Формат 60×84/8. Усл. печ. л. 34,3. Тираж --. Заказ № --.