

**МЕЖДУНАРОДНЫЙ  
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ЖУРНАЛ**

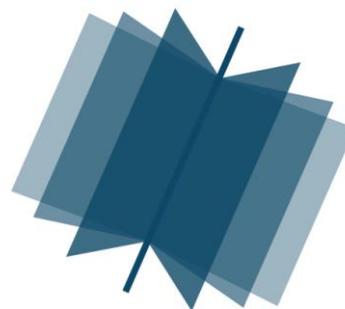
***INTERNATIONAL RESEARCH JOURNAL***

---

**ISSN 2303-9868 PRINT  
ISSN 2227-6017 ONLINE**

Екатеринбург  
2016





Периодический теоретический и научно-практический журнал.  
Выходит 12 раз в год.  
Учредитель журнала: ИП Соколова М.В.  
Главный редактор: Миллер А.В.  
Адрес редакции: 620075, г. Екатеринбург, ул. Красноармейская,  
д. 4, корп. А, оф. 17.  
Электронная почта: [editors@research-journal.org](mailto:editors@research-journal.org)  
Сайт: [www.research-journal.org](http://www.research-journal.org)

**№3 (45) 2016  
Часть 2  
Март**

Подписано в печать 15.03.2016.  
Тираж 900 экз.  
Заказ 26126  
Отпечатано с готового оригинал-макета.  
Отпечатано в типографии ООО "Компания ПОЛИГРАФИСТ",  
623701, г. Березовский, ул. Театральная, дом № 1, оф. 88.

Сборник по результатам XLVIII заочной научной конференции International Research Journal.  
За достоверность сведений, изложенных в статьях, ответственность несут авторы.

Журнал имеет свободный доступ, это означает, что статьи можно читать, загружать, копировать, распространять, печатать и ссылаться на их полные тексты с указанием авторства без каких либо ограничений. Тип лицензии СС поддерживаемый журналом: Attribution 4.0 International (CC BY 4.0). Журнал входит в международную базу научного цитирования **Aggris**.

Номер свидетельства о регистрации в Федеральной Службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций: **ПИ № ФС 77 – 51217**.

**Члены редколлегии:**

**Филологические науки:** Растягаев А.В. д-р филол. наук, Сложеникина Ю.В. д-р филол. наук, Штрекер Н.Ю. к.филол.н., Вербицкая О.М. к.филол.н.

**Технические науки:** Пачурин Г.В. д-р техн. наук, проф., Федорова Е.А. д-р техн. наук, проф., Герасимова Л.Г., д-р техн. наук, Курасов В.С., д-р техн. наук, проф., Оськин С.В., д-р техн. наук, проф.

**Педагогические науки:** Лежнева Н.В. д-р пед. наук, Куликовская И.Э. д-р пед. наук, Сайкина Е.Г. д-р пед. наук, Лукьянова М.И. д-р пед. наук.

**Психологические науки:** Мазилев В.А. д-р психол. наук, Розенова М.И., д-р психол. наук, проф., Ивков Н.Н. д-р психол. наук.

**Физико-математические науки:** Шамолин М.В. д-р физ.-мат. наук, Глезер А.М. д-р физ.-мат. наук, Свиштунов Ю.А., д-р физ.-мат. наук, проф.

**Географические науки:** Умывакин В.М. д-р геогр. наук, к.техн.н. проф., Брылев В.А. д-р геогр. наук, проф., Огуреева Г.Н., д-р геогр. наук, проф.

**Биологические науки:** Буланый Ю.П. д-р биол. наук, Аникин В.В., д-р биол. наук, проф., Еськов Е.К., д-р биол. наук, проф., Шеуджен А.Х., д-р биол. наук, проф.

**Архитектура:** Янковская Ю.С., д-р архитектуры, проф.

**Ветеринарные науки:** Алиев А.С., д-р ветеринар. наук, проф., Татарникова Н.А., д-р ветеринар. наук, проф.

**Медицинские науки:** Медведев И.Н., д-р мед. наук, д.биол.н., проф., Никольский В.И., д-р мед. наук, проф.

**Исторические науки:** Меерович М.Г. д-р ист. наук, к.архитектуры, проф., Бакулин В.И., д-р ист. наук, проф., Бердинских В.А., д-р ист. наук, Лёвочкина Н.А., к.ист.наук, к.экон.н.

**Культурология:** Куценков П.А., д-р культурологии, к.искусствоведения.

**Искусствоведение:** Куценков П.А., д-р культурологии, к.искусствоведения.

**Философские науки:** Петров М.А., д-р филос. наук, Бессонов А.В., д-р филос. наук, проф.

**Юридические науки:** Грудцына Л.Ю., д-р юрид. наук, проф., Костенко Р.В., д-р юрид. наук, проф., Камышанский В.П., д-р юрид. наук, проф., Мазуренко А.П. д-р юрид. наук, Мещерякова О.М. д-р юрид. наук, Ергашев Е.Р., д-р юрид. наук, проф.

**Сельскохозяйственные науки:** Важов В.М., д-р с.-х. наук, проф., Раков А.Ю., д-р с.-х. наук, Комлацкий В.И., д-р с.-х. наук, проф., Никитин В.В. д-р с.-х. наук, Наумкин В.П., д-р с.-х. наук, проф.

**Социологические науки:** Замараева З.П., д-р социол. наук, проф., Солодова Г.С., д-р социол. наук, проф., Кораблева Г.Б., д-р социол. наук.

**Химические науки:** Абдиев К.Ж., д-р хим. наук, проф., Мельдешов А. д-р хим. наук.

**Науки о Земле:** Горяинов П.М., д-р геол.-минерал. наук, проф.

**Экономические науки:** Бурда А.Г., д-р экон. нау, проф., Лёвочкина Н.А., д-р экон. наук, к.ист.н., Ламоттке М.Н., к.экон.н.

**Политические науки:** Завершинский К.Ф., д-р полит. наук, проф.

**Фармацевтические науки:** Тринева О.В. к.фарм.н., Кайшева Н.Ш., д-р фарм. наук, Ерофеева Л.Н., д-р фарм. наук, проф.

# ОГЛАВЛЕНИЕ

## ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ / ENGINEERING

ПРИМЕНЕНИЕ ИСКУССТВЕННОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ВЫХОДЕ ИЗ АППАРАТА ВОЗДУШНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ ГАЗА ДЛЯ КОМПРЕССОРНОЙ СТАНЦИИ МАГИСТРАЛЬНОГО ГАЗОПРОВОДА.....	6
СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЗАЩИТЫ ПРОГРАММНЫХ ПРОДУКТОВ ОТ ЗЛОУМЫШЛЕННИКОВ.....	9
РАЗРАБОТКА И ИСПЫТАНИЕ ВАКУУМНОГО АППАРАТА РАЗДЕЛЕНИЯ СВИНЦОВО-ОЛОВЯННЫХ ОТХОДОВ СПЛАВОВ .....	11
АВТОМАТИЗАЦИЯ ПОИСКА ОШИБОК В СИСТЕМАХ ДИСПЕТЧЕРСКОГО КОНТРОЛЯ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ.....	15
ПРИМЕНЕНИЕ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ИЗДЕЛИЙ .....	19
ИЗВЛЕЧЕНИЕ МЕДИ ИЗ ОТХОДОВ ТИТАНОВОГО ПРОИЗВОДСТВА .....	22
ЗАВИСИМОСТЬ ДАВЛЕНИЯ НА ВАЛКИ ПРОФИЛЕГИБОЧНОГО СТАНА ОТ ЕГО НАСТРОЙКИ.....	25
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАГНЕЗИАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ.....	28
СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К УПРАВЛЕНИЮ КАЧЕСТВОМ ПРОДУКЦИИ .....	31
ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ И КАЧЕСТВА ВЫПУСКАЕМОЙ ПРОДУКЦИИ .....	33
ТЕХНОГЕННЫЙ ЦИКЛ ПРЕДПРИЯТИЯ – НЕОТЪЕМЛЕМАЯ ЧАСТЬ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПРОЦЕССА.....	35
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СТАРОГО И НОВОГО СТАНДАРТОВ РФ НА КРИПТОГРАФИЧЕСКУЮ ФУНКЦИЮ ХЭШИРОВАНИЯ.....	38
ГЕНЕРАЦИЯ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ВО ВРАЩАЮЩЕМСЯ МЕТАЛЛИЧЕСКОМ ПРОВОДНИКЕ .....	41
ПУТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ПЕРЕРАБОТКИ ПРОДУКЦИИ КРОЛИКОВОДСТВА.....	43
ВОПРОСЫ ДИЗАЙНА ТЕМПОРАЛЬНЫХ ГИС .....	49
ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ОБРАБОТКИ РАСТИТЕЛЬНОГО И ЖИВОТНОГО СЫРЬЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНОГО ОБОРУДОВАНИЯ.....	51

## ФАРМАЦЕВТИЧЕСКИЕ НАУКИ / PHARMACEUTICS

ОСНОВНЫЕ КРИТЕРИИ ЧИСТОГО ПОМЕЩЕНИЯ СОГЛАСНО ТРЕБОВАНИЯМ СТАНДАРТА GMP.....	54
-----------------------------------------------------------------------------	----

## ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ / PHYSICS AND MATHEMATICS

МАТЕМАТИЧЕСКИЙ АППАРАТ ИССЛЕДОВАНИЯ БЛОЧНЫХ СТРУКТУР С РАЗНОТИПНЫМИ БЛОКАМИ .....	58
ФОРМУЛА ДЛЯ ВЫЧИСЛЕНИЯ ОДНОГО КЛАССА НЕСОБСТВЕННЫХ ИНТЕГРАЛОВ ПЕРВОГО РОДА.....	61
ОСОБЕННОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ ПЛЕНОК ХРОМА, ОКИСИ ХРОМА И ОКСИКАРБИДА ХРОМА ПО МОС-ТЕХНОЛОГИИ .....	63
ВИЗУАЛИЗАЦИЯ СТЕПЕННЫХ ФУНКЦИЙ. НОВЫЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ФИГУРЫ .....	68
ЖИДКОСТНАЯ МОДЕЛЬ АТОМА, ОТНОСИТЕЛЬНОСТЬ И КОСМОЛОГИЯ. ЧАСТЬ 2 .....	70
ТЕОРИЯ ЛИНЕЙНОГО И НЕЛИНЕЙНОГО МАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА В ОБРАЗЦАХ ИЗ СЛОИСТЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МУЛЬТИФЕРРОИКОВ В ФОРМЕ ДИСКА.....	78
ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ И МАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СЛОИСТЫХ МАГНИТОСТРИКЦИОННО-ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТРУКТУР .....	85
К ВОПРОСУ О МАТЕМАТИЧЕСКОМ МОДЕЛИРОВАНИИ МОТИВАЦИИ ПРИ ИЗУЧЕНИИ РАЗЛИЧНЫХ ПРОЦЕССОВ.....	91

## НАУКИ О ЗЕМЛЕ / SCIENCE ABOUT THE EARTH

ДИНАМИКА ИМПУЛЬСОВ В СТРАТИФИЦИРОВАННЫХ СЖИМАЕМЫХ И НЕСЖИМАЕМЫХ СРЕДАХ .....	93
РЕКУЛЬТИВАЦИЯ ЗЕМЕЛЬ – ОСНОВА СОХРАНЕНИЯ И ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПОЧВЕННОГО ПЛОДОРОДИЯ .....	100

<b>АНАЛИЗ ОПЫТА ПРИМЕНЕНИЯ КОМПОЗИЦИЙ НА ОСНОВЕ ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ НЕФТЕОТДАЧИ ТЕРРИГЕННЫХ КОЛЛЕКТОРОВ УРАЛО-ПОВОЛЖЬЯ.....</b>	<b>102</b>
<b>ВЛИЯНИЕ НЕФТЯНЫХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ .....</b>	<b>105</b>
<b>ВЛИЯНИЕ ГАЛАКТИК МЕСТНОЙ ГРУППЫ И СОЛНЦА НА ТЕКТОНИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ НА ЗЕМЛЕ.....</b>	<b>107</b>
<b>АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ПРЕДПРИЯТИЯ ПО СОРТИРОВКЕ И УТИЛИЗАЦИИ ТВЕРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ. ....</b>	<b>110</b>
<b>ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАГРЯЗНЕННОСТИ ТЕХНОГЕННЫМИ РАДИОНУКЛИДАМИ ДОННЫХ И ПОЙМЕННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ОЗЕР УРАЛЬСКОГО РЕГИОНА .....</b>	<b>112</b>
<b>ИССЛЕДОВАНИЕ РЕОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ВЫСОКОВЯЗКОЙ НЕФТИ ПЕЧЕРСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ .....</b>	<b>116</b>
<b>ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗНАЧЕНИЙ КРИТИЧЕСКИХ ГРАДИЕНТОВ ДАВЛЕНИЯ И СКОРОСТИ ФИЛЬТРАЦИИ НЕНЬЮТОНОВСКОЙ ЖИДКОСТИ .....</b>	<b>120</b>
<b>ОБЗОР ОСНОВНЫХ МЕТОДОВ ОБЕЗВРЕЖИВАНИЯ НЕФТЕСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В РОССИИ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ В РЕСПУБЛИКЕ БУРЯТИЯ.....</b>	<b>125</b>

**ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ / ENGINEERING**

DOI: 10.18454/IRJ.2016.45.090

Бабанова И.С.

ORCID: 0000-0002-5925-8749, Аспирант,

Национальный минерально-сырьевой университет «Горный»

**ПРИМЕНЕНИЕ ИСКУССТВЕННОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ВЫХОДЕ ИЗ АППАРАТА ВОЗДУШНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ ГАЗА ДЛЯ КОМПРЕССОРНОЙ СТАНЦИИ МАГИСТРАЛЬНОГО ГАЗОПРОВОДА***Аннотация*

В статье описаны факторы, влияющие на оптимизацию процесса охлаждения газа, модель прогнозирования температуры на выходе из аппарата воздушного охлаждения газа с применением аппарата искусственной нейронной сети, показана средняя относительная ошибка прогнозирования нейронной сети типа многослойный перцептрон (MLP) с гиперболической функцией активации и алгоритмом обратного распространения ошибки.

**Ключевые слова:** аппарат воздушного охлаждения газа, стабилизация температуры, прогнозирование.

Babanova I.S.

ORCID: 0000-0002-5925-8749, Postgraduate student,

National Mineral Resources University

**APPLICATION OF ARTIFICIAL NEURAL NETWORK FOR FORECASTING THE TEMPERATURE AT THE OUTLET OF THE DEVICE OF AIR COOLING OF GAS FOR COMPRESSOR STATIONS OF MAIN GAS PIPELINE***Abstract*

The article describes the factors affecting the optimization of the process gas cooling, forecasting model of temperature at the outlet of the device of air cooling of gas using the apparatus of artificial neural networks, shows the average relative prediction error of the neural network the type multilayer perceptron (MLP) with hyperbolic activation function and back propagation of error algorithm.

**Keywords:** device of air cooling of gas, temperature stabilization, forecasting.

В настоящее время для компрессорных станций магистрального газопровода (КС МГ) определение температуры на выходе из аппарата воздушного охлаждения (АВО) газа является актуальным вопросом. На практике перед диспетчерским управлением стоит задача повышения энергоэффективности работы газотранспортной системы, что в свою очередь достигается за счет правильного регулирования работы АВО газа. В работах по прогнозированию для КС [1], [2] недостатками являются: отсутствие разработки системы стабилизации температуры газа на основе применения аппарата искусственной нейронной сети (ИНС), а также моделей по прогнозированию этой температуры на выходе из АВО газа; существующая система прогнозирования управления энергопотребления представлена нечеткой логикой, где отсутствует оценка воздействия внешних переменных, отвечающих за прогноз. Преимуществом применения искусственных нейронных сетей является возможность использования большого числа входных и выходных параметров (в том числе и лингвистических); возможность к переобучению, тем самым снижением средней относительной ошибки прогноза. Таким образом, проблема разработки и исследования нейросетевой модели прогнозирования температуры природного газа является актуальной и требует решения.

Цель исследования – усовершенствование системы прогнозирования температуры газа на выходе из АВО на основе применения аппарата искусственной нейронной сети.

Задачи исследования: определить основные факторы, влияющие на оптимизацию охлаждения газа на КС; выявить факторы, влияющие на прогнозирование температуры на выходе из АВО газа; разработать ИНС для прогнозирования температуры на выходе из АВО газа.

В ходе исследования использовались методы математического моделирования и прогнозирования временных рядов математический пакет STATISTICA (температуры на выходе из АВО газа для краткосрочного прогнозирования); статистический и регрессионный анализ (выявление переменных, влияющих на температуру газа на выходе из АВО), методы искусственных нейронных сетей (архитектура, тип, функция активации, обучающий алгоритм); построение модели стабилизации температуры (Matlab, Simulink); методы экспертного анализа.

Оптимизация охлаждения газа на КС заключается во включении вентиляторов АВО в количестве, обеспечивающем минимальные затраты на транспортировку газа. Затраты на транспортировку газа складываются из двух составляющих: затраты электроэнергии на привод вентиляторов АВО; затраты топливного газа ГТУ для привода нагнетателей природного газа.

Стоимость электроэнергии  $C_{эл}$ , руб./час, необходимой для работы вентиляторов АВО, определяется суммарной мощностью работающих вентиляторов и стоимостью электроэнергии:

$$C_{эл} = C_{эл} N_{эл}, \quad (1)$$

где  $N_{эл}$  – суммарная мощность включенных вентиляторов, кВт;  $C_{эл}$  – цена 1 кВтч электроэнергии.

Стоимость газа, израсходованного ГТУ:

$$C_{газ} = C_{газ} \frac{G_{топ}}{1000}, \quad (2)$$

где  $C_{газ}$  – цена газа, руб./тыс.;  $G_{топ}$  – расход топливного газа,  $\text{нм}^3/\text{час}$ .

Затраты на транспортировку газа определяются следующими факторами: объемная производительность газопровода; давление за ЦБН; температура грунта; температура окружающего воздуха. Была определена зависимость стоимости транспортировки газа от приведенных выше факторов. Примеры этой зависимости изображены на рисунках 1 и 2. Для всех КС с различным количеством АВО прослеживается общая тенденция: чем выше заданный расход газа  $q$ , тем больше оптимальное число включаемых вентиляторов АВО, поскольку большим расходам соответствуют большие скорости течения газа и большие потери давления в магистральной трубе и, следовательно, большие степени повышения давления в нагнетателе газа, а, значит, и более высокие температуры газа перед АВО. Это обстоятельство и позволяет эффективно использовать систему охлаждения газа.

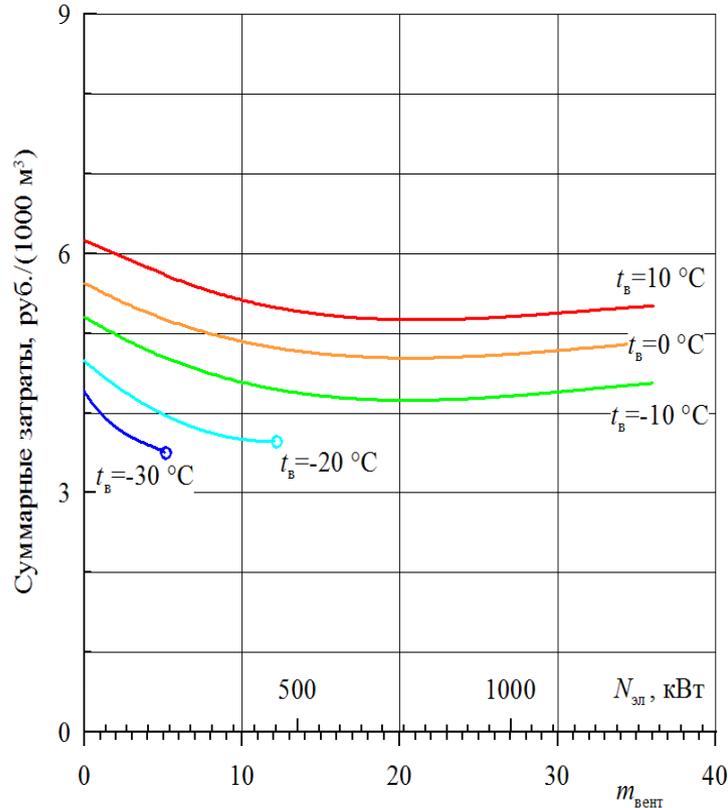


Рис. 1 – Суммарные затраты на прокачку 1000 м<sup>3</sup> газа в зависимости от числа включенных вентиляторов АВО для участка КС газотранспортного предприятия при  $T_{гр} = 2^{\circ}\text{C}$ ,  $q = 90$  млн. м<sup>3</sup>/сутки и  $p_{2н} = 80$  кг/см<sup>2</sup>

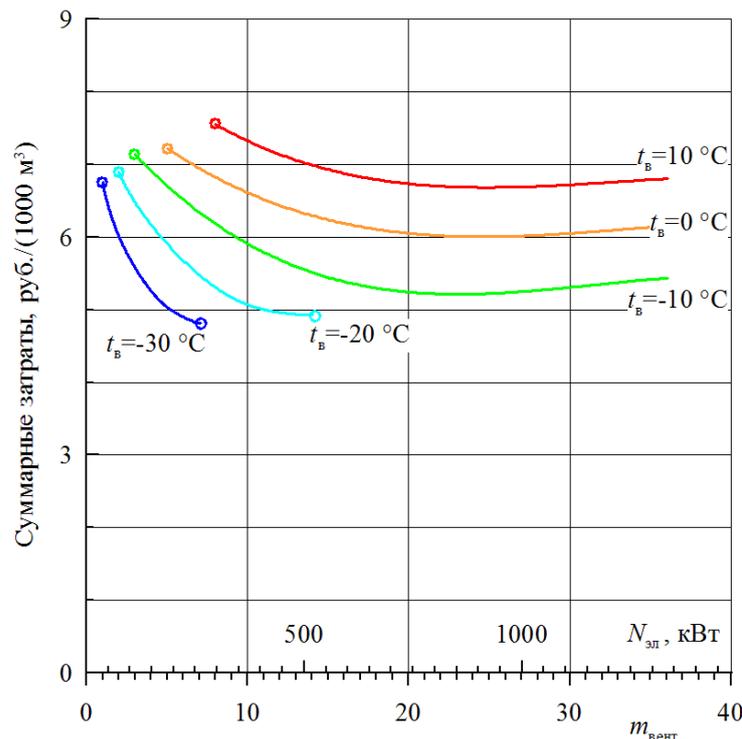


Рис. 2 – Суммарные затраты на прокачку 1000 м<sup>3</sup> газа в зависимости от числа включенных вентиляторов АВО на КС газотранспортного предприятия при  $T_{гр} = 2^{\circ}\text{C}$ ,  $q = 100$  млн. м<sup>3</sup>/сутки и  $p_{2н} = 80$  кг/см<sup>2</sup>

В ходе исследования на основании структурных схем системы стабилизации температуры газа и схемы прогнозирования температуры с применением искусственной нейронной сети, были построены функциональные схемы. Температура охлаждающего воздуха, температура на входе АВО, массовый расход газа являются возмущающими воздействия в системе стабилизации температуры газа.

Была исследована модель для прогнозирования температуры на выходе из АВО газа за счет введения блока прогнозирования температуры на основе работы ИНС с применением алгоритма обратного распространения ошибки. Функциональная схема этой модели показана на рисунке 3. Для прогнозирования температурой на выходе из АВО газа использовался алгоритм на основе работы ИНС, показанной в работе [3], [4] и исследование вопроса прогнозирования энергопотребления для КС на предприятиях газовой промышленности на основе аппарата искусственных нейронных сетей [5].

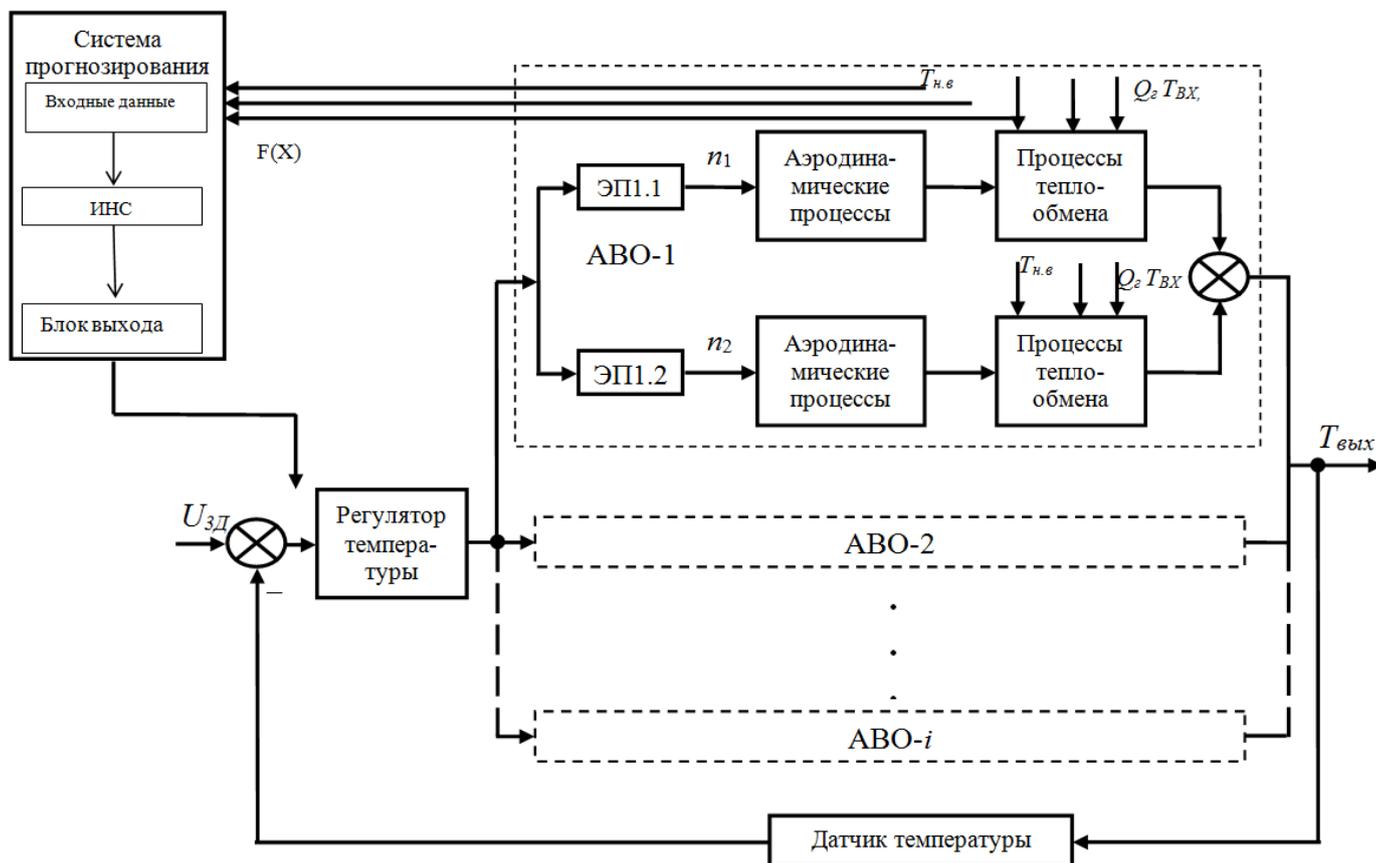


Рис. 3 – Функциональная схема стабилизации температуры АВО газа

Алгоритм обратного распространения ошибки представляет процесс подбора весов ИНС с применением градиентных методов оптимизации. При обучении ставится задача минимизации целевой функции, формируемой, в виде квадратичной суммы разностей между фактическими и ожидаемыми значениями выходных сигналов, которая для обучающих выборок определяется по формуле:

$$E(w) = \frac{1}{2} \sum_{t=1}^P \sum_{s=1}^M (y_s^{(t)} - d_s^{(t)})^2 \quad (3)$$

Прогноз на выходе системы сравнивается с фактическим значением температуры и, когда средняя относительная ошибка прогноза будет превышать заданный допустимый уровень (например, больше 2 %), система переобучается заново на новых данных.

В ходе исследования были получены модели прогнозирования ИНС для температуры на выходе из АВО с функцией активации гиперболический тангенс, архитектуры многослойный персептрон (MLP), средняя относительная ошибка отклонения прогноза составила 1,5 % (для краткосрочного прогнозирования – на месяц вперед). При этом средняя относительная ошибка отклонения прогноза была уменьшена за счет переобучения ИНС на входных данных (изменение функции активации и количества слоев, а также весовых коэффициентов, внесение дополнительных факторов, влияющих на температуру на выходе из АВО газа).

Разработка прогнозирования процессом охлаждения газа на основе использования ИНС позволит прогнозировать важный параметр как температуру на выходе из АВО газа, позволяющей диспетчерам оптимизировать затраты на охлаждение компримированного газа, а также предвидеть превышение температуры выше допустимой нормы и исключить аварийную остановку компрессорной станции, тем самым снизить затраты на работу газотранспортной системы.

## Литература

1. Аршакян И.И. Выбор схемы управления электродвигателями вентиляторов в системе стабилизации температуры компримированного газа / И.И. Аршакян, А.А.Тримбач, И.И.Артюхов, В.В.Курдя//Проблемы электроэнергетики: Сб. науч.тр. – Саратов: Сарат.гос.техн.ун-т, 2007. – С. 49 – 61.
2. Артюхов И.И. Динамика системы стабилизации температуры с частотно-регулируемым электроприводом вентиляторов аппаратов воздушного охлаждения/И.И.Артюхов, И.И.Аршакян, Р.Ш.Тарисов/ Проблемы электроэнергетики: сб. науч. тр. – Саратов: СГТУ, 2010. – С. 145-150
3. Бабанова И.С. Применение искусственных нейронных сетей в задачах прогнозирования энергопотребления для предприятий минерально-сырьевого комплекса. Фундаментальные и прикладные исследования в современном мире. Материалы IX Международной научно-практической конференции. Том 1/ Стратегия будущего – г. Санкт-Петербург, 2015, с.128-134
4. Абрамович Б.Н., Бабанова И.С. Применение искусственных нейронных технологий в процессе преподавания дисциплин электротехнического цикла. Сборник научных трудов II Международной научно-методической конференции 09-10 апреля 2015 г. / «Национальный минерально-сырьевой университет «Горный». – г. Санкт-Петербург, 2015,- с. 229-234
5. Abramovich B.N., Babanova I.S. Improvement of monitoring system commercial electricity accounting for compressor plants on the enterprises for gas industry. Scientific reports on resource issues 2015, TU Bergakademie Freiberg, Value 1, p. 383-386

## References

1. Arshakjan I.I. Vybora shemy upravlenija jelektrodvigateljami ventiljatorov v sisteme stabilizacii temperatury komprimirovannogo gaza / I.I. Arshakjan, A.A.Trimbach, I.I.Artjuhov, V.V.Kurdja//Problemy jelektrojenergetiki: Sb. nauch.tr. – Saratov: Sarat.gos.tehn.un-t, 2007. – S. 49 – 61.
2. Artjuhov I.I. Dinamika sistemy stabilizacii temperatury s chastotno-reguliruemym jelektroprivodom ventiljatorov apparatov vozdušnogo ohlazhdenija/I.I.Artjuhov, I.I.Arshakjan, R.Sh.TarisoV/Problemy jelektrojenergetiki: sb. nauch. tr. – Saratov: SGTU, 2010. – S. 145-150
3. Babanova I.S. Primenenie iskusstvennyh nejronnyh setej v zadachah prognozirovaniya jenergopotreblenija dlja predpriyatij mineral'no-syr'evogo kompleksa. Fundamental'nye i prikladnye issledovaniya v sovremennom mire. Materialy IX Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii. Tom 1/ Strategija budushhego – g. Sankt-Peterburg, 2015, s.128-134
4. Abramovich B.N., Babanova I.S. Primenenie iskusstvennyh nejronnyh tehnologij v processe prepodavanija disciplin jelektrotehnicheskogo cikla. Sbornik nauchnyh trudov II Mezhdunarodnoj nauchno-metodicheskoj konferencii 09-10 aprelja 2015 g. / «Nacional'nyj mineral'no-syr'evoj universitet «Gornyj». – g. Sankt-Peterburg, 2015,- s. 229-234
5. Abramovich B.N., Babanova I.S. Improvement of monitoring system commercial electricity accounting for compressor plants on the enterprises for gas industry. Scientific reports on resource issues 2015, TU Bergakademie Freiberg, Value 1, p. 383-386

DOI: 10.18454/IRJ.2016.45.180

Блажчук В.И.<sup>1</sup>, Майков В.Б.<sup>2</sup>, Мироненко О.Е.<sup>3</sup>, Ступко К.О.<sup>4</sup>  
<sup>1,2,3,4</sup>Магистрант, Омский государственный технический университет

## СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЗАЩИТЫ ПРОГРАММНЫХ ПРОДУКТОВ ОТ ЗЛОУМЫШЛЕННИКОВ

Аннотация

*В статье рассмотрена основная проблема защиты программных продуктов, описана важность защиты программных продуктов.***Ключевые слова:** информационные технологии, программный продукт, безопасность.Blazhchuk V.I.<sup>1</sup>, Maikov V.B.<sup>2</sup>, Mironenko O.E.<sup>3</sup>, Stupko K.O.<sup>4</sup><sup>1,2,3,4</sup>Master, Omsk State Technical University

## MODERN PROBLEMS SOFTWARE PROTECTION FROM INTRUDERS

Abstract

*The article considers the main problem of the protection of software, described the importance of protecting software.***Keywords:** information technology, software, security.

Эпоха постиндустриального общества или, иначе, информационного не представляется без использования различных программных продуктов, используемых как корпоративно, так и персонально. Поэтому все чаще встает вопрос о защите программных продуктов.

Подойдя к рассмотрению поставленной проблемы, первоочередным возникает вопрос: зачем вообще нужно защищать программные продукты?

Во-первых, на некоторую категорию сведений распространяется обязательность их защиты нормативно-правовыми актами различных стран, где используется данный программный продукт или разрабатывается. Примером такой категории сведений может являться: коммерческая тайна, банковская тайна, персональные данные и тому подобное.

Во-вторых, создание программного продукта является предметом интеллектуального труда и должно защищаться от нарушения авторских прав.

В-третьих, в процессе создания программных продуктов используются большие материальные и трудовые затраты, также требуется использование дорогостоящей современной техники и наукоемких технологий.

В-четвертых, восстановление программных продуктов в случае сбоя является сложным, изнуряющим и трудоемким процессом.

Защита программного обеспечения — комплекс мер, направленных на защиту программного обеспечения от несанкционированного приобретения, использования, распространения, модифицирования, изучения и воссоздания аналогов [1].

Исходя из выше перечисленного, можно сделать вывод, что при производстве программных продуктов, вопрос построения защиты этих продуктов является неотъемлемой частью.

При построении защиты используются различные способы. Базовыми способами достижения безопасности программного обеспечения являются:

1. Криптографический метод. Здесь безопасность достигается в результате шифрования данных.

2. Программный. Данный метод заключается в использовании определенного ключа при выполнении программы. Этим ключом может являться не только определенный набор цифр, но и различные дискеты, на которых прописан данный ключ, или определенная характеристика аппаратуры компьютера.

3. Нормативно-правовой. Данный способ представляет собой стандартизацию и лицензирование продуктов интеллектуальной деятельности.

Несмотря на все многообразие способов защиты, не один из них, и даже их комплекс, гарантировать полную безопасность не может, так как основной проблемой защиты программных продуктов является алгоритмическая неразрешенность. Причинами этому служит постоянное развитие информационных технологий, компьютерных систем и, в частности, усовершенствование хакерских атак.

Так, в работе [2] авторы отследили зависимость величины прибыли компании-разработчика от скорости «взлома» программного продукта. Если на этапе создания программного продукта использовались малоэффективные меры защиты, или не применялись вовсе, то, в зависимости от степени популярности продукта, увеличивается вероятность появления дешевой или вовсе бесплатной "пиратской" версии, которая займёт место легитимной копии продукта. В результате компания разработчик программного продукта понесет убытки в виде потери репутации в лице пользователей и заказчиков, а также недополученной прибыли, что в свою очередь может привести к банкротству. Если же механизмы и методы защиты продукта хорошо справляются со своей задачей, как правило, такая задача достигается при периодических или постоянных обновлениях, то злоумышленники используют много времени на то, чтобы обойти все используемые преграды, и пользователям приходится покупать лицензионные версии.

Поэтому, о механизмах защиты программных продуктов нужно говорить как о средствах затруднения взлома программного продукта.

Исходя из вышесказанного, можно сделать вывод, что построение безопасности программного продукта является сложной задачей, к которой нужно подойти с наибольшей серьезностью. Хотя полностью гарантировать безопасность не возможно, так как происходит постоянное развитие информационных технологий, и создаются более усовершенствованные алгоритмы взлома, но без защиты, рискам подвергнуты не только создатели, но и пользователи программного обеспечения.

#### Литература

1. Защита информации. Основные термины и определения. ГОСТ Р 50922-2006 (утв. Приказом Ростехрегулирования от 27.12.2006 N 373-ст))// КонсультантПлюс [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.consultant.ru>

2. Новичков А., Сардарян Р. Анализ рынка средств защиты от копирования и взлома программных средств [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://citforum.ru/security/articles/analis/>

#### References

1. Data protection. Basic terms and definitions. GOST R 50922-2006 (app. Rostechregulirovanie Order of 27.12.2006 N 373-st)) // ConsultantPlus [Electronic resource]. - Access mode: <http://www.consultant.ru>

2. Novichkov A., Sardaryan R. Analysis of market protection against copying and cracking software [Electronic resource]. - Access mode: <http://citforum.ru/security/articles/analis/>

DOI: 10.18454/IRJ.2016.45.064

Дьяков В.Е.

Кандидат технических наук, Открытое акционерное общество  
Центральный научно-исследовательский институт олова, Россия, Новосибирск.  
**РАЗРАБОТКА И ИСПЫТАНИЕ ВАКУУМНОГО АППАРАТА РАЗДЕЛЕНИЯ  
СВИНЦОВО-ОЛОВЯННЫХ ОТХОДОВ СПЛАВОВ**

*Аннотация*

*Разработан компактный аппарат непрерывной вакуумной дистилляции свинцово-оловянных сплавов производительностью 60-200 кг\час. Приведены показатели испытания по выделению висмута в свинцово-висмутовый конденсат для его переработки электролизом в расплаве солей. Олово концентрируется в целевой продукт свинцово-оловянно сурьмянистый сплав для припоев. Приведен удельный расход электроэнергии 0,4 кВт\кг загрузки.*

**Ключевые слова:** вакуумный аппарат, висмут, свинцово-оловянные сплавы, отходы сплавов, вакуумное рафинирование.

**Dyakov V.E.**

PhD in Engineering,

The open joint stock company Central Research Institute of the Tin.

**DEVELOPMENT AND TESTING OF VACUUM APPARATUS SEPARATION  
OF LEAD-TIN ALLOYS WASTE**

*Abstract*

*Designed compact machine continuous vacuum distillation of lead-tin alloys capacity 60-200 kg / h. The indexes of tests by selection of bismuth in lead bismuth condensation for processing by electrolysis in molten salts. Tin is concentrated to the desired product, lead tin antimony alloy for solders. Given specific energy consumption of 0.4 kWh/kg load.*

**Keywords:** vacuum machine, bismuth, lead-tin alloys, alloys wastes, vacuum refining.

**В** металлургии олова для рафинирования олова должное место занял процесс вакуумной дистилляции. Для этого разработаны несколько вакуумных аппаратов, которые используются на отечественном заводе и поставлены зарубежным фирмам [1]. Вакуумный аппарат представляет собой колонку кольцевых тарелей, помещенных в вакуумную камеру [2,3]. Дозатором с барометрическим затвором на колонку тарелей подается расплавленное олово с расходом около 800 кг\час. По мере перетекания по тарелям олово нагревается осевым разрезным графитовым нагревателем подключенному к трансформатору мощностью 150-250 квт. Примеси испаряются с поверхности олова на кольцевых тарелях, конденсируются на более холодных экранах. Расплав конденсата и очищенное олово выводятся из вакуумной камеры через барометрические трубы в приемные ванны. Как правило, вакуумной дистилляцией получают марочное олово из металла с содержанием примесей 0,5-3% свинца; 0,1-0,8% висмута; 0,1-0,5% сурьмы [1,3]. В аппарате вакуумной установки размером 6\*5,3\*8 м остается минимум 2т металла, запускается и выходит на режим в течение 30-48 часов. Выделение висмута и свинца в конденсат с высоким содержанием олова и возвращается в оборотную переработку.

В результате многократных циклов перегонки перегонов и конденсата удается получить товарный конденсат с содержанием олова 1-2%. Однако, это приводит к повышению расхода электроэнергии и к необходимости содержать избыточные мощности вакуумной аппаратуры.

Для предприятий с малым объемом отходов сплавов необходим компактный аппарат для очистки свинцово-оловянных сплавов от висмута в промпродукт пригодный для сплавов. Висмут предпочтительно выделить в конденсат с минимальным содержанием олова и сурьмы для переработки электролизом в расплаве солей [5]

**Целью работы** является испытание разработанного компактного вакуумного аппарата по выделению висмута из свинцово-оловянных сплавов на целевые продукты.

#### **Описание методики работы**

Опыты проводились на разработанном аппарате (Рис 1) Расплавленное олово в котле (1) под атмосферным давлением через регулятор (2) расхода по барометрической трубе (3) подается в вакуумную камеру (4). Расплав поступает на колонку из 10 кольцевых испарительных графитовых тарелей (5), с общей поверхности испарения 26 дм<sup>2</sup>, установленных одна на другую коаксиально нагревателю (6).

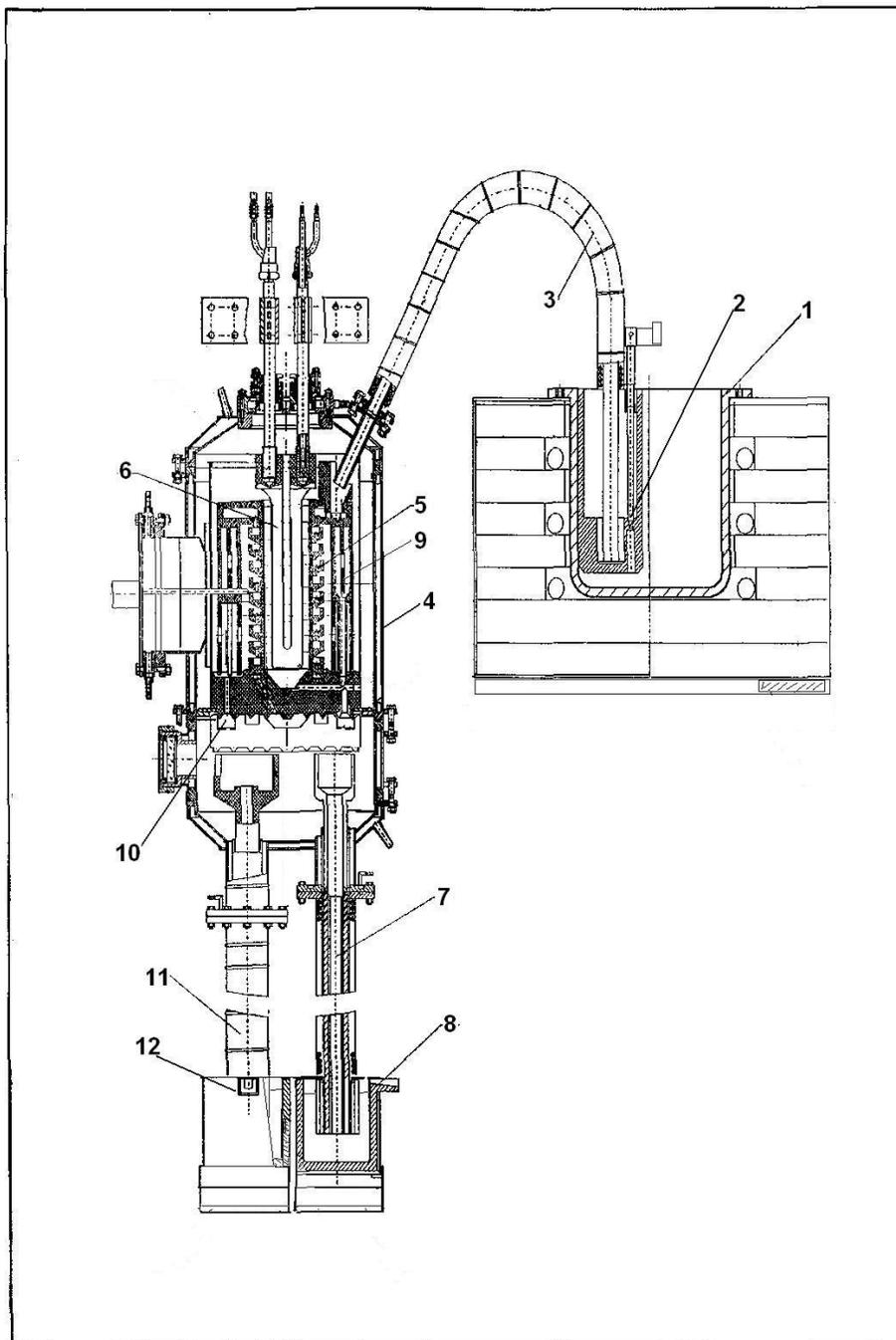


Рис. 1 – Вакуумный аппарат разделения висмут содержащих сплавов

Олово переливается через отверстия из каждой испарительной тарели в другую и нагревается за счет осевого графитового нагревателя (6) до 1200–1400°C. С нижней тарели очищенное олово выводится из вакуумной камеры (4) по барометрической трубе (7) в приемный в электрообогреваемый бак олова (8). Конденсация паров металлов-примесей происходит на вертикальных поверхностях графитовых цилиндрических экранов (9). Экраны (9) с перфорированными стенками одновременно является теплозащитным экраном для испарительных тарелей. Конденсат стекает на кольцевой канал (10) по периферии дна и по барометрической трубе (11) выводится в приемный бак (12) находящимся под атмосферным давлением.

Для сохранения вакуума в камере с обеспечением подачи олова из исходного котла под атмосферным давлением и вывода продуктов из вакуумной камеры предварительно приемные ванны заполнялись исходным расплавленным металлом. Вакуум в камере создается форвакуумным насосом до остаточного давления в печи 13-30 Па.

Предварительно установкой трех термопар тарирована зависимость температур тарелей ( $T_{\text{тар}}$ ) от температуры экранов ( $T_{\text{эк}}$ ) и от силы тока на нагревателе.

$$T_{\text{тар}} = 1,43 * T_{\text{эк}} + 130 \text{ с корреляцией } 0,99 \text{ в интервале } T_{\text{э}} - 300 - 900^{\circ}\text{C}$$

(1)

В последующих испытаниях температура замеряется термопарой ХА установленной на экране. Подаваемая мощность регулируется изменением силы тока на нагревателе тиристорным регулятором. Производительность подачи исходного сплава регулируется игольчатым питателем. Периодически отбирались пробы продуктов и исходного металла для анализа. Анализы проб выполнялись на атомно эмиссионном спектрометре с индуктивно связанной плазмой IRIS Interpid компании «Intertech Corp».

#### Результаты работы и обсуждение

Опыты на вакуумной печи представленные в табл 1 и Рис 2 показали, что через 50 мин в приемных бачках продукты дистилляции замещают предварительно залитый исходный металл и процесс переходит в стационарный режим. Температура экрана достигала 860°C, что соответствует температуре тарелей 1360°C. Расход электроэнергии 0,4 квтч на кг загрузки; Выход конденсата составил-17,1%. Из металла с содержанием сурьмы 4,56% Рb получено олово с содержанием 0,01% Bi, 0,26% Рb. Статистическая обработка подобных опытов показала, что увеличением удельного расхода электроэнергии повышается выход конденсата.

Таблица 1 – Кинетика дистилляции свинцово оловянных сплавов

мин	Состав олова %				Состав конденсата, %				
	вес,кг	Pb	Bi	Sb	вес,кг	Sn	Pb	Bi	Sb
0			0,27	0,37		94,7	4,6	0,3	0,4
15	42,3	2,3	0,1	0,25	7,4	89,1	9,4	0,6	0,6
20	14,1	1,8	0,06	0,23	2,5	87,5	10,9	0,8	0,7
60	111	0,9	0,01	0,16	21,6	79,9	17,5	1,2	1,1
75	40,8	0,5	0,01	0,13	8,8	77,7	19,4	1,3	1,2
105	81,6	0,3	0,01	0,1	17,7	75,2	21,6	1,3	1,4
165	163	0,3	0,01	0,09	35,4	73,2	23,3	1,4	1,6

Резкое повышение выхода конденсата происходит при превышении расхода более 22 квтч\кг загрузки.

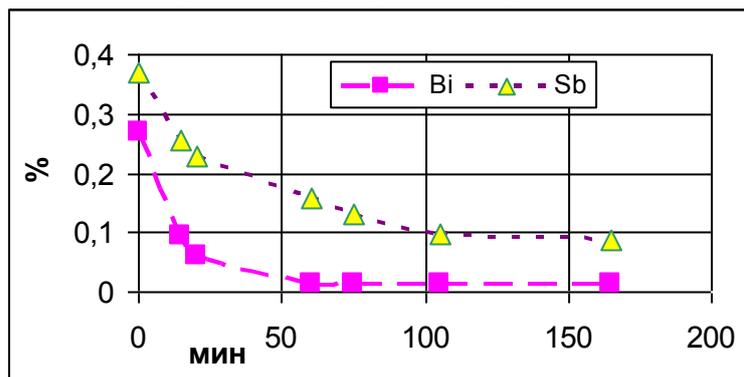


Рис. 2 – Кинетика изменения содержания примесей в олове

Подобный аппарат по контракту поставлен итальянской фирме (Рис 3).

Производительность аппарата по загрузке 60-200 кг\час вполне обеспечивает переработку отходов сплава при небольшом их объеме.

**Выводы:** С целью выделения висмута из свинцово-оловянных сплавов разработан компактный аппарат непрерывной вакуумной дистилляции свинцово-оловянных сплавов производительностью 60-200 кг\час. Показана эффективность выделения свинцово висмутового конденсата от промежуточного продукта обогащенного оловом с сурьмой.



Рис. 3 – Фото вакуумного аппарата при монтаже в фирме Италии

#### Литература

1. Арзамасцев Ю.С., Дьяков В.Е., Семенов А.Е., Сутурин С.Н.-Новые процессы рафинирования олова, ЦНИИЦветметэкономика, 1980, вып 5, стр38
2. Dyakov V., Oputin V, Dugelny A., Vacuum device to refine tin, 44-th World exhibition of invention, research and industrial innovation, Eureka-95, Brussels, 1995, 196.
3. Лебедев И.С., Дьяков В.Е., Терехенин А.Н., Комплексная металлургия олова, Новосибирск, Сов писатель, 2004, 548с.
4. Пат России №2088681 -Дьяков В.Е., Рубан А.А. – Вакуумный аппарат рафинирования оловянных сплавов, опуб 10.06.97, Би №24-1997, стр341
5. Дьяков В.Е.- Опыт освоения производства Вн электролизом в расплаве солей // Комплексное использование минерального сырья, Алма Ата, 2012, №1, с1-7/

#### References

1. Arzamascev Ju.S., Dyakov V.E., Semenov A.E., Suturin S.N.-Novye processy rafinirovaniya olova, CNIICvetmetjekonomika, 1980, vyp 5, str38
2. Diakov V.. Oputin V, Dugelny A., Vacuum device to refine tin, 44-th World exhibition of invention, research and industrial innovation, Eureka-95, Brussels, 1995, 196.
3. Lebedev I.S., Dyakov V.E., Terchenin A.N., Kompleksnaja metallurgija olova, Novosibirsk, Sov pisatel' , 2004, 548s.
4. Pat Rossii №2088681 Dyakov V.E., Ruban A.A. – Vakuumnij apparat rafinirovaniya olovjannyh splavov, opub 10.06.97, Bi №24-1997, str341
5. Dyakov V.E.- Opyt osvoenia proizvodstva Vn elektrolizom v rasplave solej // Kompleksnoe ispol'zovanie mineral'nogo syr'ja, Alma Ata, 2012, №1, s1-7

DOI: 10.18454/IRJ.2016.45.185

Кавин Б.В.<sup>1</sup>, Фомин В.В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Аспирант кафедры информационных систем и программного обеспечения, ФГБОУ ВПО «Российский государственный педагогический университет им.А.И. Герцена», Санкт-Петербург,

<sup>2</sup>Доктор технических наук, профессор кафедры информационных систем и программного обеспечения, ФГБОУ ВПО «Российский государственный педагогический университет им.А.И. Герцена», Санкт-Петербург

### АВТОМАТИЗАЦИЯ ПОИСКА ОШИБОК В СИСТЕМАХ ДИСПЕТЧЕРСКОГО КОНТРОЛЯ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ

*Аннотация*

*Рассматривается структура, специфика и особенности организации и эксплуатации автоматизированного диспетчерского контроля железных дорог России. Раскрываются проблемы человеческого фактора и обработки информации из-за недостоверности данных. Предлагаются решения по обнаружению ошибок в накопленных банках данных на базе детерминированных алгоритмов. Определяются пути применения методов интеллектуального анализа.*

**Ключевые слова:** мониторинг, диспетчерский контроль, программное обеспечение, интеллектуальный анализ данных.

Kavin B.V.<sup>1</sup>, Fomin V.V.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Postgraduate student of the chair of information systems and software, Herzen State Pedagogical University of Russia, Saint Petersburg

<sup>2</sup>PhD in Engineering, professor, Professor of the chair of information systems and software, Herzen State Pedagogical University of Russia, Saint Petersburg

### AUTOMATION OF FINDING BUGS IN THE SYSTEMS OF SUPERVISORY CONTROL OF RAILWAYS

*Abstract*

*We consider the structure, specificity and characteristics of the organization and operation of the automated dispatch control of Russian railways. Reveals the problems of the human factor and processing of unreliable data. We offer solutions for the detection of errors in the accumulated data banks on the basis of deterministic algorithms. Defined ways of using mining techniques.*

**Keywords:** monitoring, supervisory control, software, data mining.

Для мониторинга состояния устройств железнодорожной автоматики и телемеханики на железных дорогах России используются аппаратно-программные комплексы диспетчерского контроля КДК (системы мониторинга), состоящие из трёх уровней:

1. Считывание, оцифровка, первичная обработка информации и передача данных с технических устройств с использованием контроллеров (нижний уровень).
2. Сбор, хранение, архивация данных, формирование информационного фонда, управление банками данных (средний уровень).
3. Экспертно-аналитическая поддержка мониторинга, в том числе анализ, документирование, визуализация и индикация состояний технических устройств (верхний уровень).

Огромное количество объектов слежения, их разнообразие и особенность считывания информации, допускают значительное число «ручных» операций начального ввода данных, особенно по объектам, у которых не предусмотрены средства автоматического контроля. Базы данных формируются человеком и могут содержать неправильно введенные данные, в том числе ошибочной кодировки устройства и характеристики.

С отдельных территорий (станций) сформированная информация передаётся в пакетном режиме на центральный сервер (средний уровень) диспетчерского контроля. В центральной базе данных хранятся события об объектах, устройствах, неисправностях и формируется информационный фонд. Информационный фонд контроля постоянно накапливает входящую информацию и представляет собой большое хранилище разнородных данных.

Технологические процедуры КДК предусматривают инструмент настройки визуализации, отображения результатов мониторинга через различные виды индикаций (рисунок 1). Чтобы отследить неисправность устройства, инженер должен привязать к соответствующему событию объекта в базе данных необходимую индикацию в пульте. Так как количество объектов и возможных событий очень велико, одной из проблем является «ручная» привязка событий к объектам и индикациям. Инженер может не привязать нужное событие к индикации, привязать не к тому объекту, привязать не к той индикации.

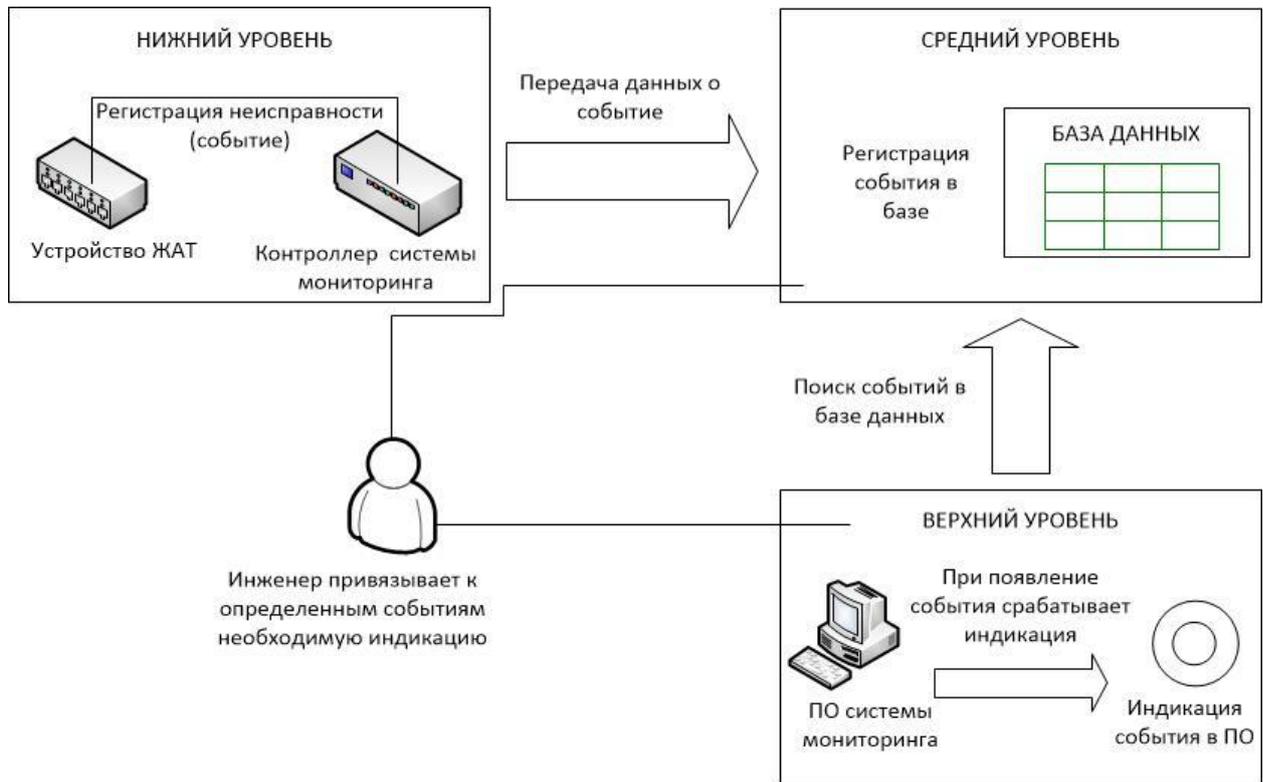


Рис. 1 – Схема привязок

Реалии автоматизации мониторинга состояния устройств, поставили на первый план решение проблемы поиска, локализация и исправление ошибок привязки и индикации в накопленных данных.

Для решения проблемы была разработана программа (рисунок 2), которая сканирует базу данных на среднем уровне и выявляет возможные ошибки на основании шаблонов и правил, формируемых аналитиком. На вход в программу подаются база данных и правила поиска ошибок, описанные в виде кода на языке C#. Результатом работы программы являются таблицы с информацией о кол-ве ошибок и детализацией каждой ошибки.

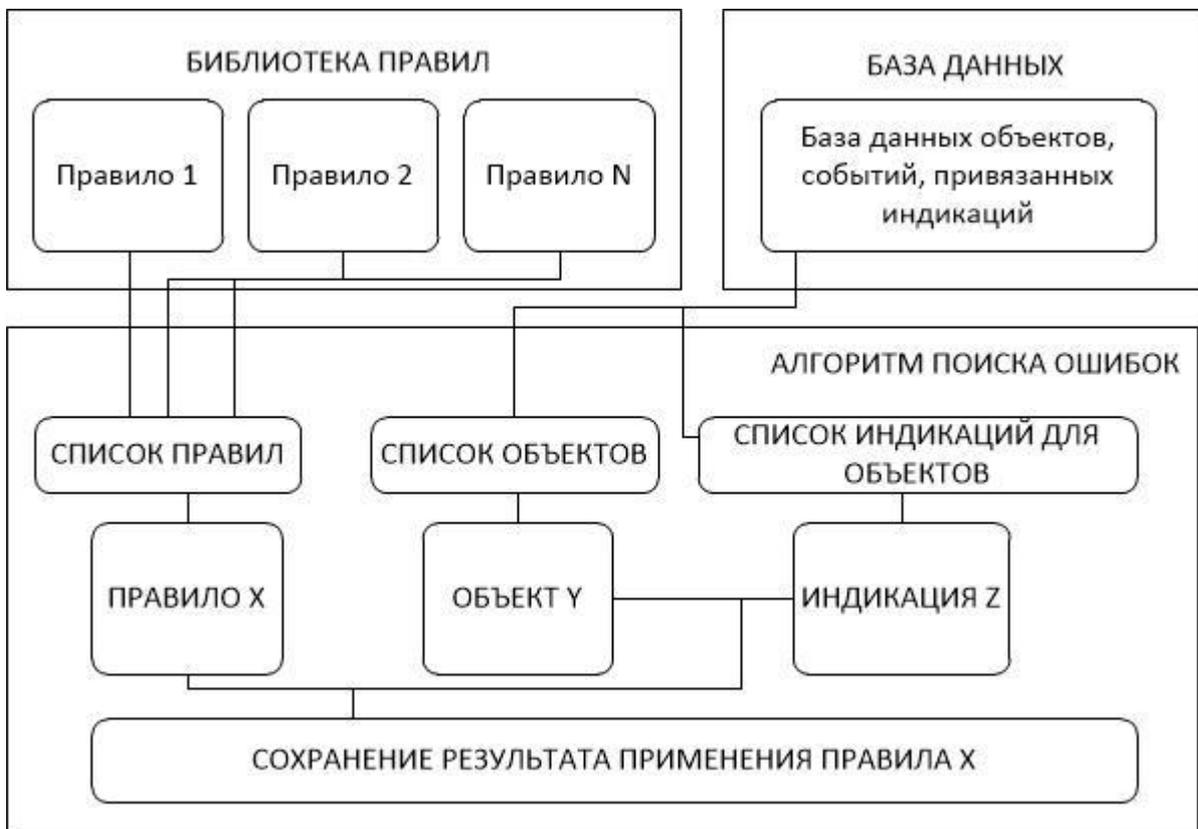


Рис. 2 – Схема работы алгоритма поиска ошибок



Таблица 1 – Результаты запуска алгоритма для 5 правил.

Кол-во станций	6996	4010	2110	800	400
Кол-во объектов	9094800	5213000	2743000	1040000	520000
Кол-во привязок	63663600	36491000	19201000	7280000	3640000
Кол-во вероятных ошибок	3265	1265	982	300	112
Процент правильно найденных ошибок	15	20	20	40	45

Полученные результаты выявили следующие проблемы:

1. Процент правильно найденных ошибок увеличивается с уменьшением кол-ва сканируемых станций (область действия алгоритма). Проблема связана с тем, что к разным группам станций нужно писать разные правила и чем меньше групп мы сканируем, тем больше процент корректности результатов.

2. Кол-во найденных ошибок слишком мало и на практике мы смогли покрыть только 5-10% от общего числа содержащихся ошибок.

Исследование причин неточности алгоритма говорит о том, что «вручную» написанные правила поиска ошибок не дают необходимой эффективности.

Существует два варианта решения этой проблемы:

1. Постоянное пополнение, изменение и расширение библиотеки правил, что является трудоемкой работой и опять с учётом ненадёжного человеческого фактора.

2. Применение методов интеллектуального анализа данных для автоматического построения библиотеки правил [4].

Применение методов интеллектуального анализа данных [1,5] обусловлено практикой эффективного применения методов кластеризации и классификации в разнородных, слабоструктурированных данных в различных областях человеческой деятельности [3]. Высокий потенциал алгоритмов интеллектуального анализа раскрывается при обработке больших объёмов информации с применением технологий big-data и internet [2].

Для поиска ошибок в базе данных все объекты необходимо разделить на группы согласно основным признакам (тип, имя, расположение объекта и т.д.), т.е. классифицировать. Для каждого класса объектов найти наиболее часто встречающийся набор характеристик и принять эту последовательность за шаблон класса.

В качестве основных признаков объекта выделим следующие характеристики:

– Имя – текстовое значение, кратко описывающее объект. Может быть любым, но обычно, в рамках класса, соответствует некоторому регулярному выражению.

– Тип объекта – числовое значение, соответствующее одному из заданных устройств.

– Расположение объекта - числовое значение, соответствующее одному из возможных расположений объекта.

– Неисправности – числовое значение неисправности объекта. Каждый объект может иметь любое кол-во неисправностей.

– Индикация неисправностей - числовое значение, соответствующее коду индикации для неисправности, определяет отображение заданной неисправности объекта на пульте диспетчера. Каждая неисправность имеет свою индикацию.

– Шаблон класса. У объекта каждого класса должны быть одни и те же неисправности и индикации неисправностей, т.е. определённый набор характеристик. Наиболее часто встречающийся набор таких характеристик (например, у 90% объектов класса) определяется шаблоном объекта.

Задачей алгоритма интеллектуального анализа является поиск вероятных ошибок в базе объектов, с максимальным значением правильных предположений.

#### Литература

1. Дюк В.А., Фомин В.В. Интеллектуальный анализ данных в гуманитарных областях // Программные продукты и системы. 2008. № 3. С. 60-62.

2. Сикулер Д.В., Фомин В.В. Концепция internet-системы интеллектуальной обработки данных. В сборнике: Некоторые актуальные проблемы современной математики и математического образования материалы LXIV научной конференции. СПб.: БАН, 2011. С. 206-209.

3. Фомин В.В., Миклуш В.А. Интеллектуальные информационные системы. Санкт-Петербург, 2013. 150 с.

4. Фомина И.К. Решение проблем, связанных со сложной системотехнической структурой предметных областей при интеллектуальном анализе данных // Журнал университета водных коммуникаций. 2009. № 2. С. 180-184.

5. Флегонтов А.В., Дюк В.А., Фомина И.К. Мягкие знания и нечеткая системология гуманитарных областей // Программные продукты и системы. 2008. № 3. С. 97-102

#### References

1. Djuk V.A., Fomin V.V. Intellektual'nyj analiz dannyh v gumanitarnyh oblastjah // Programmnye produkty i sistemy. 2008. № 3. S. 60-62.

2. Sikuler D.V., Fomin V.V. Konceptija internet-sistemy intellektual'noj obrabotki dannyh. V sbornike: Nekotorye aktual'nye problemy sovremennoj matematiki i matematicheskogo obrazovanija materialy LXIV nauchnoj konferencii. SPb.: BAN, 2011. S. 206-209.

3. Fomin V.V., Miklush V.A. Intellektual'nye informacionnye sistemy. Sankt-Peterburg, 2013. 150 s.

4. Fomina I.K. Reshenie problem, svjazannyh so slozhnoj sistemotekhnicheskoi strukturoj predmetnyh oblastej pri intellektual'nom analize dannyh // Zhurnal universiteta vodnyh kommunikacij. 2009. № 2. S. 180-184.

5. Flegontov A.V., Djuk V.A., Fomina I.K. Mjagkie znanija i nechetkaja sistemologija gumanitarnyh oblastej // Programmnye produkty i sistemy. 2008. № 3. S. 97-102

DOI: 10.18454/IRJ.2016.45.008

Кацуба Ю.Н.<sup>1</sup>, Григорьева Л.В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Кандидат технических наук, доцент, Национальный Минерально-сырьевой университет «Горный»,

<sup>2</sup>кандидат химических наук, доцент, Национальный Минерально-сырьевой университет «Горный»

## ПРИМЕНЕНИЕ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ИЗДЕЛИЙ

*Аннотация*

*В статье рассмотрены подходы применения метода искусственных нейронных сетей к решению задач прогнозирования технического состояния изделий.*

**Ключевые слова:** изделия, диагностирование, прогнозирование, искусственные нейронные сети.

Katsuba Y.N.<sup>1</sup>, Grigorieva L.V.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>PhD in Engineering, associate professor, National Mineral resources University "Mining",

<sup>2</sup>PhD in Chemistring, associate professor, National Mineral resources University "Mining"

## APPLICATION OF ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS FOR PREDICTING STATE OF ENGINEERING

*Abstract*

*The article describes the approaches of the method of artificial neural networks to address the state of engineering problems of forecasting.*

**Keywords:** products, diagnostics, forecasting, artificial neural networks.

В технической диагностике обычно говорят о прогнозировании состояния объекта диагностирования (ОД), которое основывается на данных об изменениях, происходящих в объекте с течением времени под влиянием внешних воздействий и внутренних необратимых процессов изнашивания и физико-химических превращений.

Физическая картина изменения состояния объектов диагностирования является научной основой, объясняющей происхождение количественных изменений в объекте и возможный переход в другое качественное состояние, неисправное или неработоспособное.

В основе прогнозирования времени безотказной работы ОД лежит модель выработки ресурса при различных режимах эксплуатации, вид которой в основном определяется характером интенсивности эксплуатации.

С момента изготовления изделия степень его работоспособности постепенно ухудшается, причем скорость изменения работоспособности у электронных и механических объектов разная. Причинами возникновения отказов изделий в большинстве случаев являются: изнашивание поверхностей, деформация и механические разрушения материалов, нарушение электрической прочности (пробой), тепловое разрушение элементов (перегорание, расплавление).

В процессе диагностирования объекта, решается и задача прогнозирования технического состояния изделия.

Выполнить достоверное прогнозирование возможно только в том случае, когда известны условия, в которых ОД будет применяться. При этом под условиями понимаются: режимы использования, характер нагрузки, внешние факторы, действующие на объект диагностирования.

Таким образом, чем больше протекающих физико-химических процессов, являющихся причинами появления отказов изделия, тем сложнее характер изменения работоспособности, и тем труднее осуществить точное прогнозирование состояния объекта диагностирования.

При решении задачи прогнозирования технического состояния изделия во времени, имеем дело со случайными процессами, представляющие изменения случайной величины при изменении неслучайного параметра. Случайными величинами являются значения диагностических признаков, а неслучайным параметром будет время или пробег с начала эксплуатации изделия.

При этом изменение параметров, случайных для одного изделия, имеют устойчивый статистический характер для группы объектов.

Причем явно выражена тенденция к монотонности и плавности, что является одной из решающих предпосылок для прогнозирования.

Прогнозирование возможно, если в случайном процессе, характеризующем изменение параметра, возможно установить определенную закономерность, определяющую износ или старение.

При прогнозировании в большинстве случаев измерить время безотказной работы нельзя, поэтому важно определить диагностический параметр, т.е. такую величину, которая адекватно отражает выработку ресурса ОД или появление дефекта, приводящего к потере работоспособности изделия.

Предлагается экспертная система прогнозирования технического состояния изделия на основе математического аппарата искусственных нейронных сетей (ИНС).

Гибридные искусственные нейронные сети представляют собой объединение различного рода нейронных сетей и концепций их обучения. Они предназначены для решения различного рода задач, таких как распознавание образов, прогнозирование, аппроксимация функций и т. д.

Задача прогнозирования технического состояния изделия на основе математического аппарата искусственных нейронных сетей формализуется через задачу распознавания образов. Данных о прогнозируемой переменной за некоторый промежуток времени, которые образуют образ, класс которого определяется значением прогнозируемой переменной в некоторый момент времени за пределами данного промежутка, т.е. значением переменной через интервал прогнозирования.

Метод предполагает использование двух временных интервалов (окон)  $W_i$  и  $W_o$ , с фиксированными размерами  $X$  и  $Y$  соответственно. Эти окна, способны перемещаться с некоторым шагом, начиная с первого элемента, и предназначены

для доступа к базе данных значений параметров полученных при диагностировании изделия, причем первое окно  $W_i$ , получив такие данные, передает их на вход ИНС, а второе -  $W_o$  - на выход. Получающаяся на каждом шаге пара

$$W_i \rightarrow W_o \quad (1)$$

используется как элемент обучающей выборки (расознаваемый образ, или наблюдение).

Каждый следующий вектор получается в результате сдвига окон  $W_i$  и  $W_o$  на установленный интервал (времени работы или пробега изделия).

Предполагается наличие скрытых зависимостей полученных при диагностировании значений параметров, составляющих базу данных, как множестве наблюдений.

Нейронная сеть, обучаясь на этих наблюдениях и соответственно настраивая свои коэффициенты, пытается извлечь закономерности и сформировать в результате требуемую функцию прогноза.

Для конструирования процесса обучения, прежде всего, необходимо иметь модель внешней среды, в которой функционирует нейронная сеть, т.е. знать доступную для сети информацию. Эта модель определяет парадигму обучения. Во-вторых, необходимо понять, как (по какому алгоритму) модифицировать весовые параметры сети, т.е. какие правила обучения управляют процессом настройки. Алгоритм обучения означает процедуру, в которой используются правила обучения для настройки весов. Эффективность обучения многослойных нейронных сетей зависит от числа слоев, числа элементов в скрытых слоях нейронной сети и начальной инициализации весовых коэффициентов. Разная инициализация весовых коэффициентов нейронной сети может приводить к различным решениям задачи. Важную роль здесь играет размер случайно инициализируемых синаптических связей. Рекомендуется [7] случайно выбирать значения весовых коэффициентов, которые имеют следующий порядок:

$$W_i \approx \frac{1}{\sqrt{n(i)}} \quad (2)$$

где  $n(i)$  - число нейронных элементов в слое  $i$ .

Большую роль для эффективности обучения играет архитектура нейронной сети. Размерность входного и выходного слоев нейронной сети определяется из условия решаемой задачи или обучающей выборки.

Как было доказано в работе [8], при помощи трехслойной нейронной сети можно аппроксимировать любую функцию со сколь угодно заданной точностью. При этом точность аппроксимации зависит от числа нейронов в скрытом слое. Чем больше число нейронных элементов в скрытом слое, тем больше точность.

Контроль технического состояния изделия в процессе диагностирования производится с помощью нейронных предикторов. Нейронный предиктор (рис. 1) это математическая модель на базе искусственной нейронной сети, которая осуществляет предсказание выходного вектора состояния изделия по его предыстории на один шаг вперед. Для использования нейронного предиктора его необходимо обучить на данных, полученных при диагностировании исправного изделия при его работе в различных динамических режимах. При обучении нейронная сеть аппроксимирует функциональную зависимость между входными сигналами  $X$  и выходными  $Y$ .

В качестве примера [6], для входных сигналов выступают напряжения на обмотках, угловая скорость и момент сопротивления, полученные в ИНС от датчиков, и дополнительно те же сигналы, задержанные на некоторое время. Выходным сигналом является предсказанный на один шаг электрический ток в обмотке.

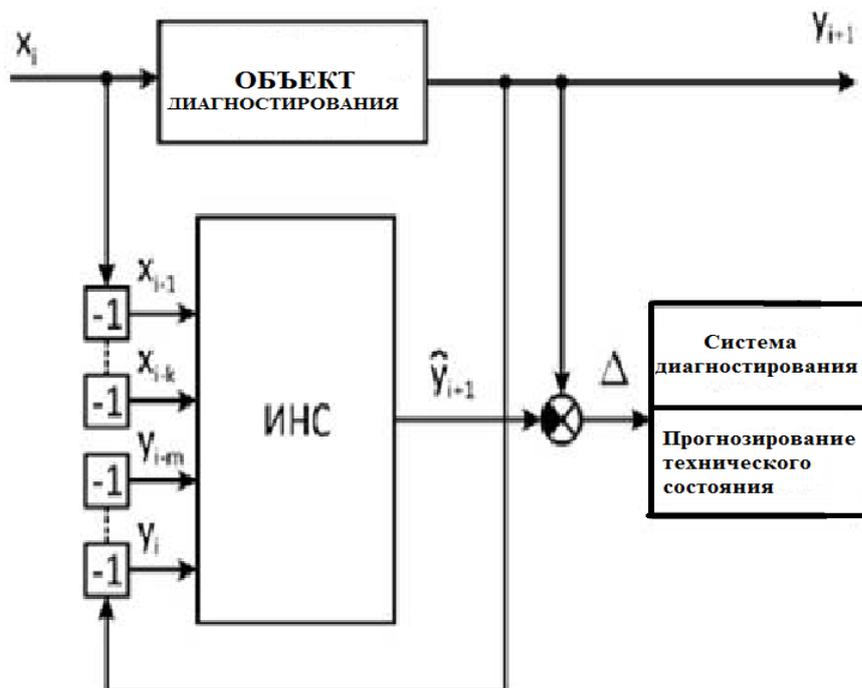


Рис. 1 – Блок-схема нейронного предиктора

После обучения нейронный предиктор подключается к объекту диагностирования. Точность предсказания предиктора зависит от времени обучения, объема и качества обучающей выборки.

При исправном объекте диагностирования (электродвигателе) выходной сигнал предиктора практически совпадает с реально измеренным током, а в случае возникновения неисправности возникает рассогласование  $\Delta$ . По

величине и знаку рассогласования, а также скорости изменения величины рассогласования можно производить диагностику технического состояния изделия.

Прогнозирование состояния ОД осуществляется по тому же принципу, что и формирование обучающей выборки. При этом выделяется две возможности: одношаговое и многошаговое прогнозирование. Одношаговое прогнозирование используется для краткосрочных прогнозов. Данный прогноз осуществляется только на требуемый временной интервал (пробег), для этого используется (учитывается) реальное техническое состояние ОД, а не прогнозируемое значение, для осуществления прогноза на следующем шаге.

Многошаговое прогнозирование используется для осуществления долгосрочного прогноза и предназначено для определения основной закономерности изменения технического состояния изделия, для некоторого промежутка времени в будущем.

При этом прогнозирующая система использует полученные (выходные) данные для установленных временных интервалов (пробегов).

Предположим, система обучилась распознавать техническое состояние изделия на определенном временном интервале (пробеге). Затем система спрогнозировала техническое состояние изделия (ОД) на следующем интересующем исследователя временном интервале, когда на ее вход был подан последний из известных ей образов. После этого система осуществляет дальнейшее прогнозирование и на вход подается следующий полученный системой образ. Последний элемент этого образа на заданном временном интервале работы (пробеге) изделия является прогнозом системы.

Предложенный метод прогнозирования технического состояния изделия на основе математического аппарата искусственных нейронных сетей позволяет получить быстродействие за счет распараллеливания потоков обработки диагностической информации и повышение достоверности прогноза.

#### Литература

1. Anil K., Jain, Jianchang Mao, K.M. Mohiuddin. Artificial Neural Networks: A Tutorial, IEEE Computer, Vol.29, No.3, March/1996, pp. 31-44.
2. Беляков, В.В., Бушуева, М.Е., Сагунов, В.И. Многокритериальная оптимизация в задачах оценки подвижности, конкурентоспособности автотракторной техники и диагностики сложных технических систем / В.В. Беляков, М.Е. Бушуева, В.И. Сагунов. Н. Новгород: НГТУ, 2001, 271 с.
3. Викторова, Е.В. Применение нечетких нейронных сетей для технической диагностики дорожных машин / Е.В. Викторова // Вестник ХНАДУ, - 2012, - вып. 56. - С. 98-102.
4. Семькина, И.Ю. Испытательный комплекс для оценки режимов работы электроприводов горных машин / И.Ю. Семькина, А.В. Киселев, Р.А. Кольцов // Журнал научных публикаций аспирантов и докторантов. - 2012. - № 9(75). - С. 82-87.
5. Хаханов, В.И., Щерба, О.В. Применение искусственных нейронных сетей для диагностирования цифровых сетей / В.И. Хаханов, О.В. Щерба // Радиоэлектронные и компьютерные системы. - 2010. - № 5 (46), - С. 15-20.
6. Кацуба, Ю.Н., Власова, И.В. Применение искусственных нейронных сетей для диагностирования изделий / Ю.Н. Кацуба, И.В. Власова // Международный научно-исследовательский журнал. - 2015. - № 3 (34), часть 1. - С. 68-70.
7. Галушкин, А.И. «Формирование начальных условий для ускорения настройки коэффициентов нейронных сетей в задачах оптимизации». Научная сессия МИФИ - 2006. VIII Всероссийская научно-техническая конференция «Нейроинформатика-2006» Сборник научных трудов. В 3-х частях. Ч.2. М.: МИФИ, 2006. с. 87-94.
8. Ludermir, T.B., Yamazaki, A., Zanchettin, C. «An Optimization Methodology for Neural Network Weights and Architectures». IEEE Transactions on Neural Networks, vol. 17, no. 6, November 2006, pp. 1452-1459.

#### References

1. Anil, K., Jain, Jianchang, Mao, Mohiuddin, K. M. Artificial Neural Networks: A Tutorial, IEEE Computer, Vol.29, No.3, March/1996, pp. 31-44.
2. Belyakov centuries, Bushuyeva M. E., Sapunov Century. And. multi-objective optimization tasks assess the mobility and competitiveness of automotive engineering and diagnostics of complex technical systems / in. A. Belyakov, M. E. Bushuev, V. I. Sapunov. N. Novgorod: Nizhny Novgorod state technical University, 2001, p. 271.
3. Viktorova, E. C. Application of fuzzy neural networks for technical diagnostics of road machinery / E. C. Viktorova // Vestnik hndu, - 2012, - vol. 56. - pp. 98-102.
4. Semykina, I. Y. and Test facility for the evaluation of modes of electric mining machines / I. Y. Semykina, A. C. Kiselev, R. A. Koltsov // Journal of scientific publications of graduate students and doctoral candidates. - 2012. - № 9(75). - pp. 82-87.
5. Hahanov, C. I., szcerba, O. C. Application of artificial neural networks for diagnosis of digital networks / C. I. Hahanov, O. C. szcerba // Radioelectronic and computer systems. - 2010. - № 5 (46), - pp. 15-20.
6. Katsuba, Y. N., Vlasova, I. V. Application of artificial neural networks for diagnostic products / J. N. Katsuba, I.V. Vlasova // International research journal. - 2015. - № 3 (34), part 1. - pp. 68-70.
7. Galushkin, A. I. «The Formation of initial conditions for acceleration of setting of the coefficients of neural networks in optimization problems». Scientific session MEPhI - 2006. VIII all-Russian scientific-technical conference Neuroinformatics-2006» Collection of scientific works. In 3 parts. Part 2. Moscow, MEPhI, 2006. pp. 87-94.
8. Ludermir, T.B., Yamazaki, A., Zanchettin, C. «An Optimization Methodology for Neural Network Weights and Architectures». IEEE Transactions on Neural Networks, vol. 17, no. 6, November 2006, pp. 1452-1459.

DOI: 10.18454/IRJ.2016.45.110

Козлов С.Г.<sup>1</sup>, Тихонов В.А.<sup>2</sup>, Куликов М.А.<sup>3</sup><sup>1</sup>Кандидат технических наук, <sup>2</sup>старший преподаватель, <sup>3</sup> ORCID: 0000-0001-8944-9522, кандидат химических наук, Березниковский филиал Пермского национального исследовательского политехнического университета**ИЗВЛЕЧЕНИЕ МЕДИ ИЗ ОТХОДОВ ТИТАНОВОГО ПРОИЗВОДСТВА***Аннотация*

Рассмотрен вопрос электрохимического извлечения меди из отходов, образовавшихся в результате очистки тетрахлорида титана. Представлена зависимость скорости растворения медного кека в соляной кислоте от размеров частиц. Исследован процесс электролиза полученного раствора двухвалентного хлорида меди. Проведена статистическая обработка результатов эксперимента.

**Ключевые слова:** производство титана, медьсодержащие отходы, электролизKozlov S.G.<sup>1</sup>, Tikhonov V.A.<sup>2</sup>, Kulikov M.A.<sup>3</sup><sup>1</sup> PhD in Engineering, <sup>2</sup> Senior Lecturer, <sup>3</sup> ORCID: 0000-0001-8944-9522, PhD in Chemistry, State National Research Politechnical University of Perm, Berezniki branch**COPPER RECOVERY FROM WASTE TITANIUM PRODUCTION***Abstract*

The question of the electrowinning of copper from waste generated during the treatment of titanium tetrachloride. The dependence of the copper dissolution rate in hydrochloric acid cake on the particle size. Studied the process of electrolysis of the resulting solution of divalent copper chloride. Statistical analysis of experimental results.

**Keywords:** production of titanium, copper-containing waste, electrolysis

Титан в современном мире играет важную роль, выступая в качестве ценного конструкционного материала, легирующей добавки, широко используется и в других областях техники [1–5]. Технология производства титана очень сложна и энергозатратна, что в значительной степени сказывается на стоимости металла. Ведь именно стоимость является тем фактором, который сдерживает применение титана в народном хозяйстве. Также не следует пренебрегать и экологическими проблемами. В процессе получения титана образуются различные виды отходов, которые требуют утилизации. При этом возможно выделение ценных компонентов и возврат их в производственный цикл, либо выпуск как самостоятельных продуктов. Одним из таких отходов является медный кек, образующийся на стадии очистки тетрахлорида титана [6].

Технология очистки тетрахлорида титана от соединений ванадия при помощи медного порошка получила наибольшее распространение благодаря своей универсальности. Основной ее недостаток – высокая стоимость, обусловленная использованием дорогого и дефицитного материала. Поэтому поиск путей выделения меди из образующихся отходов является весьма актуальным направлением совершенствования титанового производства.

Основные задачи данной работы сводятся к исследованию процессов растворения медного кека в соляной кислоте и электролиза полученного раствора двухвалентного хлорида меди. Для выбора условий электролиза проведен анализ литературных источников.

В работе [7] рассматривается способ выделения меди из серноокислотных растворов. Электролиз предложено проводить при катодной плотности тока 86-258 А/м<sup>2</sup> и температуре 50-65°С. Для улучшения качества катодного осадка содержание меди в растворе не должно превышать 40 г/дм<sup>3</sup>. Другие авторы [8] предлагают проводить электролиз в аммиачной среде на виброэлектродах, поддерживая плотность тока 0,2-0,5 А/см<sup>2</sup>.

Авторами [9] проведены исследования электрохимической переработки солевого плава после очистки тетрахлорида титана. Плавы растворяют в соляной кислоте, в результате чего хлорид меди (I) переходит в раствор в виде комплексных ионов [CuCl<sub>2</sub>]<sup>-</sup>. При этом указывается на частичное окисление одновалентного хлорида меди в двухвалентный. К сожалению, авторы не приводят данные по скорости растворения, что не позволяет достоверно судить о том, ионы меди какой валентности присутствуют в растворе.

Таким образом, представляет несомненный интерес исследование процесса растворения медного кека после очистки тетрахлорида титана с последующим электрохимическим выделением металлической меди.

В качестве объекта исследования использован медный кек – отход очистки тетрахлорида титана, следующего состава: Cu – 40,0 %, Ti – 4,7 %, Al – 1,5 %, V – 1,25 %, Fe – 0,16 %, Cl – 40,5 %, остальное – примеси.

Растворение медьсодержащих отходов осуществляли в 17,5 % соляной кислоте марки «х.ч.» при температуре 25°С, использовано механическое перемешивание со скоростью вращения мешалки 200 мин<sup>-1</sup>. Время растворения 3 часа, соотношение жидкой и твердой фаз 2:3. Для отделения нерастворившегося остатка применялась вакуум-фильтровальная установка. Анализ полученных растворов на содержание меди проводили йодометрическим и комплексонометрическим титрованием.

Далее растворы подвергались электролизу в стеклянном электролизере с графитовыми электродами при плотности тока 4300 А/м<sup>2</sup>. Время электролиза 1 час, температура в ванне от 40 до 60°С. Объем электролизной ванны 250 см<sup>3</sup>, объем раствора для проведения электролиза составил 150 см<sup>3</sup> при содержании меди 82 г/дм<sup>3</sup>. Среднее напряжение на электродах от 4,62 до 8,14 В. Сила тока поддерживалась постоянной 2,66 А.

В качестве дополнительного оборудования использованы аналитические весы фирмы AND, сушильный шкаф марки SNOL.

Математическая обработка результатов проведена с помощью программного продукта Microsoft® Excel®.

На первом этапе исследования оценено влияние гранулометрического состава медного кека на время растворения. Результаты представлены на рисунке 1, который показывает, что продолжительность растворения напрямую зависит от размеров частиц твердой фазы при прочих равных условиях.

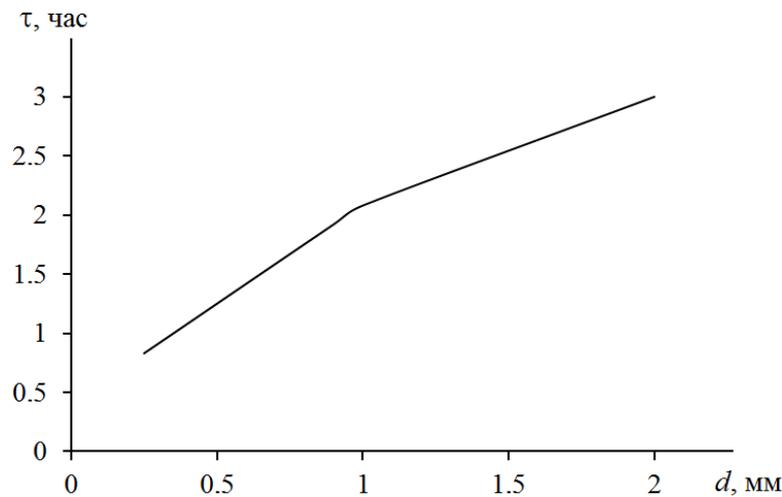


Рис. 1 – Зависимость времени растворения ( $\tau$ ) от размера частиц ( $d$ ) твердой фазы медного кека

На практике растворение проводили в течение трех часов. Это объясняется, во-первых, смешанным гранулометрическим составом отхода, а во-вторых, этого времени достаточно для полного окисления  $\text{CuCl}$  в  $\text{CuCl}_2$  кислородом воздуха, что подтверждено данными химического анализа. Среднее расхождение между результатами йодометрического и комплексонометрического титрования составило 5,8 %.

На втором этапе полученный после растворения и отделения нерастворившегося остатка раствор двухвалентного хлорида меди подвергли электролизу. В этой серии опытов варьировались такие параметры, как начальное ( $U_1$ ) и конечное ( $U_2$ ) напряжение на электродах, конечная температура раствора ( $t_2$ ) и длительность электролиза, результаты представлены в таблице 1 и на рисунке 2.

Данные таблицы 1 показывают, что наибольшее количество меди ( $m_2 = 1,193$  г) осаждается при начальном напряжении 6,8 В и продолжительности электролиза 1 час, выход по току при этом составляет 9,7 %.

Таблица 1 – Результаты эксперимента

№ п/п	$U_1$ , В	$U_2$ , В	$t_1$ , °С	$t_2$ , °С	$\tau$ , ч	$m_1$ , г	$m_2$ , г
1	5,3	4,2	25	41	1	12,3	0,649
2	5,4	4,1	25	45	2	12,3	0,706
3	5,5	4,4	25	45	3	12,3	0,327
4	5,3	4,1	25	41	3	12,3	0,958
5	6,8	4,5	25	45	1	12,3	1,193
6	6,6	4,7	25	44	2	12,3	0,585

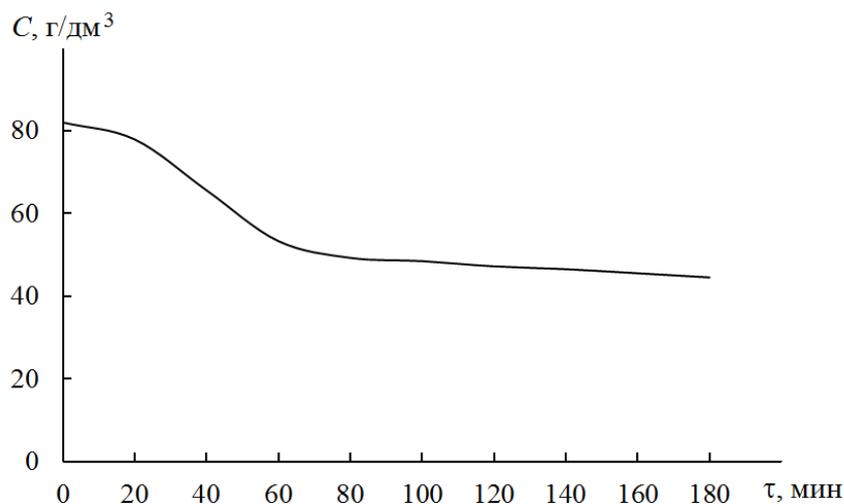


Рис. 2 – Зависимость остаточной концентрации меди в растворе от продолжительности электролиза

По нашему мнению, при этих параметрах создаются оптимальные условия для разрядки ионов двухвалентной меди из раствора, полученного растворением медного кека в соляной кислоте. Низкие значения выхода по току могут быть объяснены изменением ионного состава раствора, которое происходит в процессе электролиза.

Из рисунка 2 следует, что остаточная концентрация меди в электролизуемом растворе снижается в течение первого часа электролиза и далее изменяется незначительно. Также увеличение длительности электрохимического процесса нецелесообразно и по экономическим показателям, поскольку возрастает потребление электроэнергии. Поэтому в дальнейших исследованиях время электролиза ограничили одним часом.

Третий этап работы включает в себя математическую обработку полученных результатов. Создание математических моделей процессов и явлений позволяет оценить значимость исследуемых параметров и определить оптимальные условия ведения процесса [10]. Для составления статистической модели использованы усредненные результаты экспериментов, представленные в таблице 2, и проведены корреляционный и регрессионный анализы.

Таблица 2 – Исходные данные для составления статистической модели

№ п/п	$U_{cp}$ , В	$t_2$ , °С	$\eta$ , %
1	4,62	41	4,2
2	4,75	45	4,8
3	4,86	44	5,1
4	4,96	45	5,3
5	5,45	45	5,7
6	5,87	41	6,7
7	6,15	47	7,1
8	6,60	46	7,7
9	6,74	48	7,8
10	7,48	49	9,0
11	8,14	50	9,3

По результатам корреляционного анализа сделан вывод о явно выраженной положительной связи между выходом по току и конечной температурой электролита (коэффициент корреляции 0,98), а также между выходом по току и напряжением (коэффициент корреляции 0,76).

По результатам обработки экспериментальных данных (таблица 2) выполнен регрессионный анализ процесса электролиза хлорида меди. Задача регрессионного анализа в данном случае заключалась в получении математической модели процесса, проверке ее адекватности и значимости коэффициентов регрессии. Построены две модели – линейная и нелинейная.

Предварительный регрессионный анализ показал, что самым незначимым фактором в линейной модели является температура электролита. Исключение этого фактора и повторный регрессионный анализ подтвердили адекватность линейной модели. Значимость F-критерия при доверительной вероятности 0,95 составляет  $5,9 \times 10^{-9}$  и не превышает заданного порогового значения 0,05. Для линейной модели уравнение регрессии имеет вид (1):

$$\eta = -2,053 + 1,451U_{cp} \quad (1)$$

Аналогичный анализ был проведен и для нелинейной модели, показавший, что в качестве самого незначимого фактора в данной модели выступает квадрат напряжения. Исключив незначимый фактор и проведя повторный анализ, получили, что условие адекватности выполняется: значимость F-критерия ( $9,4 \times 10^{-8}$ ) меньше граничного условия (0,05). Для нелинейной модели уравнение регрессии имеет вид (2):

$$\eta = -5,017 + 2,1151U_{cp} - 0,00064(t_2)^2 \quad (2)$$

Таким образом, обе модели являются адекватными.

Таким образом, проведенные исследования показали потенциальную возможность выделения меди из отходов титанового производства и перспективность его использования. Дальнейшие исследования в этом направлении позволят, в конечном итоге, повысить эффективность производства. Кроме этого, подобрав оптимальные условия растворения медного кекса и переработки полученного раствора, можно выделить и другие ценные компоненты, содержащиеся в отходах.

### Литература

1. Парфенов О.Г., Пашков Г.Л. Проблемы современной металлургии титана. Новосибирск: СО РАН, 2008.
2. Сметкин А.А. Тенденции развития процессов получения титановых материалов методом порошковой металлургии // Вестник ПНИПУ. Машиностроение, материаловедение. 2013. Т. 15, № 3. С. 26.
3. K. Kothari, R. Radhakrishnan, N.M. Wereley Advances in gamma titanium aluminides and their manufacturing techniques // Progress in Aerospace Sciences. 2012. V. 55. P. 1.
4. Park M., Ha H., Kim W., Park J., Suh C., Woo S. Activation and gas sorption properties of nano-size titanium powder getters // Solid State Phenomena. 2007. V. 124-126 (2). P. 1281.
5. Fernandes B.B., De Moura Neto C., Ramos A.S., De Melo F.C.L., Henriques V.A.R. Study of Ti-7.5Si-22.5B alloys produced by powder metallurgy // Materials Research. 2014. V. 17 (3). P. 557.
6. Байбеков М.К., Попов В.Д., Чепрасов И.М. Производство четыреххлористого титана. М.: Металлургия, 1987.
7. Ануфриева Г.И., Грацерштейн Л.И., Левин А.М., Ануфриева С.И., Шульгина З.М., Лосев Ю.Н. Электрохимическое выделение меди из серноокислых водных растворов. Пат.2033481 РФ. 1995.
8. Рыбалко Е. А., Липкин М.С., Науменко А.А., Дорофеев Ю.Г., Липкин В.М. Способ получения медных порошков из медьсодержащих аммиачных отходов. Пат. 2469111 РФ. 2012.

9. Иваднев В.С., Бабин А.В., Лебедев В.А. Электрохимическая переработка солевого плава, полученного при очистке тетраоксида титана // *Материалы III Международной научно-практической конференции «Металлургия легких и тугоплавких металлов»*. Екатеринбург, 2014. С. 166.

10. Зиятдинов Н.Н. Компьютерное моделирование и оптимизация в химической технологии // *Теорет. основы хим. технологии*. 2014. Т. 48. № 5. С. 483.

#### References

1. Parfenov O.G., Pashkov G.L. *Problemy sovremennoj metallurgii titana*. Novosibirsk: SO RAN, 2008.
2. Smetkin A.A. *Tendencii razvitiya processov polucheniya titanovykh materialov metodom poroshkovoj metallurgii* // *Vestnik PNIPU. Mashinostroyeniye, materialovedeniye*. 2013. Т. 15, № 3. С. 26.
3. K. Kothari, R. Radhakrishnan, N.M. Wereley *Advances in gamma titanium aluminides and their manufacturing techniques* // *Progress in Aerospace Sciences*. 2012. V. 55. P. 1.
4. Park M., Ha H., Kim W., Park J., Suh C., Woo S. *Activation and gas sorption properties of nano-size titanium powder getters* // *Solid State Phenomena*. 2007. V. 124-126 (2). P. 1281.
5. Fernandes B.B., De Moura Neto C., Ramos A.S., De Melo F.C.L., Henriques V.A.R. *Study of Ti-7.5Si-22.5B alloys produced by powder metallurgy* // *Materials Research*. 2014. V. 17 (3). P. 557.
6. Bajbekov M.K., Popov V.D., Cheprasov I.M. *Proizvodstvo chetyrehkhlorigo titana*. M.: Metallurgiya, 1987.
7. Anufrieva G.I., Gracershtejn L.I., Levin A.M., Anufrieva S.I., Shulenina Z.M., Losev Ju.N. *Jelektrohimicheskoe vydeleniye medi iz sernokislykh vodnykh rastvorov*. Pat.2033481 RF. 1995.
8. Rybalko E. A., Lipkin M.S., Naumenko A.A., Dorofeev Ju.G., Lipkin V.M. *Sposob polucheniya mednykh poroshkov iz med'soderzhashhih ammiakatnykh othodov*. Pat. 2469111 RF. 2012.
9. Ivadnev V.S., Babin A.V., Lebedev V.A. *Jelektrohimicheskaja pererabotka solevogo plava, poluchennogo pri ochistke tetraoksidom titana* // *Materialy III Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii «Metallurgiya legkih i tugoplavki metallov»*. Ekaterinburg, 2014. С. 166.
10. Zijatdinov N.N. *Komp'yuternoe modelirovaniye i optimizatsiya v himicheskoy tehnologii* // *Teoret. osnovy him. tehnologii*. 2014. Т. 48. № 5. С. 483.

DOI: 10.18454/IRJ.2016.45.172

Манжурин И.П.<sup>1</sup>, Сидорина Е.А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Кандидат технических наук, <sup>2</sup>Магистр технических наук,  
Карагандинский государственный технический университет

#### ЗАВИСИМОСТЬ ДАВЛЕНИЯ НА ВАЛКИ ПРОФИЛЕГИБОЧНОГО СТАНА ОТ ЕГО НАСТРОЙКИ

*Аннотация*

*В статье приведены результаты дисперсионного анализа зависимости давления (усилия) на валки профилегибочного стана*

**Ключевые слова:** усилие, закон распределения, дисперсионный анализ, корреляционно-регрессионный анализ.

Manjurin I.P.<sup>1</sup>, Sidorina E.A.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Associate professor of Technical Sciences, <sup>2</sup>master's degree of Technical Sciences, Karaganda state technical university

#### PRESSURE ON THE ROLLS AS A FUNCTION OF THE ROLL FORMING MILL SETTING

*Abstract*

*In article are the results of dispersion analysis of variance depending on the pressure (force) on the rolls forming mill.*

**Keywords:** force, law of distribution, dispersion analysis, correlation- regressive analysis.

Усилия в клетях стана при зазоре между валками  $s$  равной толщине полосы  $t_0 (s = t_0)$  не велики. В качестве исходных параметров для прочностных расчетов они не могут быть приняты, т.к. степень возможных перегрузок профилегибочного стана весьма велика. Причиной таких перегрузок является изменение зазора между валками. Это связано с тем, что иногда случайно, чаще всего преднамеренно, при невыполнении геометрии профиля, изменяют поджатие валков, при этом зазор практически не контролируется, а усилия перегрузок могут в несколько раз превышать усилия нормального процесса. Усилие на валки при профилировании зависит от многих параметров процесса, основными из которых являются: толщина полосы  $t_0$ , ширина полосы  $B$ , угол подгибки  $\alpha^\circ$ , относительный радиус изгиба  $r/t_0$ , настройка стана  $s/t_0$ , упрочнение металла в процессе деформирования и др. В [1] приведены результаты закона распределения экспериментальных данных усилия на валки профилегибочного стана. Большая асимметричность распределения свидетельствует, что среди факторов (параметров), оказывающих влияние на величину усилия, есть доминирующий фактор. Таким фактором является настройка стана, т.е.  $s/t_0$ . Влияние настройки стана на величину усилия можно оценить дисперсионным анализом. С этой целью было измерено усилие на валки при профилировании уголка 32x32x1,6 по маршруту  $\alpha^\circ=0^\circ-36^\circ$  из стали 12ХГС при различной настройке стана, т.е.  $s/t_0=var$ , причем при каждом значении  $s/t_0$  проводилось по три измерения. Результаты измерений приведены в табл.1.

Таблица 1 – Результаты измерений

$i \div k$ $j \div n$	$S/t_0$					
	1,2	1,1	1,0	0,9	0,8	0,7
1	6,2	6,62	7,49	12,24	22,03	32,86
2	5,8	6,10	8,20	11,03	20,23	29,60
3	5,7	6,30	7,00	13,01	23,13	30,00
Итоги, $X_i$	17,7	19,02	22,69	36,28	65,39	92,46

Если на уровне  $i$  было проведено  $n_i$  параллельных измерений и

$$n = \sum_{i=1}^n n_i$$

есть общее число всех измерений, то анализ выполняется в следующем порядке:

а) находится сумма квадратов всех измерений:  $X_i$

$$Q_1 = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} x_{ij}^2;$$

б) находится сумма квадратов итогов по столбцам, деленных на число измерений в соответствующем столбце,

$$Q_2 = \sum_{i=1}^k (X_i^2 / n);$$

в) находится квадрат общего итога, деленный на число всех измерений:

$$Q_3 = \frac{1}{n} \left( \sum_{i=1}^k X_i^2 \right);$$

г) вычисляются оценки дисперсий  $S_a^2$  и  $S_0^2$  по формулам:

$$S_a^2 = \frac{(Q_2 - Q_3)}{(k - 1)}, \quad S_0^2 = \frac{(Q_1 - Q_2)}{(n - k)}.$$

Затем проверяется значимость отношения  $S_a^2 / S_0^2$  по критерию Фишера, исходя из соответствующих степеней свободы  $f_1 = k - 1$  и  $f_2 = n - k$ .

Если это отношение значительно, то влияние фактора следует признать существенным. Непосредственные вычисления дают:  $Q_1=5123,87$ ;  $Q_2=5110,25$ ;  $Q_3=3571,25$ ;  $S_0^2=1,14$ ;  $S_a^2=311,8$ ;  $f_1=6-1$ ;  $f_2=18-6=12$ .

Расчетное отношение оценок дисперсий по критерию Фишера  $F_p=311,8/1,14=273$ . Для доверительной вероятности 0,95 и соответствующих степеней свободы табличное значение критерия Фишера составляет  $F_m(5;12)=3,1$ . Так как  $F_p=273 \gg 3,1=F_m$ , то влияние настройки стана на величину усилия на валки стана следует признать довольно существенным. Это положение подтверждается и корреляционно-регрессионным анализом.

Зависимость давления от зазора между валками представлена корреляционной табл.2.

Таблица 2 – Корреляционная таблица

№ п/п	$x = s/t_0$ $y = P$ [кН]	$y'$	$x = s/t_0$							$\sum m_y$
			0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	0 ÷ 6	-4	-	-	6	134	-	2	4	146
2	6 ÷ 12	-3	-	-	11	145	11	8	6	181
3	12 ÷ 18	-2	-	3	6	94	3	1	-	107
4	18 ÷ 24	-1	-	8	8	31	1	1	-	49
5	24 ÷ 30	0	6	4	-	6	1	1	1	19
6	30 ÷ 36	1	5	1	1	3	3	-	-	12
7	36 ÷ 42	2	1	1	-	5	-	-	-	7
8	42 ÷ 48	3	-	1	1	-	-	-	-	2
9	48 ÷ 54	4	-	1	1	-	-	-	-	2
10	54 ÷ 60	5	1	-	-	-	-	-	-	1
$\sum m_x$			13	19	36	418	16	13	11	526
$\sum (m_x y')$			12	-4	-67	-1177	-40	-35	-34	
$\hat{y}' = \sum (m_x y') / \sum m_x$			0,92	-0,21	-1,86	-2,80	-2,50	-2,7	-3,09	
$\hat{y}_x$			32,52	25,74	15,84	10,20	12,0	10,8	8,46	

Расчетная линия регрессии построена по уравнению (1) (рис.1)

$$y = 32,328 - 12,76 \ln(x), \quad x = \frac{s}{t_0}. \quad (1)$$

Корреляционное отношение  $\eta_{s/t} = 0,55$  указывает на достаточно значительную зависимость усилия на валки от настройки стана, а коэффициент регрессии  $\eta' = 0,88$  – на хорошую аппроксимацию зависимости  $P$  от  $\frac{s}{t_0}$ , описываемую уравнением (1).

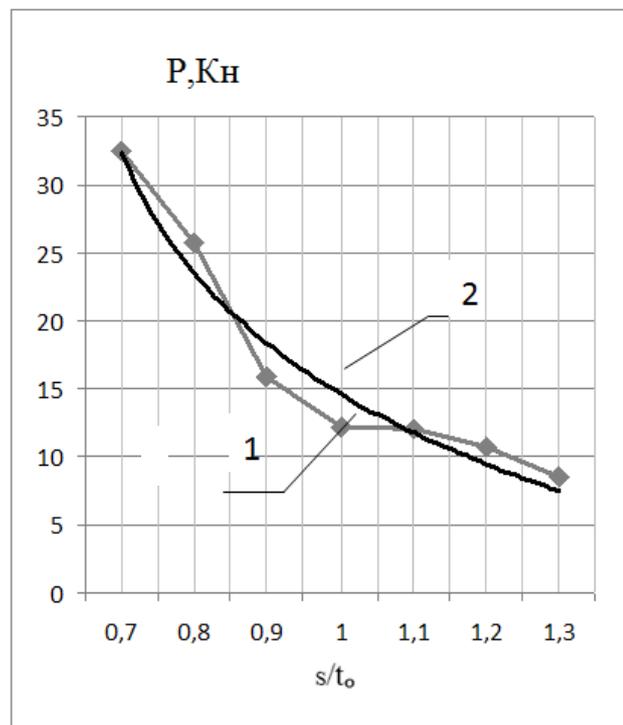


Рис. 1 – Экспериментальная (1) и расчетная (2) линии регрессии зависимости давления от настройки стана

#### Литература

1. Богдавленский К.Н., Рис В.В., Манжури И.П. О вероятностно-статистическом анализе давления металла на валки профилегибочного стана. Тр.ЛПИ «Обработка металлов давлением».№ 322.Л.: Машиностроение, 1971. С.31-34.

#### References

1. Bogojavlenskij K.N., Ris V.V., Manzhurin I.P. O verojatnostno-statisticheskom analize davlenija metalla na valki profilegibochnoho stana. Tr.LPI «Obrabotka metallov davleniem».№ 322.L.: Mashinostroenie, 1971. S.31-34.

DOI: 10.18454/IRJ.2016.45.089

Мирюк О.А.

ORCID: 0000-0001-6892-2763, Доктор технических наук, Рудненский индустриальный институт

**РЕСУРСОБЕРЕЖЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАГНЕЗИАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ***Аннотация*

*Разработаны составы и основы технологии магниевых композиций зернистой, волокнистой и комбинированной структуры. Обоснован выбор техногенных компонентов, обеспечивающий направленное формирование структуры композиции. Магниевые композиции рекомендованы для изготовления малых архитектурных форм, стеломagneзитового листа и блоков из полистиролбетона. Сформулированы принципы ресурсосбережения для технологии магниевых композиций, отражающие преимущества и перспективы разработанных материалов.*

**Ключевые слова:** ресурсосбережение, магниевая композиция.

Miryuk O.A.

PhD in Engineering, Rudny Industrial Institute

**THE RESOURCE-SAVING OF TECHNOLOGY OF COMPOSITE MAGNESIUM MATERIALS***Abstract*

*The composition and basis of magnesium compositions technology of grain, fiber and combined pattern were developed. The choice of technogenic components, providing the targeted formation of composition structure is proved. Magnesium compositions are recommended for creating hardscaping, magnesium oxide wallboard and blocks made of polystyrenes concrete. The resource-saving principles for magnesium compositions technology, reflecting the advantages and prospects of the developed materials.*

**Keywords:** resource-saving, magnesium composition.

**П**овышение эффективности современного строительства основано на широком применении прогрессивных научно-технических достижений; инновационных ресурсосберегающих технологий строительной индустрии; последовательном сокращении расхода сырьевых, топливно-энергетических и трудовых ресурсов на производство строительной продукции.

Ресурсосбережение – комплекс методов и процессов, сопровождающих все этапы жизненного цикла строительного материала и направленных на рациональное использование и экономное расходование ресурсов. Ресурсосбережение – цель, средство и подход при создании новых эффективных строительных материалов, при разработке и совершенствовании технологии производства и применения строительной продукции. Ресурсосбережение в технологии строительных материалов основано на глубоких знаниях законов развития природы, закономерностей преобразований вещества и энергии [1].

Разработаны материалы мелкозернистой, волокнистой и комбинированной структур с использованием смешанного магниевых вяжущего, содержащего каустический магнезит и минеральный наполнитель. Технология получения магниевых композиций предусматривает оптимизацию рецептуры и технологических приемов приготовления многокомпонентных формовочных смесей, содержащих техногенные отходы различного вещественного и дисперсного состава и обеспечивающих ресурсосбережение [2].

*Цель исследования* – разработка принципов ресурсосбережения технологии, позволяющих обобщить зависимости, выявленные для отдельных материалов, и распространить на все композиции.

Технико-экономическая оценка рецептур и основ технологии разработанных композиционных материалов позволила выделить основные технические и технологические преимущества новых материалов.

Разработаны магниевые композиты зернистой структуры на техногенном наполнителе, представленном многотоннажными отходами обогащения скарново-магнетитовых руд. Выявлено определяющее влияние фракционного состава наполнителя на технологические свойства формовочных масс, структуру и физико-механические характеристики композиционного материала. Методами математического планирования эксперимента оптимизирован фракционный состав техногенного мелкозернистого наполнителя, при котором достигнуты наибольшие значения насыпной плотности наполнителя и компактная упаковка частиц в структуре композиционного материала [4]. Магниевые композиции мелкозернистой структуры с наполнителем рекомендованы для изготовления элементов благоустройства. Разработана технологическая схема производства малых архитектурных форм на примере вазона. Технологическая схема включает измельчение техногенного материала – отходов обогащения скарново-магнетитовых руд – с последующей классификацией дробленой массы на вибрационных грохотах. Фракции дробленого материала 0,14 – 0,315 мм и 0,63 – 1,25 мм предназначены для наполнителя магниевых композиций, фракция частиц 0,00 – 0,14 мм направляется на совместный помол с каустическим магнезитом для получения смешанного магниевых вяжущего.

Магниевые композиции мелкозернистой структуры с наполнителем характеризуются рациональным комплексным использованием одного вида техногенного материала (наполнитель в смешанном вяжущем, наполнитель бетонной смеси), минимизацией доли каустического магнезита – 25 % массы твердой части; заменой дорогостоящего портландцемента бесклнкерным вяжущим, заменой природного наполнителя техногенным песком. Расчетная себестоимость изделия снижена на 32%.

Показана возможность замены каустического магнезита гипсомagneзиевым вяжущим с содержанием строительного гипса до 40 %. Выразительная адгезионная способность и высокое активизирующее воздействие магниевых вяжущих обеспечивают возможность использования техногенных материалов волокнистого и зернистого строения в композициях. Исследование влияние размера древесных частиц на свойства магниевых композиций показало, что введение 20% древесного компонента сопровождается снижением плотности

в 1,2 – 1,4 раза. Для обеспечения удобоукладываемости сырьевой массы с волокнами предпочтительны тонкие фракции древесных частиц (не более 1,25 мм), что сопровождается повышением удельной поверхности армирующего компонента и необходимостью присутствия не менее 30% вяжущего в композициях. Установлена целесообразность введения зольной микросферы в волокнистые композиции. Введение до 50% полых частиц сопровождается уменьшением плотности материала почти в 2 раза. Гипсомагнезиальные композиции комбинированной волокнистой структуры с пустотелым мелкодисперсным наполнителем рекомендованы в качестве сырьевой массы при формировании основы стекломгнезитового листа.

Технология производства стекломгнезитового листа предусматривает: получение гипсомагнезиального вяжущего с содержанием строительного гипса 25 %. В качестве комбинированного заполнителя использована масса из древесных опилок фракции 0,14 – 0,315 мм и зольной микросферы. Регулирование состава формовочной гипсомагнезиальной массы с комбинированным наполнителем можно получать материалы с широким интервалом свойств: средняя плотность 850 – 1450 кг/м<sup>3</sup>, прочность при сжатии 3 – 40 МПа с учетом состава вяжущего и наполнителя. Гипсомагнезиальные композиции комбинированной волокнистой структуры с пустотелым мелкодисперсным наполнителем характеризуются снижением доли каустического магнетита; комплексным использованием различных видов техногенных материалов; заменой малодоступного перлита зольной микросферой, исключением из смеси пенообразователя. Затраты на сырье снижаются на 10 %.

Показана целесообразность формирования комбинированной структуры магниезольного полистиролбетона за счет введения в формовочную массу частиц микросферы и древесных частиц. Магнезиальные композиции комбинированной структуры на основе органо-минерального поризованного волокнисто-зернистого заполнителя рекомендованы для изготовления стеновых теплоизоляционных блоков. Технология предусматривает: подготовку многокомпонентной формовочной смеси подвижной консистенции, заполнение ее форм, тепловую обработку и последующую распалубку изделий. Подготовка однородной нерасплаиваемой смеси предусматривает поэтапное введение в магниезольно-хлоридную суспензию составляющих заполнителя в порядке возрастания размера частиц: микросфера, древесных опилок фракции 0,63 – 0,315 мм; гранулы пенополистирола диаметром 3 – 5 мм.

Магнезиальные композиции комбинированной структуры на основе органо-минерального поризованного волокнисто-зернистого заполнителя характеризуются многообразием техногенных компонентов, сочетаемым в составе одной композиции; рациональным использованием отслужившей пенополистирольной упаковки, которую подвергают измельчению и используют взамен гранул, изготавливаемым по энергоемкой технологической схеме; вытеснением дорогостоящего портландцемента из формовочной массы; затраты на сырьевые материалы снижены на 32 %.

Анализ результатов экспериментов, технологических решений, технико-экономических расчетов позволил сформулировать принципы ресурсосбережения для разработанных магниезольных композиций.

Принцип 1 – максимальная реализация уникальных свойств магниезольного вяжущего в композициях. Реализация принципа направлена на развитие технологии получения и применения конкурентоспособных магниезольных материалов с использованием многочисленных отходов.

Принцип 2 – использование сырьевых материалов с малой энергоемкостью технологических процессов. Принцип реализуется в создании композиционных материалов на основе каустического магнетита – вяжущего, характеризующегося сравнительно низкими затратами на основные технологические процессы. При этом следует учесть, что для получения строительных материалов применяют каустический магнетит – пыль, уловленную на огнеупорном производстве. Другие компоненты разработанных композиций являются также попутными продуктами различных производств: отходы обогащения скарново-магнетитовых руд – наполнитель и наполнитель мелкозернистых композиций; зольная микросфера и регенерированные гранулы пенополистирола – поризованные наполнители композиций; древесные опилки – волокнистый наполнитель.

Принцип 3 – целенаправленный выбор сырьевых компонентов. Принцип базируется на высоком активизирующем воздействии магниезольного вяжущего, способном обеспечить участие практически всех материалов кремнеземистого, алюмосиликатного, железистого составов в процессах структурообразования композиций. Принцип обоснованного выбора сырьевых техногенных материалов для смешанных магниезольных вяжущих, учитывающий химический и минеральный состав отходов, реализован в исследованиях. Показана целесообразность и подтверждена возможность повышения магниезольной активизации гидратационных свойств техногенных материалов за счет термической обработки, химического модифицирования с участием сульфата кальция, с помощью методов физического воздействия на каустический магнетит и затворитель. В основе разработки способа приготовления смешанного вяжущего – рациональные сочетания компонентов, предварительная обработка требующих активизации компонентов, обеспечение первичного контакта компонентов при приготовлении вяжущей композиции. Предложенный подход обоснованного выбора техногенного сырья сформулирован на основе анализа результатов исследования гидратообразования модельных вяжущих из оксидов, на основе отдельных ранее не изученных минералов техногенного сырья. Целенаправленный выбор сырья обеспечивает высокую чувствительность техногенного компонента к магниезольному воздействию.

Принцип 4 – комплексное использование техногенных материалов. Принцип предполагает совмещение в одной композиции различных видов отходов, а также многоцелевое применение сложного по составу нового сырья в составе композиции. Пестрый состав и многообразие генезиса придают промышленным отходам полифункциональность. Многоэтапное измельчение зернистых отходов с отделением заданных фракций частиц обеспечит получение целого ряда полезных продуктов. Выделяемые из общей массы частицы с повышенной прочностью и твердостью целесообразны для использования в качестве наполнителя.

Принцип 5 – минимизация доли каустического магнетита. Принцип реализуется за счет оптимизации вещественного состава формовочной массы, снижения межзерновой пустотности в композициях. В частности, введение наполнителя, заменяющего до 50 – 70 % каустического магнетита; формирование комбинированной структуры материала, основанное на использовании наполнителей различного размера и формы.

Принцип 6 – активизация сырьевых компонентов. Принцип предусматривает использование всевозможных технологических приемов, направленных на повышение реакционной способности компонентов формовочной массы. Принцип реализуется, в первую очередь, при использовании активизирующего магниезальохлоридного воздействия на наполнители смешанного вяжущего, поверхность частиц заполнителя. Принцип реализуется при выборе рационального способа приготовления формовочной массы, обеспечивающего первичный контакт компонентов и способствующий максимальному использованию полезных свойств техногенных сырьевых материалов.

Принцип 7 – разработка методов формирования направленной структуры композиционных магниезальных материалов. Свойства композиционных материалов определяются структурами различного уровня. Формирование структуры зависит от состава и состояния сырья.

Проблемы ресурсосбережения решаются в разработке рецептур и оптимизации процесса перемешивания многокомпонентных формовочных масс, эффективных приемов повышения магниезальной активизации при комплексном использовании техногенного сырья. Экономическая оценка результатов исследований подтверждает целесообразность комплексного использования техногенного сырья в магниезальных композициях.

*Вывод.* Разработанные рецептуры формовочных масс способны обеспечить технологии магниезальных композиций ресурсосбережение.

Технологический аспект ресурсосбережения предполагает разработку, развитие и совершенствование процессов изготовления и реализации магниезальных композиций.

Ресурсосберегающие процессы основаны на максимальном сбережении сырьевых и энергетических ресурсов на всех этапах производства и использования магниезальных композиционных материалов.

Разработка магниезальных композиционных материалов направлена на расширение ассортимента современных эффективных материалов; рациональное использование природных и техногенных ресурсов путем глубокой переработки сырья.

#### Литература

1. Баженов Ю. М., Демьянова В. С., Калашников В. И. Модифицированные высококачественные бетоны. – М.: АСВ, 2006. – 368 с.
2. Мирюк О. А. Магнезиальные композиты различной структуры // Известия ВУЗов. Строительство. – 2015. – № 5. – С. 30–37.
3. Мирюк О.А. Ресурсосбережение в технологии строительных материалов: учеб. пособие. – Рудный: РИИ, 2011. – 257 с.
4. Мирюк О.А. Магнезиальные композиции с использованием техногенных материалов // Технологии бетонов. – 2015. – № 5/6. – С. 9 – 13.

#### References

1. Bazhenov Ju. M., Dem'janova V. S., Kalashnikov V. I. Modificirovannye vysokokachestvennye betony. – M.: Izd-vo ASV, 2006. – 368 s.
2. Mirjuk O. A. Magnezial'nye kompozity razlichnoj struktury // Izvestija VUZov. Stroitel'stvo. – 2015. – № 5. – S. 30–37.
3. Mirjuk O.A. Resursosberezhenie v tehnologii stroitel'nyh materialov: ucheb. posobie. – Rudnyj: RII, 2011. – 257 s.
4. Mirjuk O.A. Magnezial'nye kompozicii s ispol'zovaniem tehnogennyh materialov // Tehnologii betonov. – 2015. – № 5/6. – S. 9 – 13.



*Все статьи, опубликованные в «Международном научно-исследовательском журнале», загружаются в РИНЦ.*

*Российский индекс научного цитирования (РИНЦ) — библиографическая база данных научных публикаций российских учёных. Для получения необходимых пользователю данных о публикациях и цитируемости статей на основе базы данных РИНЦ разработан аналитический инструмент ScienceIndex.*

DOI: 10.18454/IRJ.2016.45.141

Мустафаев Г.А.<sup>1</sup>, Кабулова М.Ю.<sup>2</sup>, Рехвиашвили Э.И.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Доктор технических наук, профессор; <sup>2</sup> кандидат биологических наук, доцент;

<sup>3</sup>доктор биологических наук, профессор, Горский Государственный Аграрный Университет

### СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К УПРАВЛЕНИЮ КАЧЕСТВОМ ПРОДУКЦИИ

*Аннотация*

*Рассмотрены некоторые аспекты управления качеством продукции и задачи, решаемые при системном подходе к качеству продукции, которые позволяют обеспечить показатели точности производственного процесса.*

*Качество продукции определяется особенностями реализации производственного процесса их изготовления. Выпуск продукции требуемого качества реализуется путем получения информации о производственных процессах, параметрах и дефектах.*

*Показано, что системный подход к качеству обеспечивает устойчивость производственного процесса и выпуск продукции высокого качества.*

**Ключевые слова:** качество, управление качеством, продукция, дефект, брак.

Mustafaev G.A.<sup>1</sup>, Kabulova M.J.<sup>2</sup>, Rehviashvili E.I.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>PhD in Engineering, professor; <sup>2</sup>PhD in Biology, <sup>3</sup>PhD in Biology, professor

### SYSTEMS APPROACH TO QUALITY MANAGEMENT PRODUCT

*Abstract*

*Some aspects of quality control products and problems to be solved in a systems approach to quality products, which ensure performance accuracy of the production process.*

*Product quality is determined by the peculiarities of the implementation of the production process for their manufacture. The release of the required quality of products are sold by obtaining information on production processes, parameters and defects.*

*It is shown that a systematic approach to the quality of the manufacturing process ensures the stability and output of high quality.*

**Keywords:** quality, quality management, production, defect, marriage.

Основным направлением обеспечения качества выпускаемой продукции на современном этапе является системный подход к качеству продукции. Особое значение приобретает обеспечение качества при производстве сложной продукции, обусловленное рядом их особенностей. При этом имеет место усиление влияния различных производственных факторов на функциональные характеристики продукции, их поведение в условиях эксплуатации [1-3].

При производстве сложной продукции существенное значение приобретает создание системы оперативного анализа причин брака, дефектов и управления качеством продукции.

Применение комплексного подхода, статистической обработки и анализа производственных процессов позволяют решать задачи по выпуску продукции высокого качества.

При комплексной оценке качества продукции можно выделить свойства и, соответствующие им, показатели качества, из которых определяющими являются показатели назначения, надежности и технологичности.

Проведенные исследования и анализ обобщенных показателей качества продукции показывают, что показатели надежности продукции определяются характеристиками их компонентов, назначения, заданиями на проектирование, с учетом реальных особенностей базового производственного процесса, технологичности и особенностями реализации технологического процесса. Таким образом, качество выпускаемой продукции определяется, по сути дела, особенностями реализации производственного процесса их изготовления. Обеспечение качества продукции на этапах их разработки, изготовления и применения сводится к обеспечению соответствия их параметров нормам, установленным в нормативной документации (НД).

Качество продукции обеспечивается развитием методов отбраковки потенциально ненадежной продукции и мониторингом производственного процесса изготовления продукции.

Для обеспечения выпуска продукции требуемого качества необходимо решение задач: получение информации о качестве выполнения основных этапов производственных процессов, качестве компонентов; накопление, оперативная обработка и анализ информации о параметрах и дефектах изделий и отклонений процессов.

Для поддержания высокого качества продукции, создания устойчивого производственного процесса необходимо построение системы, направленной на обеспечение качественного выполнения всех основных этапов от разработки до производства продукции.

При системном подходе к управлению качеством продукции обеспечивается:

– оптимизация производственного процесса и изменений, вносимых в технологию, включая создание системы операционного контроля и системы оперативного анализа причин брака и дефектов;

– оптимизация норм проектирования, с учетом возможностей и характеристик конкретной технологии производства;

– аттестация производственных процессов и изменений, вносимых в технологию;

– контроль и управление производственными процессами, оперативный анализ брака.

Статистический анализ производственного процесса позволяет отслеживать изменения характеристик во времени, выявить значимые факторы, проводить оптимизацию процессов производства продукции.

Системный подход к качеству продукции обеспечивает решение следующих задач:

– многофакторный статистический анализ, выявление информативных параметров качества в производственном процессе;

- разработка оптимальных систем операционного контроля, включая задачу расчета планов контроля;
- расчет технологических ограничений для проектирования;
- подготовка исходной информации для проектирования;
- оптимизация производственных процессов и операций.

Аттестация производственных процессов проводится в соответствии с действующими НД. Аттестации подвергаются все процессы перед внедрением в производство и все вносимые в них изменения. Процессы оцениваются по следующим показателям: точность, качество технологической документации, уровень автоматизации, экономичность. Аттестации подлежат только предварительно оптимизированные процессы. Основным показателем является точность технологических процессов, которая оценивается по результатам проведения контрольной партии выпускаемой продукции.

При производстве сложной продукции функционируют система, состоящая из статистического регулирования технологических процессов (СРТП) и система оперативного статистического анализа технологических процессов и причин брака (САПБ).

Как правило, контроль осуществляется в фиксированных точках маршрута и приводит к возникновению проблемы выбора контрольных точек и разработки методик оценки качества процессов по данным такого контроля. Получение необходимой информации обеспечивается системой СРТП, позволяющей проводить корректировку параметров технологического процесса в ходе производства, с помощью выборочного контроля изготавливаемой продукции для обеспечения требуемого качества и предупреждения брака.

СРТП включает анализ показателей: точности процессов, распределения параметров, дефектов. Это позволяет осуществлять всестороннюю оценку проведения производственного процесса. При этом сопоставление разнородной информации и совместное исследование создает качественно новые возможности анализа и регулирования производственных процессов.

Анализ дефектов приобретает выраженный статистический характер, так как включает в качестве обязательных составляющих элементов статистический анализ распределений параметров текущей продукции, обобщение данных по дефектам и их причинам. Это обуславливает изменение подхода к обеспечению качества выпускаемой продукции.

Отличительной чертой статистического подхода к анализу дефектов является то, что он должен охватывать, кроме дефектной продукции, еще и совокупность параметров годной продукции. Только такой анализ позволяет правильно оценить значимость появления параметрических дефектов, связать его со сдвигом процесса изготовления продукции, обусловившим уменьшение запаса по параметрам, и перейти к интегральной оценке производственного процесса, определяющей качество продукции.

При САПБ входной информацией являются: результаты выходного контроля и некоторых видов операционного контроля продукции, виды и даты вносимых в технологию изменений. Результаты анализа представляются в виде таблиц, графиков, гистограмм и т. п.

#### Заключение

Проведенные исследования и анализ производственного процесса показывают, что системный подход к качеству продукции обеспечивает показатели точности технологии, соответствие параметров изделий и выпуск продукции требуемого качества.

#### Литература

1. Мустафаев, Г.А. Методологические аспекты организации и управления производственным процессом на предприятии / Г.А. Мустафаев, Д.Г. Мустафаева, М.Г. Мустафаев // Организатор производства. – 2014. – № 1 (60). – С. 9-14.
2. Мустафаев, Г.А. Некоторые факторы повышения эффективности производства / Г.А. Мустафаев // Машиностроитель. – 2001. – № 2. – С.4 – 5.
3. Мустафаев, Г.А. Анализ эффективности деятельности предприятия / Г.А. Мустафаев // Машиностроитель. – 2000. – № 12. – С. 11–12.

#### References

1. Mustafaev, G.A. Metodologicheskie aspekty organizacii i upravlenija proizvodstvennym processom na predpriyatii / G.A. Mustafaev, D.G. Mustafaeva, M.G. Mustafaev // Organizator proizvodstva. – 2014. – № 1 (60). – S. 9-14.
2. Mustafaev, G.A. Nekotorye faktory povysheniya jeffektivnosti proizvodstva / G.A. Mustafaev // Mashinostroitel'. – 2001. – № 2. – S.4 – 5.
3. Mustafaev, G.A. Analiz jeffektivnosti dejatel'nosti predpriyatija / G.A. Mustafaev // Mashinostroitel'. – 2000. – № 12. – S. 11–12.

DOI: 10.18454/IRJ.2016.45.171

Мустафаев Г.А.<sup>1</sup>, Кабулова М.Ю.<sup>2</sup>, Рехвиашвили Э.И.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Доктор биологических наук, профессор; <sup>2</sup> кандидат биологических наук, доцент;

<sup>3</sup>доктор биологических наук, профессор,

Горский Аграрный Университет

## ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ И КАЧЕСТВА ВЫПУСКАЕМОЙ ПРОДУКЦИИ

*Аннотация*

*В работе рассмотрены некоторые факторы повышения эффективности производства и применение информационных технологий, обеспечивающих выпуск конкурентоспособной продукции.*

**Ключевые слова:** качество, производственный процесс, информационные технологии.

Mustafaev G.A.<sup>1</sup>, Kabulova M.J.<sup>2</sup>, Rehviashvili E.I.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>PhD in Engineering, professor, <sup>2</sup>PhD in Biology, <sup>3</sup>PhD in Biology, professor

## IMPROVING OF EFFICIENCY OF PRODUCTION PROCESSES AND QUALITY OF PRODUCTS

*Abstract*

*The article discusses some of the factors to increase the efficiency of production and use of information technologies for the production of competitive products.*

**Keywords:** quality, production process, information technology.

При производстве изделий имеет место несоответствие производственных процессов и отдельных параметров продукции требованиям нормативной документации. С целью обеспечения соответствия выпускаемой продукции современным требованиям качества и параметров изделий необходимо совершенствование производственных процессов и управление качеством выпускаемых изделий.

Факторами роста эффективности производства изделий является совершенствование организации производства, которое позволяет существенно улучшить экономические показатели производства продукции.

Для получения информации о качестве и надёжности продукции в процессе их производства необходимо установление точных условий внешних воздействий, как в процессе производства, так и в процессе эксплуатации у потребителя в составе аппаратуры [2,3].

Реализация данных требований направлена на обеспечение заданного уровня качества и надёжности продукции. Вместе с тем позволяют совершенствовать их конструкции и технологический процесс изготовления.

Срок службы и надёжность являются важнейшими, наиболее обобщающими, эксплуатационными параметрами изделий.

Эффективность производства неразрывно связана с качеством выпускаемой продукции.

Качественные показатели изделия определяются процессом производства, а также конкурентоспособностью выпускаемой продукции и способностью удовлетворить определенные потребности в соответствии с назначением.

С целью улучшения качества выпускаемой продукции необходимо проведение комплекса работ по направлениям:

-планирование качества на этапах создания, освоения, изготовления и эксплуатации изделий;

-контроль качества и разработка системы аттестации, обеспечивающие его оценку и регламентацию условий, необходимых для достижения высокого качества выпускаемых изделий.

При производстве продукции целесообразна более тесная увязка уровней качества сырья, материалов, комплектующих изделий и конечной продукции.

Комплексный подход и анализ процесса изготовления продукции позволяет решать задачи по выпуску продукции высокого качества [1].

Производственный процесс опирается на определенный уровень развития средств производства и технологической оснастки. Между уровнями производства и развития инструментальных средств существует определенная взаимосвязь.

Это относится в большей мере к информационным технологиям (ИТ), так как средством производства (информации) и технологической оснасткой для ИТ являются программно-аппаратные вычислительные комплексы.

ИТ позволяет реализовать функции по созданию и изготовлению сложной продукции и состоит из взаимосвязанных подсистем – технологической, информационной, организационной и экономической.

В ИТ целесообразно выделить следующие компоненты: вычислительную, исполнительскую, методическую (рис. 1).

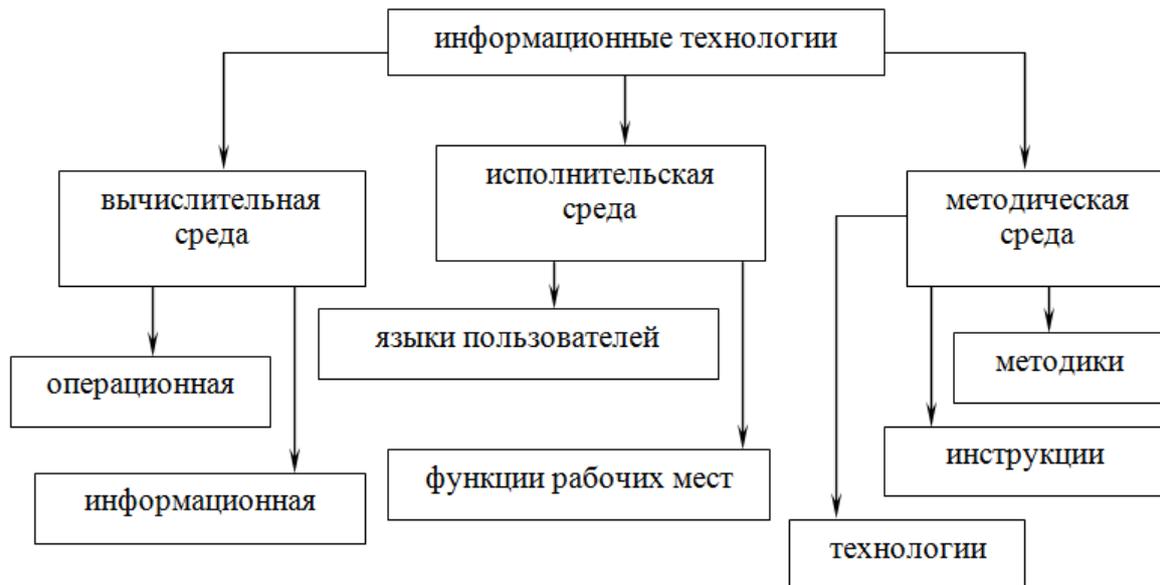


Рис. 1 – Компоненты информационных технологий

Характер изменения параметров изделия запоминается (записывается) в виде непрерывных и дискретных сигналов. Одновременно производится оперативная индикация сигналов, значения которых по каналам связи передаются на ЭВМ.

Получаемая информация проходит предварительную обработку и производится оценка хода производства продукции.

После предварительной обработки определяется режим статистической обработки полученной информации. Процесс обработки результатов производства продукции включает генерацию и синтез измерительной информации.

Полный анализ результатов проводится в интерактивном режиме с использованием графических дисплеев. Проводится анализ и принимается решение о правильности и надежности функционирования производственных процессов. После этого производится документирование результатов в виде таблиц и графиков.

При обнаружении отклонения характеристик изделия производится корректировка программы.

Целесообразность использования вычислительного эксперимента в построении математических моделей функционирования, исследуемых процессов, обусловлена адекватностью полученных результатов.

Информационные технологии как системы информационного обеспечения производства нового типа включают:

- современные средства вычислительной техники – мини- и микроЭВМ, ПЭВМ, сети ЭВМ; специализированные устройства, а также информационно-измерительные системы;
- современные средства программного обеспечения;
- системы с высокой степенью интеграции процессов обработки данных и баз данных в многоуровневом контуре управления производством с применением методов искусственного интеллекта.

Применение ИТ позволяет провести мониторинг производственных процессов и основных параметров продукции в ходе их изготовления, оперативную корректировку параметров производственного процесса.

*Заключение.* Внедрение аппаратно–программных средств управления и современных методов управления способствуют повышению эффективности производства и конкурентоспособности выпускаемой продукции.

Применение ИТ при производстве продукции позволяет оценить характер функционирования производства и определить изменения параметров в ходе производственного процесса.

#### Литература

1. Мустафаев, Г.А. Комплексный подход к обеспечению качества продукции / Г.А. Мустафаев, Э.И. Рехвиашвили, М.Ю. Кабулова // Известия Горского ГАУ. – 2008. – № 45. – С 125–127.
2. Мустафаев, Г.А. Некоторые факторы повышения эффективности производства / Машиностроитель // – 2001. – № 2. – С.4 – 5.
3. Мустафаев, Г.А. Анализ эффективности деятельности предприятия / Машиностроитель // – 2000. – № 12. – С. 11–12.

#### References

1. Mustafaev, G.A. Kompleksnyj podhod k obespecheniju kachestva produkcii / G.A. Mustafaev, Je.I. Rehviashvili, M.Ju. Kabulova // Izvestija Gorskogo GAU. – 2008. – № 45. – S 125–127.
2. Mustafaev, G.A. Nekotorye faktory povysheniya jeffektivnosti proizvodstva / Mashinostroitel' // – 2001. – № 2. – S.4 – 5.
3. Mustafaev, G.A. Analiz jeffektivnosti dejatel'nosti predprijatija / Mashinostroitel' // – 2000. – № 12. – S. 11–12.

DOI: 10.18454/IRJ.2016.45.060

Петров Ю.С.<sup>1</sup>, Соколов А.А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Доктор технических наук, профессор; <sup>2</sup>кандидат технических наук, доцент,

Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет)  
**ТЕХНОГЕННЫЙ ЦИКЛ ПРЕДПРИЯТИЯ – НЕОТЪЕМЛЕМАЯ ЧАСТЬ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПРОЦЕССА**

*Аннотация*

*В работе поднимается вопрос о необходимости решения актуальной проблемы – анализа техногенного влияния технологического процесса предприятия на внешнюю среду. Приводится определение техногенных циклов и необходимости их мониторинга и анализа с помощью различных информационных систем. Отмечается необходимость разработки специального программного и алгоритмического обеспечения, повышающих эффективность системного анализа функционирования промышленного предприятия.*

**Ключевые слова:** техногенный цикл, мониторинг, технологический процесс, промышленное предприятие, анализ информации, эффективность функционирования.

Petrov Yu. S.<sup>1</sup>, Sokolov A.A.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>PhD in Engineering, professor, <sup>2</sup>PhD in Engineering, associate professor

North Caucasian mining and metallurgical institute (state technological university)

**TECHNOGENIC CYCLE OF THE ENTERPRISE – THE INTEGRAL PART OF PRODUCTION**

*Abstract*

*In work the question of need of the solution of an actual problem – the analysis of technogenic influence of technological process of the enterprise on environment is brought up. Definition of technogenic cycles and need of their monitoring and the analysis by means of various information systems is given. Need of development of special program and algorithmic providing, increasing efficiency of the system analysis of functioning of the industrial enterprise is noted.*

**Keywords:** technogenic cycle, monitoring, technological process, industrial enterprise, analysis of information, efficiency of functioning.

**Введение.** Анализ техногенных проявлений технологических процессов на промышленных предприятиях привел к осознанию того, что эффективное управление любым крупным промышленным предприятием, в частности предприятием горно-металлургического комплекса невозможно без учета его техногенных проявлений [1-5]. По этой причине использование существующих методов анализа эффективности функционирования предприятий вступает в противоречие с необходимостью анализа влияния техногенных проявлений технологических процессов на работу самого предприятия, внешнюю среду и социум.

**Основная часть.** Современный анализ работы промышленных предприятий характеризуется всесторонним исследованием технологических процессов с использованием современных методов и средств обработки информации. Применяемые для этой цели информационные системы различной направленности - системы автоматизированной обработки информации (САОИ), автоматизированные системы управления (АСУ), системы поддержки принятия решений (СППР), специальное математическое и программное обеспечение позволяют с учетом отраслевых особенностей осуществить качественный анализ объекта исследования с целью повышения эффективности его функционирования. Однако деятельность любого промышленного предприятия [1] неизбежно порождает техногенные проявления, неразрывно связанные с технологическими процессами и являющиеся их следствием.

В связи этим авторы предлагают при комплексной оценке деятельности предприятия и оценке эффективности его управленческих процедур использовать понятие «техногенный цикл» предприятия определяя его как совокупность явлений, процессов, факторов техногенного влияния на окружающую среду и социум, сопутствующих технологическим процессам предприятия.

Понятие «техногенный цикл» можно отнести не только к конкретному предприятию в целом, но и к отдельному технологическому процессу. Смысл вводимого понятия поясняется схемой изображенной на рисунке. Математическое описание техногенного цикла можно реализовать различными способами, в частности с помощью матричной модели [1], которая позволяет произвести оценку техногенного влияния каждого объекта предприятия (цеха, лаборатории, хвостохранилища и т.п.) с учетом индивидуальных весовых коэффициентов.



Рис. – Схема техногенного цикла предприятия

Согласно схеме анализ техногенного цикла предприятия необходимо проводить поэтапно, последовательно учитывая, в частности, возможные пути распространения техногенных факторов в различных средах (воздух, горные породы, грунтовые воды и т.п.), используя при этом возможности таких информационных систем как геоинформационные (ГИС) и измерительно-информационные системы (ИИС) [6,7]. Для наполнения информационных систем максимальным потоком информации необходимым для анализа данных по техногенным циклам можно воспользоваться оптимизационной моделью, приведенной в [8].

Следовательно, в существующее методическое, программное и алгоритмическое обеспечение информационных систем следует вносить соответствующие коррективы для их адаптации к мониторингу, анализу и обработке информации по техногенным циклам промышленных предприятий. В связи с этим, особое значение приобретает разработка новых методов и средств получения, обработки и анализа информации по техногенным циклам промышленных предприятий [9-11], реализация которых позволит получить данные, необходимые для обоснования и выработки предложений в системе поддержки принятия решений, учитывающих помимо всего прочего влияние техногенных проявлений на общую оценку деятельности предприятия, что в свою очередь повысит эффективность управления всем промышленным предприятием.

**Заключение.** С учетом вышеизложенного, можно утверждать, что разработка теоретических основ анализа техногенных циклов технологических процессов в системе «промышленное предприятие - внешняя среда» является актуальной научной проблемой. Решение этой проблемы будет способствовать обоснованному расширению класса задач необходимых для эффективного управления не только отдельным предприятием, но и всей промышленной отраслью [12] за счет новых возможностей анализа, контроля и последующего регулирования техногенных проявлений технологических процессов промышленных предприятий.

#### Литература

1. Петров Ю.С., Габараев О.З., Соколов А.А. Обобщенная оценка влияния горного предприятия на окружающую природную среду. Горный журнал. 2015. № 8. С. 25-27.
2. Соколов А.А. Комплексная оценка воздействия промышленных объектов на окружающие экосистемы инновационными техническими средствами и методами (на примере Моздокского района Республики Северная Осетия - Алания). Экология урбанизированных территорий. 2010. №2. С. 94-97.
3. Соколов А.А., Соколова О.А. Реализация теории и методов мониторинга подземных вод на сеточных моделях участков экосистем как объектов с распределенными параметрами. Проблемы региональной экологии. 2009. №3. С. 138-141.
4. Босиков И.И., Хугаев Р.Р., Пересаев А.С. Особенности исследования опасных процессов в природно-промышленной системе. В сборнике: Наука и образование в жизни современного общества сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции: в 12 частях. 2015. С. 31-33.

5. Босиков И.И. Исследование функционирования природно-промышленной системы с помощью критерия эффективности. Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 3-1. С. 48-52.
6. Соколов А.А., Петрова В.Ю. Геоинформационная система мониторинга экологической и электромагнитной совместимости электроэнергетических объектов. Патент на полезную модель RUS 106975, 30.03.2011.
7. Петров Ю.С., Петрова В.Ю., Рогачев Л.В., Соколов А.А., Соколова О.А. Разработка и реализация информационно-измерительной системы представления и анализа информации по техногенным циклам промышленного предприятия. Современные проблемы науки и образования. 2014. № 5. С. 253.
8. Соколов А.А. Разработка и апробация новой информационной системы анализа, управления и принятия решений. Известия Волгоградского государственного технического университета. 2013. Т. 17. №14 (117). С. 54-59.
9. Гроппен В.О., Проскурин А.Е., Соколова Е.А. Способ компрессии и декомпрессии статических изображений и видеоинформации в цифровой форме. Патент на изобретение RUS 2339082. 03.08.2007.
10. Соколова Е.А. Компрессия изображений переменными фрагментами. Вестник компьютерных и информационных технологий. 2008. №10. С. 31-34.
11. Соколов А.А. Исследование загрязнений нефтепродуктами водоносных горизонтов с применением инновационных методологий и технических средств. Проблемы региональной экологии. 2010. № 3. С. 70-74.
12. Разоренов Ю.И. Экономика и менеджмент горной промышленности учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по горно-геологическим специальностям / Ю. И. Разоренов, В. И. Голик, М. М. Куликов; М-во образования и науки Российской Федерации, Южно-Российский гос. технический ун-т (Новочеркасский политехнический ин-т). Новочеркасск, 2010.

#### References

1. Petrov Ju.S., Gabaraev O.Z., Sokolov A.A. Obobshhennaja ocenka vlijanija gornogo predpriyatija na okruzhajushhiju prirodnuju sredu. Gornyj zhurnal. 2015. № 8. S. 25-27.
2. Sokolov A.A. Kompleksnaja ocenka vozdejstvija promyshlennyh ob#ektov na okruzhajushhie jekosistemy innovacionnymi tehničeskimi sredstvami i metodami (na primere Mozdokskogo rajona Respubliki Severnaja Osetija - Alanija). Jekologija urbanizirovannyh territorij. 2010. №2. S. 94-97.
3. Sokolov A.A., Sokolova O.A. Realizacija teorii i metodov monitoringa podzemnyh vod na setochnyh modeljah uchastkov jekosistem kak ob#ektov s raspredelennymi parametrami. Problemy regional'noj jekologii. 2009. №3. S. 138-141.
4. Bosikov I.I., Hugaev R.R., Peresaev A.S. Osobennosti issledovanija opasnyh processov v prirodno-promyshlennoj sisteme. V sbornike: Nauka i obrazovanie v zhizni sovremennogo obshhestva sbornik nauchnyh trudov po materialam Mezhdunarodnoj nauchno-praktičeskoj konferencii: v 12 chastjah. 2015. S. 31-33.
5. Bosikov I.I. Issledovanie funkcionirovanija prirodno-promyshlennoj sistemy s pomoshh'ju kriterija jeffektivnosti. Aktual'nye problemy gumanitarnyh i estestvennyh nauk. 2015. № 3-1. S. 48-52.
6. Sokolov A.A., Petrova V.Ju. Geoinformacionnaja sistema monitoringa jekologičeskoj i jelektromagnitnoj sovmestimosti jelektrojenergetičeskij ob#ektov. Patent na poleznuju model' RUS 106975, 30.03.2011.
7. Petrov Ju.S., Petrova V.Ju., Rogachev L.V., Sokolov A.A., Sokolova O.A. Razrabotka i realizacija informacionno-izmeritel'noj sistemy predstavlenija i analiza informacii po tehnogennym ciklam promyshlennogo predpriyatija. Sovremennye problemy nauki i obrazovanija. 2014. № 5. S. 253.
8. Sokolov A.A. Razrabotka i aprobacija novoj informacionnoj sistemy analiza, upravlenija i prinjatija reshenij. Izvestija Volgogradskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta. 2013. Т. 17. №14 (117). S. 54-59.
9. Groppen V.O., Proskurin A.E., Sokolova E.A. Sposob kompressii i dekompressii statičeskijh izobrazhenij i videoinformacii v cifrovoj forme. Patent na izobretenie RUS 2339082. 03.08.2007.
10. Sokolova E.A. Kompresija izobrazhenij variabel'nymi fragmentami. Vestnik komp'juternyh i informacionnyh tehnologij. 2008. №10. S. 31-34.
11. Sokolov A.A. Issledovanie zagrjaznenij nefteproduktami vodonosnyh gorizontov s primeneniem innovacionnyh metodologij i tehničeskijh sredstv. Problemy regional'noj jekologii. 2010. № 3. S. 70-74.
12. Razorenov Ju.I. Jekonomika i menedzhment gornoj promyshlennosti uchebnoe posobie dlja studentov vysshijh uchebnyh zavedenij, obuchajushhihsja po gorno-geologičeskim special'nostjam / Ju. I. Razorenov, V. I. Golik, M. M. Kulikov; M-vo obrazovanija i nauki Rossijskoj Federacii, Juzhno-Rossijskij gos. tehničeskij un-t (Novočerkaškij politehničeskij in-t). Novočerkašk, 2010.

DOI: 10.18454/IRJ.2016.45.002

Санчес Россель Хосе Агустин

Аспирант, Южный Федеральный Университет

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СТАРОГО И НОВОГО СТАНДАРТОВ РФ НА КРИПТОГРАФИЧЕСКУЮ ФУНКЦИЮ ХЭШИРОВАНИЯ

Аннотация

В статье приведен сравнительный анализ старого (ГОСТ Р 34.11-94) и нового (ГОСТ Р 34.11-2012) стандартов Российской Федерации, описывающих алгоритмы и процедуры вычисления хэш-функции, которые используются в процессах создания и верификации цифровой подписи.

**Ключевые слова:** криптография, шифрование, хэш-функция.

Sanchez Rossel Jose Agustin

Postgraduate student, Southern Federal University

## COMPARATIVE ANALYSIS OF THE OLD AND NEW STANDARDS RF ON CRYPTOGRAPHIC HASH FUNCTION

Abstract

The article presents a comparative analysis of the old (GOST R 34.11-94) and the new (GOST R 34.11-2012) standards of the Russian Federation, describing the algorithms and procedures for calculating the hash functions, which used in the process of creating and verifying digital signature.

**Keywords:** cryptography, encryption, hash function.

ГОСТ Р 34.11-2012 (функция «Стрибог») является новым российским криптографическим стандартом хэш-функции для любого набора двоичных символов, которые используются в компьютерных методах криптографии [1].

Стандарт разработан для замены ГОСТ Р 34.11-94 (далее «ГОСТ») [2], обработка блоков в котором происходит по алгоритму шифрования ГОСТ 28147-89 [3-5], содержащим нелинейные преобразования на S-блоках. Алгоритм ГОСТ является итеративным.

В процессе шифровки происходит 32 раунда преобразований (рис. 1):

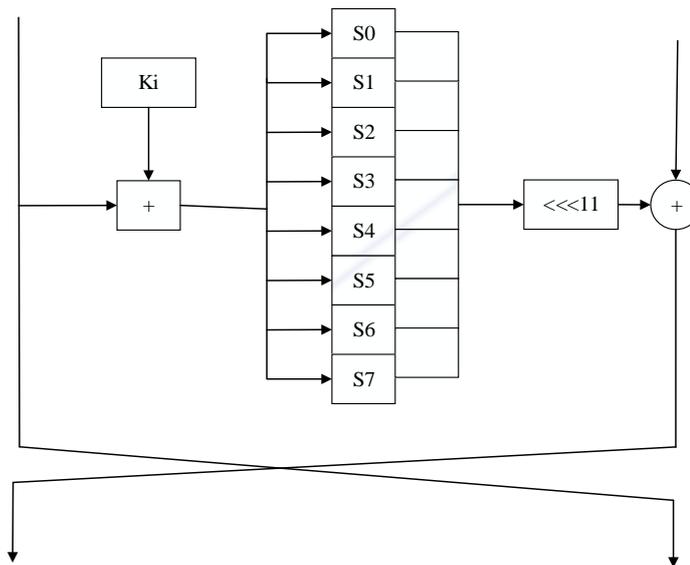


Рис. 1 – Раунд алгоритма ГОСТ 28147-89

Разработка стандарта потребовалась для создания хэш-функции, отвечающей необходимым потребностям стандарта ГОСТ 34.10-2012 [6] на электронную цифровую подпись (ЦП). Данная функция хэширования применяется при практической реализации систем ЦП на основе асимметричного криптографического алгоритма (один ключ используется для зашифрования данных, а другой для дешифрования), которые позволяют обойти недостатки, свойственные симметричным системам: при их использовании не нужен секретный обмен ключами (открытые ключи передаются динамически), а так же исчезает квадратичная корреляция количества ключей от количества пользователей.

В новом стандарте размер блока входных данных вдвое меньше, чем в ГОСТ при той же длине хэша, однако «Стрибог» может работать и при длине хэша в два раза большей.

Базовый алгоритм шифрования реализует перестановку множества  $V_{128}$  в зависимости от значений итерационных ключей  $K_i \in V_{128}$ ,  $i=1,2,\dots,10$ .

Алгоритм зашифрования реализует преобразование множества  $V_{128}$  в соответствии с равенством

$$E_{K_1, \dots, K_{10}}(a) = X[K_{10}]LSX[K_9] \dots LSX[K_2]LSX[K_1](a), \quad (1)$$

где  $a \in V_{128}$ .

Алгоритм расшифровки реализует преобразование множества  $V_{128}$  в соответствии с равенством

$$D_{K_1, \dots, K_{10}}(a) = X[K_1]S^{-1}L^{-1}X[K_2]..S^{-1}L^{-1}X[K_9]S^{-1}L^{-1}X[K_{10}](a), \tag{2}$$

где  $a \in V_{128}$ .

Значения  $K_i \in V_{512}$ ,  $i = 1, \dots, 13$  вычисляются как:

$$K_1 = K; \\ K_i = LPS(K_{i-1} \oplus C_{i-1}), i = 2, \dots, 13. \tag{3}$$

В качестве функции сжатия старый стандарт предусматривает использование симметричного блочного шифра ГОСТ 28147-89. Функция сжатия состоит из 4-х параллельных блоков шифрования по ГОСТ 28147-89, механизма генерации ключей для выполнения шифрования и выходного перемешивающего преобразования.

В «Стрибог» функция сжатия основана на конструкции Миагучи-Пренеля (рис. 2).

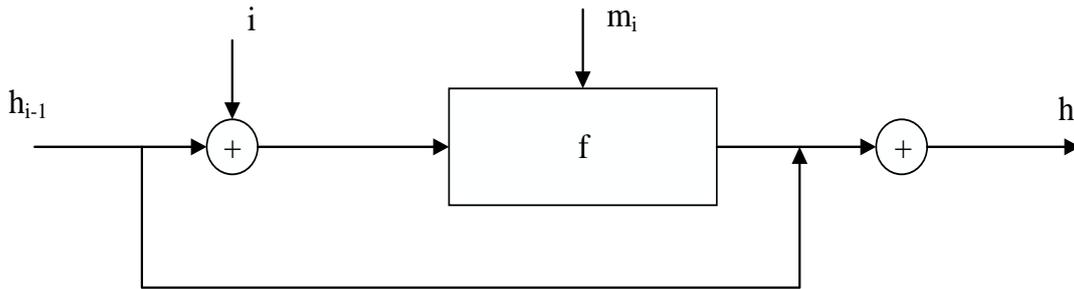


Рис. 2 – Схема конструкции Миагучи-Пренеля, где:

$m_i$  – исходное сообщение,  $h_i$  – значение хэш-функции,  $h_{i-1}$  – значение предыдущей хэш-функции

Значение хэш-кода сообщения  $M \in V^*$  рассчитывается при помощи итерационной процедуры. На каждом шаге вычисления хэш-кода применяется функция сжатия:

$$g_N = V_{512} \times V_{512} \rightarrow V_{512}, N \in V_{512}, \tag{4}$$

значение которой определяется по формуле:

$$g_n(h, m) : E(LPS(h \oplus N), m) \oplus h \oplus m, \tag{5}$$

где

$$E(K, m) = X[K_{13}] LPSX[K_{12}]..LPSX[K_2] LPSX[K_1](m). \tag{6}$$

Еще одним значительным отличием нового стандарта от старого является то, что значение инициализационного вектора в ГОСТ не определено, а в новом стандарте определено и фиксировано.

В [7] приводится исследование старого и нового стандартов Российской Федерации.

Тестирование производилось на ЦП Intel Core i7-920 CPU @ 2.67 GHz и видеокарте NVIDIA GTX 580. Использовалась авторская гибридная 32-битная схема для «Стрибог» и простая последовательная для ГОСТ.

Результаты исследования представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты производительности

Реализация	ГОСТ Р 34.11-94		Стрибог-512	
	МБ/с	Тактов/байт	МБ/с	Тактов/байт
ЦП, 1 ядро/поток				
«openssl-cgost»	18	143	-	-
«ghash»	49	52	-	-
«kazumgov»	-	-	38	67
«Авторская»	64	40	94	27
ЦП, 8192 потока данных				
«Авторская»	1697	-	608	-

В работе [8] были обнаружены некоторые слабые стороны алгоритма ГОСТ с теоретической точки зрения, в то время как из работы [9] можно сделать вывод, что на практике невозможно осуществить атаку на полнораундовую функцию «Стрибог».

Группа исследователей из университета «Конкордия» провели интегральный криптоанализ алгоритма AES, который является базовым для функции «Стрибог» [10]. Результатом исследования использования стало получение значений от  $2^{64}$  до  $2^{120}$  входных или среднераундовых значений при разных условиях нахождения различителя.

**Выводы**

1. Новый стандарт проще в реализации и оптимизации как алгебраически, так и для конкретной платформы.
2. Криптографическая стойкость нового российского алгоритмы получения хэш-функции выше, чем у старого стандарта ГОСТ.

3. Новая функция «Стрибог» обладает значительной криптостойкостью и на настоящий момент является недостижимой для полного теоретического взлома.

#### Литература

1. Информационная технология. Криптографическая защита информации. Функция хэширования. ГОСТ Р 34.11-2012. М.: Стандартинформ, 2012. - 38с.
2. Информационная технология. Криптографическая защита информации. Функция хэширования. ГОСТ Р 34.11-94. М.: Госстандарт России, 1994.- 23с.
3. ГОСТ 28147-89 Системы обработки информации. Защита криптографическая. Алгоритм криптографического преобразования – М.: Госстандарт СССР, 1989.
4. Бабенко Л.К., Ищукова Е.А. Анализ алгоритма ГОСТ 28147-89: поиск слабых блоков // Известия ЮФУ. Технические науки. Тематический выпуск «Информационная безопасность». – Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ. – 2014. – № 2(151) – С. 148–157.
5. Бабенко Л.К., Ищукова Е.А. Использование слабых блоков замены для линейного криптоанализа блочных шифров // Известия ЮФУ. Технические науки. Тематический выпуск «Информационная безопасность». – Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ. – 2014. – № 2(151). – С. 136–147.
6. Криптографическая защита информации. Процессы формирования и проверки электронной цифровой подписи. ГОСТ Р 34.10-2012. М.: Стандартинформ, 2012. - 38 с.
7. Лебедев П.А. «Параллельные вычисления и задачи управления». Материалы конференции // Москва, <http://paco2012.ipu.ru/procdngs/F108.pdf> // 2012 г. с. 266-272
8. F. Mendel, N. Pramstaller, C. Rechberger, M. Kontak, and J. Szmidi. Cryptanalysis of the GOST hash function. In D. Wagner, editor, *Advances in Cryptology CRYPTO 2008*, volume 5157 of LNCS, pages 162–178.
9. R. R. 2. 2. h. Riham AlTawy and Amr M. Youssef. Integral Distinguishers for Reduced-round Stribog. *Cryptology ePrint Archive*.
10. Jian Guo and Jérémy Jean and Gaëtan Leurent and Thomas Peyrin and Lei Wang. The Usage of Counter Revisited: Second-Preimage Attack on New Russian Standardized Hash Funct. *Cryptology ePrint Archive*, Report 2014/675, 2014. <http://eprint.iacr.org/2014/675>.

#### References

1. Informatsionnaya tekhnologiya. Kriptograficheskaya zashchita informatsii. Funktsiya kheshirovaniya. GOST R 34.11-2012. M.: Standartinform, 2012. - 38s.
2. Informatsionnaya tekhnologiya. Kriptograficheskaya zashchita informatsii. Funktsiya kheshirovaniya. GOST R 34.11-94. M.: Gosstandart Rossii, 1994.- 23s.
3. GOST 28147-89 Sistemy obrabotki informatsii. Zashchita kriptograficheskaya. Algoritm kriptograficheskogo preobrazovaniya – M.: Gosstandart SSSR, 1989.
4. Babenko L.K., Ishchukova E.A. Analiz algoritma GOST 28147-89: poisk slabykh blokov // Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki. Tematicheskii vypusk «Informatsionnaya bezopasnost'». – Taganrog: Izd-vo TTI YuFU. – 2014. – № 2(151) – S. 148–157.
5. Babenko L.K., Ishchukova E.A. Ispol'zovanie slabykh blokov zameny dlya lineynogo kriptanaliza blochnykh shifrov // Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki. Tematicheskii vypusk «Informatsionnaya bezopasnost'». – Taganrog: Izd-vo TTI YuFU. – 2014. – № 2(151). – S. 136–147.
6. Kriptograficheskaya zashchita informatsii. Protsessy formirovaniya i proverki elektronnoy tsifrovoy podpisi. GOST R 34.10-2012. M.: Standartinform, 2012. - 38 s.
7. Lebedev P.A. «Parallelnye vychisleniya i zadachi upravleniya». Materialy konferentsii // Moskva, <http://paco2012.ipu.ru/procdngs/F108.pdf> // 2012 g. s. 266-272
8. F. Mendel, N. Pramstaller, C. Rechberger, M. Kontak, and J. Szmidi. Cryptanalysis of the GOST hash function. In D. Wagner, editor, *Advances in Cryptology CRYPTO 2008*, volume 5157 of LNCS, pages 162–178.
9. R. R. 2. 2. h. Riham AlTawy and Amr M. Youssef. Integral Distinguishers for Reduced-round Stribog. *Cryptology ePrint Archive*.
10. Jian Guo and Jérémy Jean and Gaëtan Leurent and Thomas Peyrin and Lei Wang. The Usage of Counter Revisited: Second-Preimage Attack on New Russian Standardized Hash Funct. *Cryptology ePrint Archive*, Report 2014/675, 2014. <http://eprint.iacr.org/2014/675>.

DOI:

Сокол-Кутыловский О.Л.

Доктор технических наук, Институт геофизики Уральского отделения Российской Академии наук  
**ГЕНЕРАЦИЯ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ВО ВРАЩАЮЩЕМСЯ МЕТАЛЛИЧЕСКОМ ПРОВОДНИКЕ**

*Аннотация*

*Показано, что вращающийся во внешнем магнитном поле металлический немагнитный проводник (в форме полого цилиндра) генерирует вторичное мультипольное магнитное поле, величина которого пропорциональна скорости вращения и величине первичного магнитного поля, а также зависит от удельного электрического сопротивления вращающегося проводника, его формы и размеров.*

**Ключевые слова:** магнитное поле, сила Лоренца, генерация мультипольного магнитного поля.

Sokol-Kutylovskii O.L.

PhD in Engineering, Institute of Geophysics of Ural Branch of the Russian Academy of Sciences  
**GENERATION OF MAGNETIC FIELD IN THE ROTATING METALLIC CONDUCTOR**

*Abstract*

*It is shown that the non-magnetic metallic conductor (in the form of a hollow cylinder) which rotates in external magnetic field generates a secondary multipole magnetic field which is proportional to the rotation speed and magnitude of the primary magnetic field, and also depends on the electrical resistivity of the rotating conductor of its shape and size.*

**Keywords:** magnetic field, Lorentz force, the generation of the multipole magnetic field.

Известно, что постоянное магнитное поле возникает вокруг равномерно движущихся электрически заряженных частиц, например, вокруг проводника с электрическим током, а также создается ферро- и ферримагнетиками, в которых макроскопический магнитный момент обусловлен внутриаомными токами. А может ли возникнуть постоянное магнитное поле в немагнитном металлическом проводнике, через который не пропускают электрический ток? Простой эксперимент с вращением полого металлического немагнитного цилиндра во внешнем магнитном поле показывает, что в нем может возникнуть вторичное магнитное поле [1]. При скорости вращения алюминиевого полого цилиндра 60 радиан в секунду в постоянном магнитном поле  $\sim 1.6 \cdot 10^{-4}$  Тл создается вторичное магнитное поле, ортогональное внешнему магнитному полю (Рис. 1). Вторичное поле по величине достигает  $\sim 10^{-4}$  Тл в центральной части цилиндра на расстоянии 5÷10 мм от его поверхности. Вращающийся алюминиевый цилиндр имел внешний диаметр 200 мм, длину 200 мм и толщину стенок 20 мм.

За эффект генерации вторичного магнитного поля ответственна сила Лоренца, действующая на электроны вращающегося проводника. Она вызывает в проводнике замкнутые циркулирующие электронные токи, генерирующие вторичное магнитное поле. В сечении цилиндра генерируемое вторичное магнитное поле является мультипольным, а вторичное магнитное поле всего проводника в целом – дипольное. Мультипольная структура генерируемого магнитного поля, наблюдаемая в поперечном сечении проводника, обусловлена его геометрической формой, определяющей пути течения электрических токов, создаваемых движением электронов под действием силы Лоренца, и распределением электрических потенциалов внутри проводника. В связи с такой структурой, генерируемое магнитное поле убывает с расстоянием от проводника значительно быстрее, чем поле классического магнитного диполя.

В общем случае величину максимальной магнитной индукции и направление максимального магнитного момента, генерируемого при вращении металлического немагнитного проводника во внешнем магнитном поле, можно оценить по формуле:

$$\mathbf{B}_m = k_m(\sigma, d)[\mathbf{B}_0 \times \boldsymbol{\omega}], \quad (1)$$

где  $\mathbf{B}_m$  – максимальная магнитная индукция, генерируемая вращающимся проводником,  $k_m(\sigma, d)$  – коэффициент, зависящий от проводимости, формы и размеров проводника;  $\mathbf{B}_0$  – внешнее постоянное магнитное поле и  $\boldsymbol{\omega}$  – вектор угловой скорости вращения проводника. Коэффициент  $k_m(\sigma, d)$  пропорционален проводимости, толщине и радиусу вращения проводника.

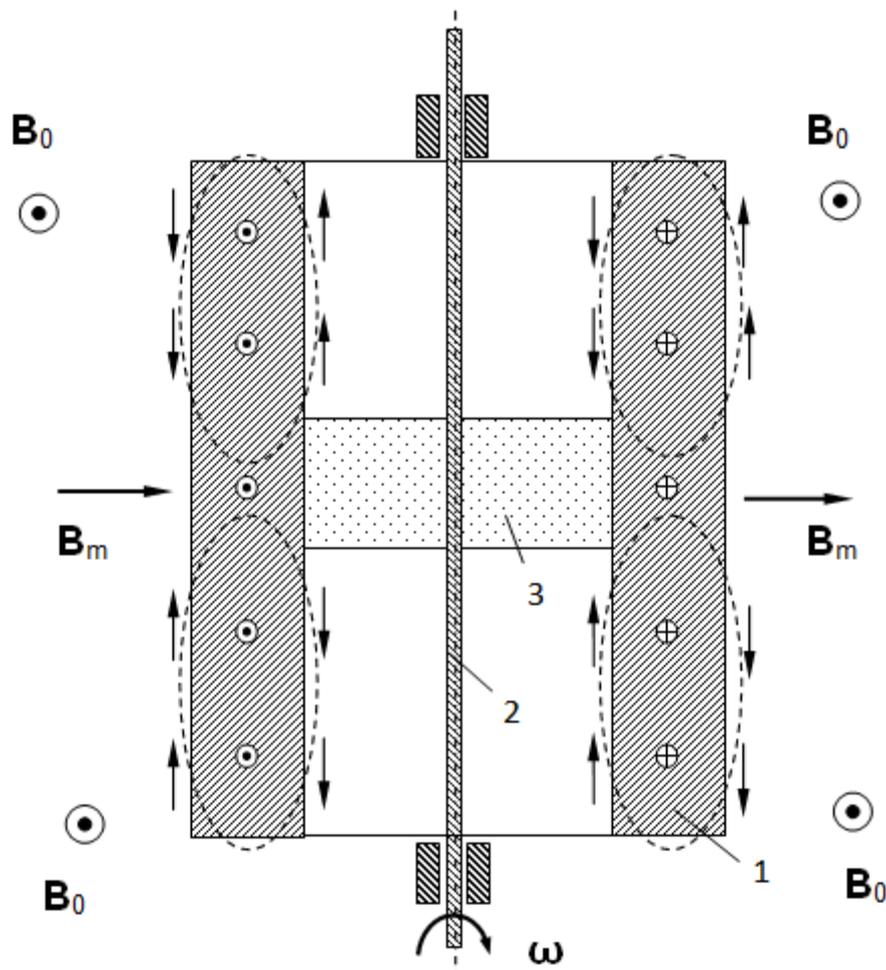


Рис. 1 – Сечение вращающегося полого алюминиевого цилиндра 1, закрепленного на оси 2 через неметаллическую опору 3.  $B_0$  – внешнее постоянное магнитное поле,  $\omega$  – вектор угловой скорости вращения,  $B_m$  – генерируемое суммарное магнитное поле. Стрелками показано направление магнитной индукции, генерируемой локальными токовыми диполями проводника. Мелкими кружками с точками и с крестами показано направление движения электронов при вращении проводника.

Величина генерируемой магнитной индукции, естественно, зависит от расстояния между вращающимся проводником и точкой измерения вторичной магнитной индукции. Разрезанный вдоль продольной оси полый металлический цилиндр сохраняет при вращении во внешнем магнитном поле способность к генерации вторичного магнитного поля.

Сплошной металлический цилиндрический проводник при вращении во внешнем магнитном поле также генерирует вторичное магнитное поле, но несколько меньшей величины, чем полый цилиндр. Полый проводящий цилиндр со стенками, навитыми из алюминиевой фольги, генерирует вторичное магнитное поле, величина которого прямо пропорциональна числу слоев фольги, то есть толщине проводника.

Таким образом, практически любой вращающийся во внешнем магнитном поле металлический немагнитный проводник генерирует вторичное магнитное поле, прямо пропорциональное внешнему постоянному магнитному полю и угловой скорости вращения. При этом сам вращающийся в магнитном поле (в том числе в магнитном поле Земли) проводник подобен униполярной электрической машине с короткозамкнутым ротором [2].

То, что эффект создается именно внешними, валентными электронами проводника следует из сильного влияния электронной проводимости материала вращающегося цилиндра на величину эффекта. Цилиндр из более проводящего металла создает большее по величине вторичное магнитное поле, чем цилиндр из менее проводящего металла или металлического сплава при прочих равных условиях (внешнее магнитное поле, частота вращения, размеры). По современным представлениям, электрическая проводимость пропорциональна средней длине свободного пробега электронов, которая в металлах и металлических сплавах превышает межатомные расстояния в тысячи раз. При этом считается, что на длине свободного пробега электроны ведут себя, подобно свободным частицам: они обладают инерцией, то есть стремятся сохранить имеющееся в данный момент состояние движения. На это прямо указывают опыты Стюарта и Толмена с торможением вращающихся катушек [3], а также инерционные свойства свободных электронов, проявляющиеся в электрическом токе самоиндукции [4]. На электроны могут оказывать влияние электромагнитные и гравитационные силы. Пример действия гравитационных сил – это работа униполярного индуктора, осуществляемая центробежной силой, действующей на внешние электроны вращающегося металлического проводника [3]. Эффект генерации вторичного магнитного поля в проводнике, вращающемся в магнитном поле, – это пример действия силы Лоренца на внешние электроны проводника, которые начинают перемещаться от одного атома к другому. Расстояние, проходимое электронами в непрерывном движении между атомами проводника соответствует длине свободного пробега, как если бы эти электроны были свободными. Большая

длина свободного пробега электронов в проводниках – эффект, который наблюдается в металлах и металлических сплавах, когда их удельное электрическое сопротивление не превышает  $\sim 2 \cdot 10^{-6}$  Ом·м [4]. При большем удельном электрическом сопротивлении проводника «длина свободного пробега» электронов равна расстоянию между соседними атомами, и в таком случае исчезает явление самоиндукции, прекращается работа униполярного генератора и генерация внутреннего магнитного поля вращающимся проводником.

Если внешнего магнитного поля нет, то и в этом случае вращающийся немагнитный проводник может генерировать собственное магнитное поле. В этом случае на свободные электроны проводника должна действовать другая, например, центробежная сила, как в униполярном индукторе. Для этого необходимо соединить центральный и периферийный участки быстро вращающегося проводника через токосъемные кольца. Другие силы инерции также способны привести электроны проводника в направленное движение и создать вокруг него магнитное поле. При торможении вращающихся проводников – это сила инерции вращательного движения (опыты Стюарта и Толмена), а при прямолинейном торможении – сила Ньютона.

Вторичное магнитное поле будет практически отсутствовать в тонком металлическом диске, ось которого совпадает с осью вращения, а вектор внешнего магнитного поля параллелен плоскости этого диска. При равномерном вращении такого набора диска с изолированными элементами со скоростью до 200 оборотов в секунду величина вторичной магнитной индукции практически отсутствовала (с погрешностью  $\sim 10^{-6}$  от магнитной индукции внешнего поля) при ортогональном расположении оси вращения по отношению к вектору внешнего магнитного поля. Это показывает, что никаких других механизмов возбуждения вторичного магнитного поля, кроме как описанных выше, нет. В этом эксперименте действие силы Лоренца исключалась конструкцией вращающегося проводника. Вторичное магнитное поле также не возникает в разомкнутом (медном) соленоиде при его вращении вдоль продольной оси.

Наблюдаемая в этой простой динамической системе сложная структура магнитного поля может быть тем звеном, которое поможет понять причину возникновения макроскопического магнитного момента в магнетиках.

#### Литература

1. Сокол-Кутыловский О.Л. Эффект генерации мультиполярного магнитного поля. //Практика приборостроения 2003, № 3, С. 85-88.
2. Тамм И.Е. Основы теории электричества. 9 изд., М.: Наука, 1976. 504 с.
3. Зисман Г.А., Тодес О.М. Курс общей физики. М.: Наука, 1969, т. 2. 366 с.
4. Сокол-Кутыловский О.Л. Об электродинамике проводящих сред. // Практика приборостроения. 2003. № 2, С. 85-90.

#### References

1. Sokol-Kutylovskij O.L. Jeffect generacii mul'tipol'nogo magnitnogo polja. //Praktika priborostroenija 2003, № 3, S. 85-88.
2. Tamm I.E. Osnovy teorii jelektrichestva. 9 izd., M.: Nauka, 1976. 504 s.
3. Zisman G.A., Todes O.M. Kurs obshhej fiziki. M.: Nauka, 1969, t. 2. 366 s.
4. Sokol-Kutylovskij O.L. Ob jelektrodinamike provodjashih sred. // Praktika priborostroenija. 2003. № 2, S. 85-90.

DOI: 10.18454/IRJ.2016.45.126

Сухинина Т.В.<sup>1</sup>, Стрепетова О.А.<sup>2</sup>, Бобылева О.В.<sup>3</sup>, Горбачева М.В.<sup>4</sup>, Сапожникова А.И.<sup>5</sup>

<sup>1</sup> ORCID: 0000-0002-6130-8960 Старший преподаватель, <sup>2</sup> ORCID: 0000-0002-5651-7936 Старший преподаватель, <sup>3</sup> ORCID: 0000-0003-4726-8330 Старший преподаватель, <sup>4</sup> ORCID: 0000-0003-3654-4440 Кандидат технических наук, <sup>5</sup> ORCID: 0000-0001-5040-6998 Доктор технических наук, ФГБОУ ВО МГАВМиБ – МВА имени К.И. Скрябина

**ПУТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ПЕРЕРАБОТКИ ПРОДУКЦИИ КРОЛИКОВОДСТВА**

*Аннотация*

*Статья посвящена основным вопросам совершенствования переработки продукции кролиководства, включающей вовлечение в производственный оборот дополнительные виды сырья и отходы в качестве исходного материала для разработки новых видов товаров.*

**Ключевые слова:** шкурки кролика, кролиководство, полуфабрикат, отходы, коллаген, кератин.

Suhinina T.V.<sup>1</sup>, Strepetova O.A.<sup>2</sup>, Bobyleva O.V.<sup>3</sup>, Gorbacheva M.V.<sup>4</sup>, Sapozhnikova A.I.<sup>5</sup>

<sup>1</sup> ORCID: 0000-0002-6130-8960, senior lecturer, <sup>2</sup> ORCID: 0000-0002-5651-7936, senior lecturer, <sup>3</sup> ORCID: 0000-0003-4726-8330, senior lecturer, <sup>4</sup> ORCID: 0000-0003-3654-4440 PhD in Engineering, <sup>5</sup> ORCID: 0000-0001-5040-6998 PhD in Engineering, Moscow SAVMB.

**WAYS OF IMPROVING THE PROCESSING OF RABBIT HUSBANDRY**

*Abstract*

*The article is devoted to the main issues of improving processing of rabbit production, including involvement in production and trafficking of additional raw materials and waste as a starting material for the development of new products.*

**Keywords:** hides of rabbit, rabbit husbandry, prefabricated, waste, collagen, keratin.

**А**гропромышленный комплекс в целом и его базовая отрасль – сельское хозяйство являются ведущими системообразующими сферами экономики страны, формирующими потребительский рынок, продовольственную и экономическую безопасность страны, трудовой и поселенческий потенциал сельских территорий [8,13].

Одними из приоритетных направлений развития отечественного животноводства (звероводства и кролиководства) и меховой промышленности является создание наукоемких ресурсосберегающих технологий, позволяющих не только рационально использовать ресурсный потенциал отраслей сельского хозяйства, но и производить экологически чистую продукцию с устойчиво высокой конкурентоспособностью на внутреннем и внешнем потребительском рынке.

В настоящее время, резервный потенциал отрасли животноводства - кролиководческий комплекс страны, который при эффективном управлении в краткосрочной перспективе сможет занимать значительную долю сегмента на рынке, с открывающимися для него перспективами развития.

Кроме того, все более актуальными и часто обсуждаемыми на различных агропромышленных форумах, семинарах и выставках становятся вопросы освоения технического уровня и качества продукции кролиководства для усиления влияния и обеспечения стабильного функционирования [12].

Решение данной задачи тесно связано с необходимостью внедрения комплексной переработки продукции кролиководства, включающей вовлечение в хозяйственный оборот дополнительные виды сырья и отходы в качестве исходного материала для разработки новых видов товаров.

Важно отметить, что подобное технологическое решение позволит расширить ассортимент выпускаемой продукции кролиководства, снизить себестоимость, уменьшит экологическую нагрузку на окружающую среду [1,7,9,10].

Таким образом, своевременность и важность поставленной проблемы очевидна, так как переработка дополнительных видов убоя кролиководства и отходов представляет собой системный процесс, состоящий из нескольких этапов, начиная от сбора, производства и заканчивая реализацией специализированных, обогащенных витаминами, белками, минеральными веществами и микроэлементами продуктов. Немаловажную роль играет и экологический аспект утилизации промышленных отходов, которые возведены в ранг приоритетных задач государства.

**Цель работы** – разработка комплексной технологии переработки дополнительной продукции убоя и отходов кролиководства.

**Объекты исследования** - различные дополнительные виды сырья и отходы кролиководства (внутренний и подкожный жир, внутренние органы, кишечное сырье, кроличьи лапы, уши, головы, волос, некондиционные шкурки и их обрезки).

Существует большое количество сырьевых средств, преимущественно отходов, которые можно использовать (непосредственно или после переработки) в качестве корма для животных или для производства микробного белка [1].

Научно-исследовательская работа состоит из нескольких модулей, каждый из которых сформирован с учетом индивидуальных особенностей строения, химического состава и свойств исходного материала, в связи, с чем конечный продукт обладает различным производственным назначением и имеет специфику переработки.

На рисунке 1 приведена схема ассортиментной линейки продукции кролиководства, в таблице 1 представлены данные возможного использования продукции кролиководства.

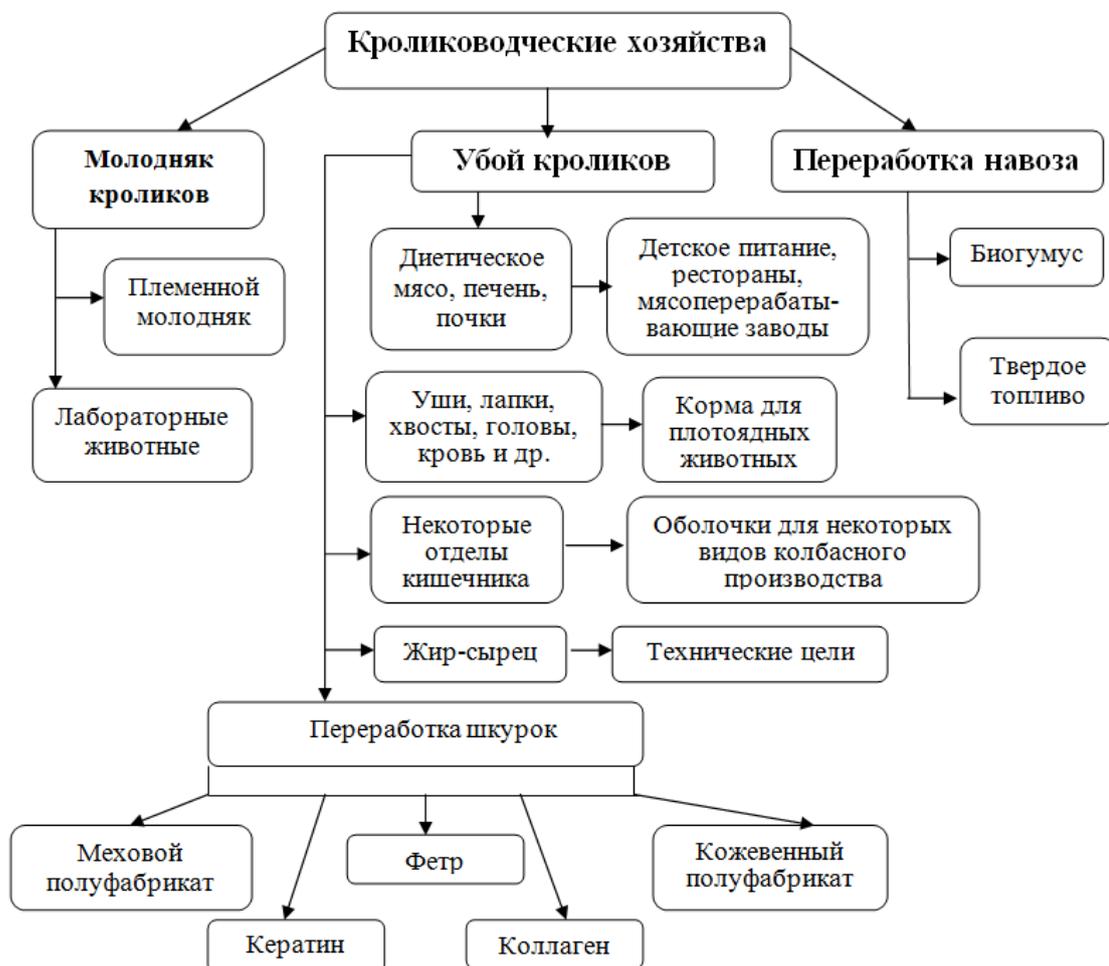


Рис. 1 - Схема ассортиментной линейки продукции кролиководства и получения дополнительных видов продукции (рисунок Сапожникова А.И., Бобылева О.В.)

Таблица 1 – Использование продукции кролиководства

Вид отходов		Пути использования	
		традиционные	инновационные
Шкурка не пригодная на меховой полуфабрикат	кожевая ткань	клей	кожгалантерейные изделия коллаген пищевой, косметический, медицинский
	волос и пух		
лапки, уши, хвосты		кормовая белковая добавка	Клей, «лакомство» для домашних животных
кровь			фибропектин
кишечник			оболочка для колбасок
субпродукты, т.ч - желудки			как сычужный фермент
кости		кормовая мука	-

Шкурковую продукцию кролиководства, в отличие от многих видов сырья мехового производства, получают в течение года, и не всегда первосортные, так как разведение кроликов направлено в основном на получение мяса [10]. Меховые изделия из шкурок кролика очень популярны среди российских покупателей, что обусловлено ее легкостью, доступностью по цене, разнообразием цветовой гаммой естественной окраски волосяного покрова и ассортиментом изделий [2,9].

В последнее время, повышенный интерес у производителей в нашей стране и за рубежом, вызывает кожевенный полуфабрикат, полученный из шкурок кролика. Кроме того, из шкурок непригодных для выработки меховых изделий, можно выделывать такие виды кож, как: хром, лайка, замша, велюр и изготовить различные виды товаров: перчатки, ремешки, дамские сумочки, кошельки, пилотки и легкую обувь. Из шкурок низких сортов, а также взрослых кроликов и молодняка получают кожи, которые целесообразно использовать в качестве подкладочного материала и отделки одежды. Существуют сведения [9,10,11], что полуфабрикат с лицевыми пороками подвергают тиснению, например под кожу крокодила, и используют на галантерейные изделия; кожа без пороков идет на изготовление детской обуви.

Первый этап работы был направлен на изучение возможности получения кожевенного, мехового полуфабриката, а также дополнительной продукции (растворов коллагена и кератина). Следует отметить, что все шкурки кролика были получены в летний период (т.е. не сортовые), средняя площадь сырья - 1780 см<sup>2</sup>.

Исходя из органолептической оценки качества изучаемой партии, были сформированы 3 партии: шкурки для получения мехового (партия 1), кожевенного полуфабриката (партия 2), и отбракованные (партия 3), т.е. не отвечающие критериям партии 1 и 2 – для выработки коллагена и кератина.

Таким образом, сырье для переработки в меховой полуфабрикат имело следующие характеристики свойств: по состоянию волосяного покрова - полуволосые, связь волоса с дермой достаточно прочная; отмечено некоторое поредение остевого волоса на боку и череве, при этом других пороков по волосяному покрову определено не было; со стороны кожного покрова выявлена синева на огулке и местами на хребте.

Шкурки для получения кожевенного полуфабриката по состоянию волосяного покрова - полуволосые со стороны волосяного покрова выявлены такие пороки как вытертые места и плешины общей площадью около 30%.

Следует отметить, что в данной партии связь волоса с дермой менее прочная, со стороны кожного покрова, а также преобладала синева на огулке и местами на хребте.

Далее отобранные шкурки были выделаны согласно традиционным технологиям для выделки в меховой и кожевенный полуфабрикат. Что касается партии 3, то эксперимент базировался на ранее запатентованных способах получения белка.

Как известно [2,9,11], технологическая цепочка переработки шкурок кролика для кожевенного и мехового производства имеет ряд различий в операциях выделки, касающихся процессов обезволаживания и обеззоливания, а также дубления. Например, для дубления голя были использованы более высокие концентрации дубителя и более низкие жидкостные коэффициенты, начиная с пикелевания.

Обезволаживание шкурок кролика кожевенного назначения проводили намазным способом по мездряной стороне, с целью сохранения волоса, для дальнейшего его использования. После выделки была проведена органолептическая оценка.

*Меховой полуфабрикат* – обладал хорошей потяжкой, кожевая ткань мягкая и пластичная, несмотря на то, что несколько утолщена; волосяной покров мягкий, шелковистый, однако недостаточно полноволосяй.

*Кожевенный полуфабрикат* – светлой окраски, без явно выраженных оттенков, по лицевой стороне хорошо просматривался характерный рисунок - меря. На ощупь полуфабрикат эластичный с хорошей потяжкой.

К химическому составу относят: содержание белка, влаги, жировых и минеральных веществ, в том числе окиси хрома [2,11]. Оценку качества исследуемого полуфабриката из шкурок кролика проводили, опираясь на нормативно-техническую документацию: для мехового полуфабриката - ГОСТ 2974-75; для кожевенного – на ГОСТ 15091-80 [3,4]. Результаты химического состава партии 1 и партии 2 приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Некоторые показатели химического состава кожевенного и мехового полуфабриката из шкурок кролика n=4

Наименование образца	Влага, %	Содержание, % от абсолютно сухого вещества		
		жировые вещества	минеральные вещества	окись хрома
Меховой полуфабрикат	14,00±0,3	14,40±0,20	3,30±0,10	0,05±0,01
ГОСТ 2974-75	не более 14	12-20	-	0,5-1,5
Кожевенный полуфабрикат	12,10±0,1	16,20±0,30	3,50±0,30	0,09±0,01
ГОСТ15091-80	10-16	4 – 18	-	Не менее 3

Содержание влаги существенно влияет на толщину, площадь, массу, теплопроводность, прочность и другие свойства полуфабриката [2,11]. Как видно из представленных данных, по содержанию влаги меховой и кожевенный полуфабрикат из шкурок кролика соответствует нормам ГОСТ 15091-80 Галантерейные кожи и ГОСТ 2974-75 Шкурки кролика выделанные [3,4].

Немаловажным показателем, оказывающим влияние на технологические свойства материала - количество жировых веществ в полуфабрикате, которые вводят в структуру кожи и кожаной ткани в процессе производства для повышения ее водостойкости, мягкости, тягучести. По полученным данным жировые вещества в опытных образцах в пределах установленных норм [3,4].

Дубление проводили с применением альдегида и вспомогательного вещества Moutotan, имеющего в своем составе окись хрома, который был выявлен в незначительных количествах как в меховом (0,05%), так и в кожевенном (0,09%) полуфабрикате.

Температура сваривания характеризует степень продубленности шкурок и с ее повышением понижаются пластические свойства кожаной ткани. pH водной вытяжки определяется при анализе почти всех видов меха, так как свободная кислота, оставшаяся в кожаной ткани после различных обработок, вызывает постепенное снижение прочности кожаной ткани и ниток, которыми сшивают шкурки [2,11]. Данные приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Некоторые физические свойства мехового и кожевенного полуфабриката из шкурок кролика n=4

Показатели	Температура сваривания, °C	Водородный показатель
Меховой Полуфабрикат	70,10±0,65	4,5±0,5
<b>Требования ГОСТ 2974-75</b>	<b>Не ниже 65</b>	<b>3,5-7,0</b>
Кожевенный Полуфабрикат	85,00± 0,95	5,5±0,4

Согласно представленным данным исследуемый меховой полуфабрикат из шкурок кролика соответствовал требованиям ГОСТ 2974-75, что свидетельствует о правильно проведенной технологии выделки.

Что касается, температуры сваривания кожевенного полуфабриката, то она зависит от способа дубления и назначения кож, и находится в пределах от 65<sup>0</sup>C для жирового дубления, до 130<sup>0</sup>C для хромового и для кож альдегидного способа от 80-120<sup>0</sup>C [11]. Исходя из данных литературы, можно утверждать, что полученный материал соответствует качественным характеристикам кожи по показателям температуры сваривания и pH.

Таким образом, партия 1 и 2, полученная из несортного сырья, вполне отвечает установленным нормам и может быть использована для различных видов изделий. Однако, для расширения ассортимента продукции кролиководства и улучшения ее качества, целесообразно технологическую цепочку получения различного вида полуфабриката дополнить рядом отделочных операций.

Далее были изучены некоторые показатели химического состава партии 3 для возможности научного подхода и обоснования ее производственного назначения.

Таблица 4 – Некоторые показатели химического состава исследуемого сырья n =4

Вид сырья	Влага, %	Содержание, % от абсолютно сухого вещества		
		Жировых веществ	Минеральных веществ	Белка
Кожевая ткань	10,3±0,3	23,3±0,4	1,5±0,1	74,8±0,5
Кроличий волос	13,6±0,4	2,3±0,2	3,6±0,2	93,5±0,5

Экспериментально установлен (таблица 4), что основную массу в волосе и кожаной ткани составляет белок - 93,5 и 74,8 %, соответственно, что дает основание использовать данный материал, полученный от шкурок кролика, для наработки кератина и коллагена. Полученное голье перерабатывали на коллаген, а волос – на кератин, для

выполнения поставленной цели были взяты методики, разработанные сотрудниками кафедры товароведения, технологии сырья и продуктов животного и растительного происхождения имени С.А. Каспарьянца ФГБОУ ВО МГАВМиБ – МВА имени К.И. Скрябина.

Принцип методов наработки белка заключается в поэтапной обработке кератин- и коллагенсодержащих материалов. Для получения кератина используют окислительные смеси щелочного и кислотного характера [5]; для коллагена применяют щелочно-солевые растворы, позволяющие вначале удалить биополимеры в дерме, а затем растворить очищенный от примесей коллаген в слабой уксусной кислоте [6].

Совокупность технологических приемов, описанных в патенте, способствовала наиболее оптимально подобрать рациональные концентрации и режимы растворения для каждого изучаемого материала.

Результаты с учетом продолжительности, полноты растворения, выхода готового продукта представлены в таблицах 5-6.

Таблица 5 – Технологические параметры получения кератина

Наименование процесса (операции)	τ, ч	Состав рабочих растворов, концентрации входящих веществ
Пероксидно - щелочная обработка	24	1,5% NaOH + 1,5% H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>
Нейтрализация	-	0,1N HCl
Удаление неорганических примесей	2	H <sub>2</sub> O
Пероксидно - щелочная обработка	18	1,0% NaOH + 1,0% H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>
Нейтрализация	-	0,1N HCl
Удаление неорганических примесей	2	H <sub>2</sub> O
Перерастворение	3-6	0,1N NaOH
Консервант	-	2 мл/л

Следует отметить, что гистологические особенности строения кератисодержащего сырья оказывают определенное влияние не только на время и условия его растворения, но и на процент выхода конечного продукта. В связи с этим, для данного вида сырья перед растворением был экспериментально подобран жидкостной коэффициент (Ж.К.), показывающий отношение объема обрабатываемой жидкости к единице объема обрабатываемого сырья и составил 1:20. При обработке сырья пероксидно-щелочным раствором разрушается система связей между отдельными морфологическими компонентами, что приводит к полному растворению материала [5]. Таким образом, рабочий раствор использовали в концентрации 1,5% каждого компонента, а для повторной обработки - уменьшали до 1%.

Таблица 6 – Технологические параметры получения коллагена

Наименование процесса (операции)	τ, ч	Состав рабочих растворов, концентрации входящих веществ
Щелочно-солевая обработка	48	5% NaOH + 0,7M Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
Нейтрализация	-	0,1N HCl
Удаление неорганических примесей	24	H <sub>2</sub> O
Растворение 1	18	0,75M CH <sub>3</sub> COOH
Растворение 2	24	0,2M CH <sub>3</sub> COOH
Диализ растворенного коллагена	24	H <sub>2</sub> O
Перерастворение коллагена	3-6	0,2M CH <sub>3</sub> COOH
Консервант	-	3мл/л

Определено, что для растворения голя требуется более низкие концентрации щелочно-солевых растворов, что вероятно обусловлено предварительным воздействием щелочными реагентами при обезвоживании шкурки. Кроме того, более низкие концентрации уксусной кислоты способствуют сокращению времени в ходе технологической переработки.

Одним из необходимых элементов системы качества любого технологического процесса является окончательный анализ готовой продукции [7]. Оценку качества готовой продукции (кератина и коллагена), полученной из шкурок кролика, проводили по физико-химическим показателям (таблице 7).

Таблица 7 – Характеристика некоторых показателей качества готовой белковой продукции

Наименование показателя	Характеристика или количественное значение	
	Кератин	Коллаген
Внешний вид, цвет	Однородная жидкая масса, светло-бежевого цвета	Вязкая жидкость, бесцветная, со специфическим запахом
Водородный показатель (рН)	6,5	3,5
Плотность, г/см <sup>3</sup>	1,035	1,047
Содержание влаги, %	83,2	96,5
Сухое вещество, %	16,8	3,5

Полученные данные позволяют говорить о правильно подобранных технологических параметрах, так выход готовой продукции (на 100г исходного сырья) составляет 320 г кератина и 800г коллагена, с массовой долей белка около 99%, что свидетельствует о химической чистоте полученного готового продукта.

В заключении важно отметить, что систематизация комплексной переработки продукции убоя кроликов открывает новые возможности освоения рынков и продвижение конкурентоспособной продукции, полученной на базе разработанных технологий производств.

### Литература

1. Бобылева О.В. Экологические аспекты утилизации промышленных кератинсодержащих биоматериалов / О.В. Бобылева, М.В. Горбачева // Современные проблемы зоологии, экологии и охраны природы: Мат.чтений и научной конф., посвящ. памяти проф. Андрея Григорьевича Банникова, и 100-летию со дня его рождения. – М.: «Сельскохозяйственные технологии», 2015. – С.265-269.
2. Беседин А.Н. Товароведение и экспертиза меховых товаров: учебник для вузов/ А.Н. Беседин, С.А. Каспарьянц, В.Б. Игнатенко. – М.: Издательский центр «Академия», 2007. – 208 с.
3. ГОСТ 2974-75 Шкурки кролика меховые выделанные. Технические условия. - Взамен ГОСТ 2974-64. – введ. 01.01.1976 – М.: Издательство стандартов, 1988. – 8 с.
4. ГОСТ 15091-80 Кожа галантерейная. Технические условия. - Взамен ГОСТ 15091-69. – введ. 18.11.1980 – М.: Издательство стандартов, 1981. – 14 с.
5. Пат. 2092072 РФ, МПК А23К1/10 Способ получения кератина /А.И. Сапожникова, С.А Каспарьянц, Н.В. Месропова [и др.] – № 95117245/13, заявл. 06.10.1995; опубл. 10.10.1997, БИ № 28.
6. Пат. 2129805 Россия. МКИ<sup>6</sup> Способ получения коллазоля / Каспарьянц С.А., Сапожникова А.И., Белевцова Д.В. - №97121210/13. Заявл. 30. 12.97. Опубл. 10.05.99. Бюл.№13.
7. Сапожникова А.И. Товароведные аспекты вторичного ресурсопользования: проблемы и решения/А.И. Сапожникова, Д.В. Белевцова// Методология и практика современного товароведения: актуальные вопросы и пути совершенствования: международная юбилейная научно-практическая конференция - М.: ФГБОУ ВПО МГАВМиБ, 2014. – С.137 – 140.
8. Семин А.Н. Инновационно-ориентированная стратегия развития Агропродовольственного сектора: региональные аспекты, формирование и реализация/А.Н. Семин//Аграрная экономическая политик. - 2009. - №10. - С.16-24.
9. Стрепетова О.А. К вопросу о возможности использования шкурок кролика различных сезонов заготовки/ О.А. Стрепетова, Т.В. Сухинина, О.В. Бобылева// Дизайн, технологии и инновации в текстильной и легкой промышленности (ИННОВАЦИИ-2015): сборник материалов Международной научно-технической конференции. Часть 2. – М.: ФГБОУ ВПО «МГУДТ», 2015. С.91-95.
10. Сухинина Т.В., Свойства шкурок кролика разных сезонов заготовки/ Т.В. Сухинина, О.А. Стрепетова, А.В. Кузин// Актуальные проблемы товароведения сырья и продуктов животного происхождения, промышленных и продовольственных товаров, экологии: межведомственный юбилейный сборник научных трудов. – М.: ФГОУ ВПО «МГАВМиБ», 2009. – С. 47-50.
11. Тихонова В.П. Спецглавы технологии кожи: учебное пособие/ В.П. Тихонова, Г.Р.Рахматуллина; М-во образ. и науки РФ, Казан. гос. технол. ун-т. – Казань: КГТУ, 2010. – 133 с.
12. АНО кроликовод [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://spkrf.ru/>- Загл.с экрана.
13. Стратегия развития до 2020гг [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.vniesh.ru/documents/document> - Загл.с экрана.

### References

1. Bobyleva O.V. Jekologicheskie aspekty utilizacii promyshlennyh keratinsoderzhashhih biomaterialov / O.V. Bobyleva, M.V. Gorbacheva// Sovremennye problemy zoologii, jekologii i ohrany prirody: Mat.chtenij i nauchnoj konf., posvjashh. pamjati prof. Andreja Grigor'evicha Bannikova, i 100-letiju so dnja ego rozhdenija. – М.: «Sel'skohozjajstvennyye tehnologii», 2015. – S.265-269.
2. Besedin A.N. Tovarovedenie i jekspertiza mehovyh tovarov: uchebnik dlja vuzov/ A.N. Besedin, S.A. Kaspar'janc, V.B. Ignatenko. – М.: Izdatel'skij centr «Akademija», 2007. – 208 s.
3. GOST 2974-75 Shkurki krolika mehovyje vydelannye. Tehnicheskie uslovija. - Vzamen GOST 2974-64. – vveden 01.01.1976 – М.: Izdatel'stvo standartov, 1988. – 8 s.

4. GOST 15091-80 Kozha galanterejnaja. Tehniceskie uslovija. - Vzamen GOST 15091-69. – veden 18.11.1980 – M.: Izdatel'stvo standartov, 1981. – 14 s.
5. Pat. 2092072 RF, MPK A23K1/10 Sposob poluchenija keratina /A.I. Sapozhnikova, S.A. Kaspar'janc, N.V. Mesropova [i dr.] – № 95117245/13, zajavl. 06.10.1995; opubl. 10.10.1997, BI № 28.
6. Pat. 2129805 Rossiya. MKI6 Sposob poluchenija kollazolja / Kaspar'janc S.A., Sapozhnikova A.I., Belevcova D.V. - №97121210/13. Zajavl. 30. 12.97. Opubl. 10.05.99. Bjul.№13.
7. Sapozhnikova A.I. Tovarovednye aspekty vtorichnogo resursopol'zovanija: problemy i reshenija/A.I. Sapozhnikova, D.V. Belevcova// Metodologija i praktika sovremennogo tovarovedenija: aktual'nye voprosy i puti sovershenstvovanija: mezhdunarodnaja jubilejnaja nauchno-praktičeskaja konferencija - M.: FGBOU VPO MGAVMiB, 2014. – S.137 – 140.
8. Semin A.N. Innovacionno-orientirovannaja strategija razvitija Agroproduvol'stvennogo sektora: regional'nye aspekty, formirovanie i realizacija/A.N. Semin//Agrarnaja jekonomičeskaja politik. - 2009. - №10. - S.16-24.
9. Strepetova O.A. K voprosu o vozmožnosti ispol'zovanija shkurok krolika različnyh sezonov zagotovki/ O.A. Strepetova, T.V. Suhinina, O.V. Bobileva// Dizajn, tehnologii i innovacii v tekstil'noj i legkoj promyšlennosti (INNOVACII-2015): sbornik materialov Mezhdunarodnoj nauchno-tehniceskoj konferencii. Chast' 2. – M.: FGBOU VPO «MGUDT», 2015. S.91-95.
10. Suhinina T.V., Svojstva shkurok krolika raznyh sezonov zagotovki/ T.V. Suhinina, O.A. Strepetova, A.V. Kuzin// Aktual'nye problemy tovarovedenija syr'ja i produktov životnogo proishozhdenija, promyšlennyh i produvol'stvennyh tovarov, jekologii: mezhdnomstvennyj jubilejnyj sbornik nauchnyh trudov. – M.: FGOU VPO «MGAVMiB», 2009. – S. 47-50.
11. Tihonova V.P. Specglavy tehnologii kozhi: uchebnoe posobie / V.P. Tihonova, G.R.Rahmatullina; M-vo obraz. i nauki RF, Kazan. gos. tehnol. un-t. – Kazan': KGTU, 2010. – 133 s.
12. ANO krolikovod [Jelektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <http://spkrf.ru/-Zagl.s.jekrana>.
13. Strategija razvitija do 2020gg [Jelektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <http://www.vniiesh.ru/documents/document-Zagl.s.jekrana>.

DOI: 10.18454/IRJ.2016.45.067

Тарасов Д.А.<sup>1</sup>, Спандерашвили Д.В.<sup>2</sup><sup>1</sup>ORCID: 0000-0002-7402-2742, инженер 1 категории, ООО «Газпром добыча Астрахань»,<sup>2</sup>ORCID: 0000-0003-0952-6546, Кандидат технических наук,

Астраханский государственный технический университет

**ВОПРОСЫ ДИЗАЙНА ТЕМПОРАЛЬНЫХ ГИС****Аннотация**

*Основная задача при построении темпоральных ГИС – решение вопроса о том, как лучше структурировать многомерные данные. Данная статья содержит характеристики различных способов организации данных в темпоральных ГИС. Также рассматривается концепция доминирования измерений и её использование в решениях по структурированию данных. Понимание того, как данные будут использованы приложениями, имеет существенное значение в определении того, как будут организованы данные в хранилище и в памяти.*

**Ключевые слова:** ГИС, кластеризация, темпоральность.

Tarasov D.A.<sup>1</sup>, Spanderashvili D.V.<sup>2</sup><sup>1</sup>ORCID: 0000-0002-7402-2742, Ltd "Gazprom добыча Astrakhan", <sup>2</sup>ORCID: 0000-0003-0952-6546,

PhD in Engineering, Astrakhan State Technical University

**TEMPORAL GIS DESIGN ISSUES****Abstract**

*The main problem in the construction of temporal GIS - the question of how best to structure the multidimensional data. This article contains the characteristics of the different ways of organizing the data in the temporal GIS. We also consider the concept of dominance measurement and its use in data structuring solutions. An understanding of how the data will be used by applications, is essential in determining how data is organized in storage and memory*

**Keywords:** GIS, clasterization, temporality.

Одна из основных целей использования ГИС состоит в представлении и анализе изменений в пространственных данных в течение времени. Темпоральные ГИС должны хранить исторические географические состояния; предоставлять методы для определения трендов, циклов, и других аналитических шаблонов для исследования пространственных процессов или прогнозирования будущих состояний. Обобщенно можно выделить следующие функции темпоральных ГИС:

- инвентаризация – хранение полного описания рассматриваемой предметной области и поддержание актуальности между реальным миром и хранимой в системе информацией.
- анализ – объяснение, проработка и прогноз компонентов и процессов.
- обновление – замена устаревшей информации на актуальные данные.
- контроль качества – оценивание логической зависимости новых данных от предыдущих состояний системы.
- планирование – идентификация или предвидение предельных состояний в базе данных, которые требуют определенной реакции от системы.
- динамическая визуализация – представление динамической сводки по изменению определенной области
- статическая визуализация – представление пространственно-временных данных в традиционной картографической форме.

Темпоральные возможности способны значительно расширить возможности применения ГИС, однако при разработке подобных систем возникает ряд проблем. Так, большие массивы данных ставят под угрозу удобство использования и полезность темпоральных ГИС.

Вопрос доминирования измерений состоит в определении первичности измерений в многомерной системе [1]. То есть, какие-либо оси пространства-времени могут являться направляющими измерениями, и ответ на вопрос, - на какие из этих измерений ориентироваться в конкретных условиях анализа, как на доминирующие, является одной из первостепенных задач.

Следующий вопрос – определение темпоральных возможностей, которые могут быть востребованы различными пространственными приложениями, а также, как данные должны быть организованы для максимизации скорости реакции, и обеспечения возможности реализации монолитного дизайна темпоральной ГИС.

В идеале дизайн системы должен удовлетворять всем требованиям темпоральной ГИС. Но в реальности данные кластеризируются в хранилище в зависимости от исходных характеристик и взаимосвязей данных в предметной области.

По причине того, что пространственно-темпоральные данные и пространственно-темпоральные запросы могут быть преимущественно пространственными или преимущественно темпоральными, запросы пользователей к системе также должны различаться по требуемым группировкам данных.[2,3,4]

#### **Текущие аппаратные ограничения.**

В настоящее время большая часть информации хранится на магнитных дисках. Критичным вопросом в дизайне баз данных является минимизация количества обращений системы к магнитному диску, так как большое количество обращений может негативно сказаться на производительности системы в целом. Так переход к in-memory СУБД для хранения данных может привести к росту производительности системы от 10 000 до 300 000 раз.[5]

При разработке дизайна темпоральной ГИС необходимо учитывать механизмы считывания информации с физического диска в оперативную память. Информация в реляционной БД хранится блоками или страницами и при необходимости доступа к определенным данным в оперативную память считывается весь, содержащий данную информацию блок. Соответственно в данном контексте при разработке дизайна необходимо учитывать возможные взаимосвязи данных в запросах, чтобы избежать избыточного переноса данных в оперативную память.

Некоторые типы запросов, применяемых в ГИС, например, проверка качества или глобальный поиск неэффективны даже при оптимизированной кластеризации, так как при выполнении этих запросов происходит обращение ко всей базе данных в целом, и, в данном случае, алгоритм перебирает все данные по очередности их поступления в систему.

В то же время в ГИС часто используются запросы, относящиеся к небольшому набору данных, к таким запросам относятся, например, ad-hoc запросы, которые являются типичными при реализации основных функций ГИС. Данные запросы используются при интерактивной работе с картой, и должны выполняться максимально быстро. По этой причине необходимо особое значение уделять дизайну данных для ускорения работы системы.

#### **Различные аспекты пространственной темпоральности.**

Можно рассмотреть данные ГИС как располагающиеся в гипотетическом пространстве, состоящем из двух пространственных и одного временного измерения. Определим термин **фазовое пространство** для описания этого гипотетического пространства [6]. Если данные, используемые разными ГИС-приложениями, проецируются в это фазовое пространство, скоро станет очевидным, что данное фазовое пространство не однородно и не все оси равноценны. Внутри «пространственной темпоральности» мы можем увидеть горизонтальный срез данных в фазовом пространстве, который представляет снимок последовательности, обычно используемой для определения изменения ландшафта [7]. С другой стороны, мы можем рассматривать изменения ландшафта во времени без рассмотрения атрибутивных осей. Или же мы можем видеть композицию предыдущих двух вариантов, когда данные в фазовом пространстве имеют когерентность как в горизонтальном, так и в вертикальном пространстве. Помимо этого, в зависимости от характера данных, множество разнообразных типов запросов может быть классифицировано как пространственно-темпоральные. Пространственно-темпоральная ГИС должна быть оснащена достаточным инструментарием для обработки всех запросов, но она может быть специализирована для обработки тех запросов, которые будут более частыми, либо более важными. На основе вышесказанного, мы можем сделать вывод, что темпоральная ГИС представляет широкий спектр возможных конфигураций данных и запросов, поддерживающих пространственную темпоральность. Полагая, что данные передаются из хранилища в память блоками и каждый запрошенный блок влияет на общую скорость обработки, можно сделать вывод, что данные должны быть объединены в блоки по предполагаемым запросам.

Различные характеристики пространственно-темпоральных систем предполагают, что схема монолитной кластеризации является неудовлетворительной. Компромиссным решением может стать стратегия единичной кластеризации данных, которая дает хороший результат для всех приложений. Для предоставления наилучшей возможной производительности для данного приложения необходима кластеризация данных в зависимости от специфических потребностей этого приложения. Не только соотношение данных к пространству и времени может иметь значения для определения способа кластеризации. Атрибуты данных также имеют большое значение. Появление атрибутов может быть спроецировано в многомерное фазовое пространство, включающее атрибутивные оси, визуализация которых может производиться по методикам визуализации пространственно-временного фазового пространства.

#### **Литература**

1. Langran, Gail. 1988 "Temporal GIS Design" In Proceeding of GIS/LIS'88, Vol.2, held in San Antonio in December. ACMS, 890-899.
2. Langran, Gail and Chrisman, Nicolas R. 1988. "A Framework for Temporal Geographic Information." Cartographica 25(3): 1-14.

3. Armstrong, Marc P. 1988. "Temporality in Spatial Databases" In Proceeding of GIS/LIS'88, Vol.2, held in San Antonio in December. ACMS, 880-889.
4. Langran, Gail. 1989a. "Accessing Spatiotemporal Information in Temporal GIS" In Proceeding of Auto-Carto 9 held in Baltimore in April. ACSM, 191-198
5. Lagran, Gail. 1989b. "A review of Temporal Database Research and its Use in GIS Applications." International Journal of GIS 3(3) 215-232.
6. Langran, Gail. 1990. "Tracing Temporal Information in an Automated Nautical Charting System" In Proceeding of the ACSM Annual Meeting held in Denver in March. ACMS
7. Frank, Andrew U. 1988. "Requirements for a Database Management System for a Geographic Information System" Photogrammetric Engineering and Remote Sensing 54(11): 1557-1564.
8. Rotem, Doron and Segev, Arie. 1987. "Physical Organization of Temporal Data" In proceeding of the International Conference on Data Engineering held in Los Angeles in February. IEEE, 547-553.

DOI: 10.18454/IRJ.2016.45.044

Фединишина Е.Ю.<sup>1</sup>, Елисеева С.А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ORCID: 0000-0002-5224-7182, Кандидат технических наук, <sup>2</sup>ORCID: 0000-0003-1051-4016,

Кандидат технических наук, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

#### ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ОБРАБОТКИ РАСТИТЕЛЬНОГО И ЖИВОТНОГО СЫРЬЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

*Аннотация*

*В статье приведены результаты изучения технико-эксплуатационных характеристик пароконвекционных аппаратов разных марок, на основе которых были разработаны технологические параметры ресурсосберегающей обработки продукции растительного и животного происхождения пароконвекционными способами.*

**Ключевые слова:** высокотехнологичное оборудование, технологические параметры, пароконвектомат.

Fedinishina E.Yu.<sup>1</sup>, Eliseeva S.A.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ORCID: 0000-0002-5224-7182, PhD in Engineering, <sup>2</sup>ORCID: 0000-0003-1051-4016, PhD in Engineering,

St. Petersburg State Polytechnic University Peter the Great

#### STUDY OF PARAMETERS OF PROCESSING OF VEGETATIVE AND ANIMAL RAW MATERIALS WITH APPLICATION OF HIGH-TECH EQUIPMENT

*Abstract*

*The article presents the results of the study technical and operational characteristics of convection devices of different brands on the basis of which were developed the technological parameters of resource-saving processing of products of plant and animal origin steam convection ways.*

**Keywords:** high-tech equipment, technological parameters, steamer.

**И**нновации в индустрии питания во многом обусловлены использованием современных видов высокотехнологичного теплового оборудования и совершенствованием приемов и методов гидротермической обработки сырья растительного и животного происхождения.

Практика показывает, что эффективную эксплуатацию дорогостоящего оборудования на предприятиях питания затрудняет недостаток научно обоснованных данных по использованию высокотехнологичных аппаратов, в том числе по режимам гидротермической обработки сырья.

На кафедре технологии и организации питания были исследованы технико-эксплуатационные и технологические параметры пароконвектоматов. На рынке представлены модели этого оборудования с широким спектром основных и дополнительных функций. Для испытаний были отобраны четыре модели пароконвектоматов отечественных и зарубежных производителей, работающие в трех основных режимах: варка паром, конвекционная жарка, пароконвекционный режим. Выбранные модели имели одинаковую вместимость рабочей камеры (десять уровней), но различный уровень автоматизации и набор дополнительных опций. Из них две модели работали в пароконвекционном режиме с фиксированной влажностью, две – с регулируемой влажностью.

На первом этапе испытаний были определены такие основные технико-эксплуатационные показатели пароконвекционных аппаратов, как время разогрева до заданной температуры, расход воды, потребляемая мощность, равномерность полей температуры и скорости. Исследования проводились по единой методике, что позволило сравнить полученные данные.

Установлено, что для всех моделей аппаратов в пароконвекционном режиме на холостом ходу среднее время разогрева составляет 8...9 мин. Разница в расходе воды для разных моделей достигает 60%, а электроэнергии – 200%. Причем эти эксплуатационные параметры не зависят от функциональных возможностей модели, а определяются только конструктивными особенностями аппарата.

Измерения равномерности полей температуры и скорости теплоносителя в рабочей камере проводились в конвекционном режиме при температуре 160°C в разных частях камеры при полной загрузке аппарата. Установлено, что среднее время разогрева испытуемых моделей в этом режиме составляет 4-4,5 мин. Разброс температуры в установившемся режиме в разных частях камеры колеблется в зависимости от модели в пределах 8...20 °С, а скорость выхода на установившийся режим – от 30 до 40°C/мин. Так же в двух испытуемых моделях наблюдалась некоторая неравномерность полей температуры и скорости движения теплоносителя, что может отрицательно влиять на равномерность прогрева продуктов в зависимости от их расположения в рабочей камере пароконвектомата.

Полученные данные были учтены на втором этапе исследований при разработке режимов тепловой обработки для пароконвектоматов и установления их влияния на качество готовой продукции.

Для экспериментов была выбрана наиболее популярная продукция массового спроса из растительного и животного сырья: каша гречневая; овощи отварные; рыба жареная порционными кусками; жареные куриные окорочка и мясные рубленые изделия. Это было обусловлено тем, что по своему химическому составу и текстуре выбранные пищевые продукты отличались наиболее характерными фазовыми превращениями воды в процессе различных режимов термической обработки, обеспечивающей стабильность качества и безопасность готовой продукции.

Гидротермическая обработка проводилась при минимальной (одна гастроемкость) и максимальной (10 гастроемкостей) загрузке. Основными критериями готовности продукции из животного сырья являлись органолептические показатели и температура в толще изделий (85°C для полуфабрикатов из мяса, птицы и рыбы). Оптимальные режимы тепловой обработки продукции в пароконвектоматах с регулируемой и фиксированной влажностью приведены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1 – Режимы тепловой обработки продуктов растительного и животного происхождения в пароконвектоматах с фиксированной влажностью

Наименование продукции	Режимы тепловой обработки	Температура, °C	Продолжительность тепловой обработки, мин
Каша гречневая вязкая	-пароконвекционный	160	20
	-варка на пару	100	10...15
Картофель отварной (кубики)	-варка на пару	100	25...30
Свекла отварная (кубики)	-варка на пару	100	50...55
Мясные рубленые изделия	-пароконвекционный	180	12...15
Куриные окорочка жареные	-варка на пару	100	3
	-пароконвекционный	160	17...18
	-конвекционная жарка	250	6
Рыба жареная порционными кусками	-пароконвекционный, температурный щуп 85°C	125	10...12
	-конвекционная жарка	200...240	3...5

Из данных таблиц 1 и 2 видно, что режимы тепловой обработки в пароконвектомате отличаются от традиционных. Режимы приготовления для пароконвектоматов с фиксированной и регулируемой влажностью так же имеют различия. Для некоторых видов сырья (каша, куриные окорочка, рыба жареная) предпочтительней ступенчатый нагрев, который интенсифицирует процесс и обеспечивает лучшие органолептические показатели готовой продукции. Продолжительность тепловой обработки кулинарной продукции в пароконвектомате сокращается на 10...15% по сравнению с традиционными режимами.

Таблица 2 – Режимы тепловой обработки продуктов растительного и животного происхождения в пароконвектоматах с регулируемой влажностью

Кулинарная продукция	Режимы тепловой обработки	Температура, °C	Влажность, %	Продолжительность тепловой обработки, мин
Каша гречневая вязкая	-пароконвекционный	160	70	15-20
	-варка на пару	98-100	100	10-15
Картофель отварной (кубики)	-варка на пару	98-100	100	20-25
Свекла отварная (кубики)	-варка на пару	98-100	100	45-50
Мясные рубленые изделия	-пароконвекционный	180	40	10...14
Куриные окорочка жареные	-варка на пару	100	100	3
	-пароконвекционный	160	30	15
	-конвекционная жарка	250	-	5
Рыба жареная порционными кусками	-функция $\Delta T$ , температурный щуп 85°C	125 $\Delta T$ 40	50	6...12
	-пароконвекционный	220	70	5...9

Время приготовления кулинарной продукции в аппаратах с регулируемой влажностью также сокращается на 10...15 % по сравнению с приготовлением в условиях фиксированной влажности. Кроме того, было определено, что при максимальной загрузке пароконвектоматов продолжительность тепловой обработки возрастает на 10...15 %.

Анализ влияния функциональных особенностей моделей аппаратов на выход кулинарной продукции показал, что в среднем потери массы у разных групп сырья, обрабатываемого в пароконвектомате, примерно на 20...25% ниже, чем при традиционных способах нагрева.

Органолептические показатели готовых изделий, приготовленных в пароконвектомате, соответствовали требованиям к качеству, причем независимо от модели аппарата, объема приготавливаемой партии и местоположения изделий в рабочей камере. Однако необходимо отметить, что овощи, приготовленные в аппаратах с фиксированной влажностью, оказались более влажные, чем обычно. По сравнению с изделиями, жареными традиционно на плите, продукция, жареная в пароконвектоматах, имеет менее поджаристую корочку, особенно при тепловой обработке в аппаратах с фиксированной влажностью.

Таким образом, использование высокотехнологичного оборудования требует перестройки традиционного процесса производства, в том числе разработки технологических параметров и корректировки режимов гидротермической обработки сырья растительного и животного происхождения с учетом технико-эксплуатационных характеристик пароконвекционных аппаратов.

#### Литература

1. ГОСТ 31986-2012. Услуги общественного питания. Метод органолептической оценки качества продукции общественного питания. – М.: Стандартинформ, 2014. – 22 с.
2. Иванов, А.С. Пароконвектоматы: новые возможности тепловой обработки пищевых продуктов // А.С. Иванов // Мясная индустрия. №5, 2000. – С.11-13.
3. Сборник технологических нормативов: Сборник рецептур блюд и кулинарных изделий для предприятий общественного питания. – М.: Ч. 1,2 –Хлебпродинформ, 1996, 1997.
4. Фединишина Е.Ю. Разработка и обоснование приготовления кулинарной продукции в пароконвектомате: Автореф. дис. канд. техн. наук. – СПб, 2007. – 19с.
5. Фединишина Е.Ю., Куткина М.Н. Инновационные технологии при производстве кулинарной продукции: Монография. LAP LAMBERT Academic Publishing. ISBN: 978-3-659-56573-1. – 2014. – 90 с.

#### References

1. GOST 31986-2012.Uslugi obshhestvennogo pitaniya. Metod organolepticheskoy ocenki kachestva produkci obshhestvennogo pitaniya.–M.: Standartinform, 2014.–22 s.
2. Ivanov, A.S. Parokonvektomaty: novye vozmozhnosti teplovoj obrabotki pishhevyx produktov // A.S. Ivanov // Myasnaya industriya. №5, 2000. – S.11-13.
3. Sbornik tehnologicheskix normativov: Sbornik receptur blyud i kuli-narynx izde-lij dlya predpriyatij obshhestvennogo pitaniya. – M.: Ch. 1,2 –Xlebproudinform, 1996, 1997.
4. Fedinishina E.Yu. Razrabotka i obosnovanie prigotovleniya kulinarnoj produkci v parokonvektomate: Avtoref. dis. kand. texn. nauk. – SPb, 2007. – 19s.
5. Fedinishina E.Yu., Kutkina M.N. Innovacionnye tehnologii pri proizvodstve kulinarnoj produkci: Monografiya. LAP LAMBERT Academic Publishing. ISBN: 978-3-659-56573-1. – 2014. – 90 с.



ПРИМЕР DOI:  
10.18454/IRJ.2015.0001

Начиная с ноябрьского выпуска 2015 года /10 (41) Ноябрь 2015/, каждой статье, опубликованной в Международном научно-исследовательском журнале, редакция издания будет присваивать идентификатор цифрового объекта DOI:

- DOI облегчает процедуры цитирования, поиска и локализации научной публикации;
- DOI повышает авторитет журнала, а также свидетельствует о технологическом качестве издания;
- DOI является неотъемлемым атрибутом системы научной коммуникации за счет эффективного обеспечения процессов обмена научной информацией.

*(Digital Object Identifier) — идентификатор цифрового объекта, стандарт обозначения представленной в сети информации.*

**ФАРМАЦЕВТИЧЕСКИЕ НАУКИ / PHARMACEUTICS**

DOI: 10.18454/IRJ.2016.45.010

Азембаев А.А.

ORCID: 0000-0002-0044-9233, Кандидат фармацевтических наук,

АО «Научный центр противоиных препаратов», Республика Казахстан, г. Алматы

**ОСНОВНЫЕ КРИТЕРИИ ЧИСТОГО ПОМЕЩЕНИЯ СОГЛАСНО ТРЕБОВАНИЯМ СТАНДАРТА GMP**

*Аннотация*

*В статье рассмотрены критерии чистых помещений, которые напрямую зависят от уровня решения инженерно-технической инфраструктуры производства.*

**Ключевые слова:** воздухоподготовка, сантехника и канализация, электроснабжение, вентиляционное оборудование, температура, перепад давления.

Azembayev A.A.

ORCID: 0000-0002-0044-9233, PhD in Pharmaceutics, JSC "Scientific Center for anti-infectious drugs",

The Republic of Kazakhstan, Almaty

**THE MAIN CRITERIA FOR THE CLEANROOM ACCORDING TO THE REQUIREMENTS OF GMP**

*Abstract*

*The article considers criteria of Cleanrooms which are directly dependent on the level of engineering solutions - technical infrastructure of production.*

**Keywords:** air preparation, sanitary engineering and sewerage, electricity, ventilation equipment, temperature, pressure drop.

**К**ласс чистоты производственного помещения классифицируют в зависимости от чистоты воздуха, что определяется количеством частиц определенного размера в 1 м<sup>3</sup> воздуха.

В АО «Научный центр противоиных препаратов» установлено так называемое «Чистое помещение», соответствующее требованиям стандарта GMP, при этом был решен ряд инженерно - технических характеристик чистой комнаты:

**Система воздухообработки**

Система воздухоподготовки - это автоматическое поддержание определенных параметров воздуха в помещениях. Классификация чистоты воздуха устанавливает классификацию чистых помещений и основные параметры чистоты воздуха в них, но не указывают, каким образом достичь необходимого уровня чистоты наиболее экономно. Это объясняется тем, что каждый процесс индивидуален и, соответственно, требования к конкретному чистому помещению различны, а желаемых условий можно добиться, используя различные количества рециркулируемого воздуха.

Для решения вопроса по воздухоподготовке в АО «Научный центр противоиных препаратов» оборудован специальный единый модуль, где сконцентрированы все необходимые устройства.

Эти устройства обеспечивают необходимую обработку воздуха для установок рециркуляции воздуха.

Устройство воздухоподготовки состоит из проточных центробежных, лопастно - осевых вентиляторов, блокированных с фильтрами класса не ниже Н -8, теплообменников для предварительного и вторичного подогрева, водяных охладителей и осушителей, а также паровых и адиабатических увлажнителей.



Рис. 1 – Фальшпотолок или приточная вытяжка

Для предотвращения попадания загрязнений извне в контролируемую среду в большинстве чистых помещений поддерживается повышенное атмосферное давление. Воздух с помощью вентилятора подается в чистое помещение, как правило, через потолок после прохождения через HEPA-фильтр (рис.1), удаляющий из воздушного потока частицы.

Воздух и содержащиеся в нем загрязнения вытесняются в направлении сверху вниз и далее в вентиляционные отверстия в стенах на уровне пола. Это означает, что воздух и загрязнения, генерируемые персоналом и производимыми в помещении процессами, постоянно выводятся из помещения через вентиляционные отверстия либо через двери, когда они открыты.



Рис. 2 – Угловая вытяжка

Угловая вытяжка (рис. 2), обеспечивает отток отработанного воздуха в чистом помещений.

#### Перепад давления воздуха

Чистые помещения работают с пассивным контролем давления воздуха. Активный контроль перепада давления и восполнение кондиционированного воздуха, выходящего через дверь (когда она открывается), происходит в автоматическом режиме. Перепад давления между зонами и комнатами 5-10 Па. То есть, чем ниже класс чистоты, тем ниже давление воздуха и наоборот. Дифференциальное давление регистрируется на светодиодном индикаторе и с помощью звукового сигнала.

#### Разность температур

Разность температур приточного и внутреннего воздуха оказывает исключительное влияние на воздухоподачу системы и мощность ее элементов, а в конечном счете – на капитальные, энергетические и эксплуатационные затраты. Выбор рабочей разности температур воздуха определяется, с одной стороны, необходимостью поддержания заданной температуры в зоне пребывания людей, с другой - энергетическими соображениями, поскольку со снижением температуры приточного воздуха возрастает нагрев и увлажнение. Температура окружающей среды должна составлять 18-26 °С, с отклонением в 1-2 °С. То есть зимой, в целях экономии температуру окружающей среды можно контролировать до необходимой температуры. Оптимальная влажность помещений - 50 %, с допустимым отклонением в 20 %. Кратность воздухообмена 8-12 объем в час.

В таблице 1 показаны, какие существуют требования по техническим характеристикам чистой комнаты по классу М 3,5 (5 ISO классу)

Таблица 1 – Типичное чистое помещение Класса М 3,5 (ISO класс 5)

Воздухообмен	300 крат/час
Воздушный поток	Однонаправленный
Фильтрация воздуха	Финишные HEPA-фильтры с эффективностью 99,9999 % по частицам 0,12 мкм
Обработка воздуха	Крышные кондиционеры наружного воздуха, рециркуляционные кондиционеры производительностью по 425 м <sup>3</sup> /мин, расположенные внутри здания
Давление воздуха	Перепад давления +0,5 Па относительно прилегающего коридора
Температура	Изменение в течение 4 часов не должно превышать 1,5°С
Влажность	Относительная влажность 45% ± 5%, изменение в течение 4 часов не должно превышать ±3%
Выбросы	Кислотные после скруббера, разбавленные органические пары, общеобменные и тепловые
Вибрация и шум	NC-55, менее 120 мкм/сек от пика к пику, 0 -15 Гц
Магнитный поток	Максимум 1,5 Гс
Электростатический заряд	Максимум 3 мДж x 10 <sup>7</sup> /м <sup>2</sup>
Энергопотребление	21100 мДж/м <sup>3</sup> /год (работа 24 часа в день/7дней в неделю/365 дней в год)
Форма, функция, площадка	Площадь пола 3000 м <sup>2</sup> . Пролетно-каркасное здание, технический этаж, фальшпол, офис
Частицы	Частиц/м <sup>3</sup> размером 0,5 мкм < 3500; размером 0,12 мкм < 12000
Технологические трубопроводы	Деионизованная вода - чистый трубопровод из поливинилиденфторида (ПВДФ), сверхчистые газы, сверхчистые химикаты, электрохимполированные трубы, трубы из бесшовной нержавеющей стали 316L
Ожидаемая стоимость	2185,1 – 3907,4 долл.м <sup>2</sup>

### Электроснабжение

Одним из уязвимых мест является электроснабжение. Искусственное освещение организовано люминесцентными лампами и лампами накаливания со светом преимущественно желтого спектра и силой в 320-340 люкс на расстоянии в 1 метр от центра комнаты. Спектральное качество света играет огромную роль в поведении и эффективности работы персонала.

Учитывая сильную зависимость объекта от качеств электроснабжения (в табл. 2 отражены необходимые значения энергопотребления), подробно оговорены с поставщиком электроэнергии предоставляемые мощности и возможность переключения на другие электрические сети при *аварийном* или профилактическом отключении электроэнергии.

Таблица 2 – Теоретические значения энергопотребления

	Нагрузка Вт/м <sup>2</sup>
Освещение	27-38
Вентиляция	97-108
Лабораторное оборудование	43-86

Кроме того, в здании установлен автономный аварийный источник питания, обеспечивающий подачу 100 % установленной мощности.

#### Оборудование в чистой комнате

В АО «Научный центр противинфекционных препаратов» в чистой комнате класса С оборудование (Рис. 3) специально смонтировано таким образом, чтобы оно полностью выполняло требование производства и его обслуживало как можно меньше персонала, чтобы персонал только контролировал ход синтеза и своим присутствием, лишним движением не оказывал отрицательного действия на микробиологический климат помещения. В чистых зонах, особенно в ходе процесса асептического производства, любая деятельность сведена к минимуму; передвижения персонала соответствуют установленным правилам и контролируются с целью избежания выделения частиц и микроорганизмов вследствие повышенной активности персонала.



Рис. 3 – Оборудование в комнате класса чистоты С

Далее, в зону в класс чистоты А, перистальтическим насосом по трубопроводу, лекарственное средство на розлив в тару подается без участия персонала готовое.

#### Стерилизационное оборудование

Для стерилизации применяют в основном термические методы - паровой и сухожаровой. Причем наиболее надежным является паровой метод. Основными факторами, определяющими эффективность паровой стерилизации, являются температура и продолжительность воздействия насыщенного пара при стерилизации полнота удаления воздуха из камеры и стерилизуемых изделий, конфигурация и масса изделий, количество микроорганизмов на стерилизуемых изделиях (микробная обсемененность) и др.

#### Мойка и уборка помещений

Оборудование для мойки и уборки помещений, как правило, располагается в классе чистоты «Д», в так называемой «сервисной» или «вспомогательной части» производства.

Для чистых помещений 7 и 8 классов инвентарь не стерилизуют. Не рекомендуется использовать ветошь, так как она выделяет ворсинки и плохо впитывает загрязнения.

#### Контроль уровня влажности

Относительная влажность чистых помещений в каждой зоне контролируется зональным регулятором влажности. Такие приборы имеются в каждой комнате. Если в помещении повышается уровень относительной влажности, регулятор влажности понижает выходную температуру на охладителе воздуха для понижения влагосодержания. Если уровень относительной влажности в какой-либо зоне чистого помещения падает ниже допустимого предела, то регулятор влажности активизирует зональный увлажнитель, установленный в воздуховоде.

Локальные изменения уровня влажности можно регулировать с помощью ультразвуковых увлажнителей, расположенных в воздуховодах перед финишными фильтрами.

#### **Уровень шума и вибрации**

Любое работающее оборудование является источником шума. На передачу вибрации влияют размеры и масса оборудования. Слоистые («вафельные») бетонные плиты, расположенные под оборудованием, установленном в чистых помещениях, хорошо предотвращают передачу вибрации от работающего оборудования на другие производственные зоны и метрологические приборы.

#### **Электростатический заряд в воздухе и на поверхности**

Аккумуляированный электростатический заряд является источником риска и вызывает проблемы во многих областях промышленности. Он может вызвать воспламенение горючих газов и даже привести к электрошоку у людей. Он может вызвать слипание тонких пленок и легких материалов, притяжение пыли и мелких частиц из воздуха, повреждение полупроводниковых приборов и вносить сбой в работу микроэлектронного оборудования.

Источником электростатических разрядов могут служить заряженные материалы, тела или любые металлические предметы, находящиеся в руках и т.п.

Потенциал тела человека при этом может достичь 15 кВ. При обычных условиях напряжение пробоя воздуха составляет порядка 2-3 кВ/мм.м, высокий потенциал может легко накапливаться на теле оператора в обычных рабочих условиях, например, в результате хождения по полу и т.п.

Инженерно - технические характеристики оказывают прямое влияние как на производственные процессы, так и на качество готовой продукции, поэтому необходимо учитывать все аспекты подготовки инфраструктуры производства к надлежащему выполнению требованиям стандартов производственной практики.

#### **Литература**

1. Азембаев А.А. // Организация «чистого помещения» в производстве лекарственных средств согласно требованиям стандарта GMP // Алматы 2013 // Монография.
2. Азембаев А.А., Демидова З.Н. // Разработка документов по стандартам GMP для производства лекарственных средств //Методические рекомендации согласованные Казахстанским Институтом стандартификации и сертификации» и утвержденные НИЦПП 2013г.
3. СТ РК 1617-2006 Надлежащая производственная практика.
4. Hikmet T., Aybars E. Что такое чистое помещение? // Вентиляция. Отопление. Кондиционирование: АВОК. – 2005. – № 2. – С. 84-89.
5. Исаев Р.В. Эффективный метод обеззараживания воздуха // Вентиляция. Отопление. Кондиционирование: АВОК. – 2005. – № 4. – С. 32.
6. ОСТ 42-510-98 Правила организации производства и контроля качества лекарственных средств (GMP).

#### **References**

1. Azembaev A.A. // Organizacija «chistogo pomeshhenija» v proizvodstve lekarstvennyh sredstv soglasno trebovanijam standartarta GMP // Almaty 2013 // Monografija.
2. Azembaev A.A., Demidova Z.N. // Razrabotka dokumentov po standartam GMP dlja proizvodstva lekarstvennyh sredstv //Metodicheskie rekomendacii soglasovannye Kazahstanskim Institutom standartifikacii i sertifikacii» i utverzhdennye NCPP 2013g.
3. ST RK 1617-2006 Nadlezhashhaja proizvodstvennaja praktika.
4. Hikmet T., Aybars E. Chto takoe chistoe pomeshhenie? // Ventiljacija. Otoplenie. Kondicionirovanie: AVOK. – 2005. – № 2. – S. 84-89.
5. Isaev R.V. Jeffektivnyj metod obezzarazhivanija vozduha // Ventiljacija. Otoplenie. Kondicionirovanie: AVOK. – 2005. – № 4. – S. 32.
6. OST 42-510-98 Pravila organizacii proizvodstva i kontrolja kachestva lekarstvennyh sredstv (GMP).

**ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ / PHYSICS AND MATHEMATICS**

DOI: 10.18454/IRJ.2016.45.122

Зарецкая М.В.<sup>1</sup>, Зарецкий А.Г.<sup>2</sup><sup>1</sup>ORCID: 0000-0002-9857-2693, доктор физико-математических наук, доцент, <sup>2</sup> студент,

Кубанский государственный университет

*Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 16-08-00191 а***МАТЕМАТИЧЕСКИЙ АППАРАТ ИССЛЕДОВАНИЯ БЛОЧНЫХ СТРУКТУР  
С РАЗНОТИПНЫМИ БЛОКАМИ****Аннотация**

*В настоящей статье представлен математический аппарат, основанный на факторизационном подходе, для решения систем дифференциальных уравнений в частных производных произвольного порядка с постоянными коэффициентами. Его применение к конкретным граничным задачам механики деформируемого твердого тела и механики сплошных сред позволяет сформулировать методы оценки напряженно-деформированного состояния блочно-структурированной среды, блоки которой формируются разнотипными материалами. Полученные результаты могут применяться в сейсмологии для оценки естественной и наведенной техногенной сейсмичности территорий.*

**Ключевые слова:** промышленность, сейсмология, мониторинг, структура, методы, естественная и наведенная сейсмичность.

Zaretskaya M.V.<sup>1</sup>, Zaretskiy A.G.<sup>2</sup><sup>1</sup>ORCID: 0000-0002-9857-2693, PhD in Physics and Mathematics, associate professor,<sup>2</sup>student, Kuban State University**MATHEMATICAL APPARATUS FOR THE STUDY OF BLOCK STRUCTURES WITH BLOCKS  
OF VARIOUS TYPES****Abstract**

*This article presents a mathematical apparatus, based on the factorization approach for solving systems of partial differential equations of arbitrary order with constant coefficients. Its application to concrete boundary problems of solid mechanics and continuum mechanics allows us to formulate methods for evaluating the stress-strain state of a block-structured medium, which blocks are formed heterogeneous materials. The results can be used in seismology to assess the natural and anthropogenic induced seismicity areas.*

**Keywords:** industry, seismology, monitoring, structure, methods, natural and induced seismicity.

Мировой и российский опыт наглядно демонстрируют, что сегодня реальная угроза землетрясений уже не ограничивается естественными процессами. Интенсивная хозяйственная деятельность человека в земной коре воздействует на геодинамические процессы, создает локальные очаги аномально высоких напряжений, которые способны провоцировать землетрясения. Толчком к возникновению наведенных землетрясений могут стать разработка полезных ископаемых, добыча углеводородов, создание и заполнение водохранилищ, проведение подземных ядерных взрывов, строительство крупных подземных инженерных сооружений. К возникновению землетрясений может привести также ежегодная закачка сточных вод в глубокие водоносные горизонты, закачка поверхностных вод в разрабатываемые нефтяные пласты.

При прогнозировании сейсмической ситуации на освоенных и промышленно-развитых территориях большое значение имеют данные об уровне естественной и техногенной сейсмической напряженности территории, что требует их специального комплексного рассмотрения и развития превентивных мер для снижения риска возникновения техногенного землетрясения.

Для определения уровня естественной и техногенной напряженности земной коры широко применяются системы сейсмомониторинга [1–3]. Процесс состоит в создании сети высокоточных сейсмостанций по регистрации сейсмических событий, анализе интенсивности, районировании территории по геодинамической активности с учетом данных о геологическом строении, тектоническом режиме [1, 4]. Мониторинг в течение длительного времени позволяет выявить наличие значительных техногенных изменений в верхней части земной коры в результате деятельности человека. К недостаткам относится:

1) при сейсмологическом мониторинге на месторождениях различного типа приходится сталкиваться с проблемой выделения сравнительно слабых сейсмических сигналов на фоне интенсивных микросейсмических шумов, источниками которых являются движущийся транспорт, работающие механизмы, и т.д. [3, 4];

2) для интерпретации данных сейсмомониторинга необходимо привлекать сложный математический аппарат решения обратных задач, чего на практике не делается, как правило, применяются приближенные методы геологии и геофизики, что снижает точность и достоверность полученных результатов;

3) полученные данные и закономерности справедливы только для территории наблюдения, они не обладают общностью и прогностической ценностью.

Для преодоления указанных недостатков более полезным является подход, состоящий в развитии математического аппарата для анализа техногенной сейсмичности и прогностических выводов. Для корректного решения указанной задачи необходимо рассматривать геофизическую среду, максимально приближенной к естественной, и модели линейной и нелинейной теории упругости, адекватно описывающие напряженность и деформации состояние материалов, характеризующихся различными физическими и механическими параметрами. Для исследования предлагается принять модель блочной структуры среды литосферных плит, которая формируется в горных породах совокупностью трещин и иных неоднородностей.

Математически проблема сводится к созданию совокупности методов анализа и решения начально-краевых задач для систем дифференциальных уравнений в частных производных.

Применим для решения поставленных задач для блочной структуры с разнотипными блоками факторизационный метод, в основе которого лежит дифференциальный метод факторизации, специально адаптированный для представленного класса задач [5].

Ниже излагается базовый математический аппарат – дифференциальный метод факторизации [6], который позволяет определить уровень напряженности блочной структуры земной коры с учетом трещиноватости и наличия включений сред иной природы. Зная естественную напряженность коры до техногенного воздействия, можно установить изменения поля напряженности на различных этапах выработки, оценить закономерности изменения сейсмичности во времени, дать прогнозные оценки.

Рассмотрим последовательность применения дифференциального метода факторизации к граничной задаче общего вида.

Пусть граничная задача формируется системой  $L$  дифференциальных уравнений в частных производных с постоянными коэффициентами. Область определения – выпуклая трехмерная область  $\Omega$  с гладкой границей  $\partial\Omega$ . Система может иметь произвольный порядок, быть однородной или неоднородной. В операторной форме она запишется следующим образом:

$$\mathbf{Q}(\partial x_1, \partial x_2, \partial x_3)\boldsymbol{\varphi} = \mathbf{g}, \quad (1)$$

$$\boldsymbol{\varphi} = \{\varphi_l\}, \quad \mathbf{g} = \{g_m\}, \quad l, m = \overline{1, L}, \quad \partial x_i = \frac{\partial}{\partial x_i}, \quad i = 1, 2, 3.$$

Граничные условия имеют вид:

$$\mathbf{R}(\partial x_1, \partial x_2, \partial x_3)\boldsymbol{\varphi} = \mathbf{f}. \quad (2)$$

Обозначения:  $\boldsymbol{\varphi} = \{\varphi_l\}$  – неизвестные функции, подлежащие определению,  $\mathbf{Q}, \mathbf{R}$  – дифференциальные операторы, соответствующие системе дифференциальных уравнений в частных производных и граничным условиям,  $\mathbf{g}$  и  $\mathbf{f}$  – вектора функций, элементами которых служат внешние воздействия.

Если исследуемая область является полупространством, математический аппарат факторизации позволяет решить задачу в конечном виде. Если область  $\Omega$  – выпуклая, задача сводится к решению системы нормально разрешимых псевдодифференциальных уравнений меньшей размерности.

Далее используем естественные системы координат  $\mathbf{x}^v = (x_1^v, x_2^v, x_3^v)$ ,  $v = \overline{1, L_\Omega}$ , связанных с границей  $\partial\Omega$ , где оси  $x_1^v$  и  $x_2^v$  лежат в касательной плоскости к границе, а  $x_3^v$  – нормальна к ней;  $L_\Omega$  – максимальное число касательных плоскостей к границе  $\partial\Omega$ .

Применим интегральное преобразование Фурье

$$\Phi_l(\boldsymbol{\alpha}) = \iiint_{\Omega} \varphi_l(\mathbf{x}) e^{i\langle \boldsymbol{\alpha}, \mathbf{x} \rangle} d\mathbf{x} \equiv \mathbf{V}\boldsymbol{\varphi}_l,$$

к системе (1) – (2), получим в естественных координатах систему функциональных уравнений вида

$$\mathbf{K}(\boldsymbol{\alpha}^v)\boldsymbol{\Phi} = \iint_{\partial\Omega} \boldsymbol{\omega}(\boldsymbol{\alpha}^v) - \mathbf{G}(\boldsymbol{\alpha}^v). \quad (3)$$

Здесь  $\mathbf{K}(\boldsymbol{\alpha}^v) \equiv -\mathbf{K}(-i\alpha_1^v, -i\alpha_2^v, -i\alpha_3^v) = \|\|k_{nm}(\boldsymbol{\alpha}^v)\|\|$  – матрица порядка  $L$  в естественной системе координат с номером  $v$ , элементами являются полиномиальные функции;  $\boldsymbol{\alpha}^v = (\alpha_1^v, \alpha_2^v, \alpha_3^v)$  – вектор параметров преобразования Фурье;  $\langle \boldsymbol{\alpha}, \mathbf{x} \rangle = \alpha_1^v x_1 + \alpha_2^v x_2 + \alpha_3^v x_3$ ;  $\boldsymbol{\Phi} = \mathbf{V}\boldsymbol{\varphi}$ ;  $\mathbf{G} = \mathbf{V}\mathbf{g}$ ;  $\boldsymbol{\omega}$  – вектор внешних форм, значениями которого будут искомые функции  $\boldsymbol{\varphi}$ , их нормальные производные на границе  $\partial\Omega$ , заданные граничными условиями, неизвестные значения и производные. Последние возникают и определяются из псевдодифференциальных уравнений, получаемых далее при реализации факторизационных процедур.

Пусть  $\mathbf{K}(\boldsymbol{\alpha}^v) = \mathbf{K}_+(\alpha_3^v)\mathbf{K}_-(\alpha_3^v)$ , тогда (3) записывается в виде:

$$\mathbf{K}_-(\alpha_3^v)\boldsymbol{\Phi} = \mathbf{K}_+(\alpha_3^v) \left[ \iint_{\partial\Omega} \boldsymbol{\omega} - \mathbf{G} \right]. \quad (4)$$

Применяя алгоритм дифференциального метода факторизации [5, 6], приходим к системе псевдодифференциальных уравнений, из которой после выполнения некоторых громоздких преобразований получаем искомые неизвестные величины в интегральной форме:

$$\boldsymbol{\varphi}(\mathbf{x}^v) = \frac{1}{8\pi^3} \iiint_{\infty} \mathbf{K}^{-1}(\alpha_3^v) \left[ \iint_{\partial\Omega} \boldsymbol{\omega} - \mathbf{G}(\boldsymbol{\alpha}^v) \right] e^{-i\langle \boldsymbol{\alpha}^v, \mathbf{x}^v \rangle} d\alpha_1^v d\alpha_2^v d\alpha_3^v. \quad (5)$$

Схема дифференциального метода факторизации в настоящей работе изложена для одного блока. Она легко применяется к блочным структурам и дополняется процессом «сшивания» решений, получаемых в каждом блоке

[7, 8], что осуществляется автоматически при удовлетворении граничных условий. Если материал неоднороден, в нем имеются трещины, включения из другого материала или меньших размерностей, их следует рассматривать как границы блоков. В результате получается единообразный алгоритм, который можно применять как к однородным средам, так и к блочным структурам с указанными неоднородностями.

Вычисление интегралов в соотношениях (5) можно выполнить численным или аналитическим путем. Однако для ряда частных значений параметров и характеристик можно получить аналитический интегральный вид решения, например, в задачах об устойчивости и резонансах подобных структур с некоторой степенью приближенности [9].

#### Литература

1. Козырев А.А., Панин В.И. Общесистемные закономерности в горнотехнических системах для прогноза и профилактики техногенной сейсмичности // Горн. информ.-анал. бюл. – 2012. – № 10. – С. 140-144.
2. Адушкин В.В., Родионов В.Н., Турунтаев С.Б., Юдин А.Е. Сейсмичность месторождений углеводородов // Нефтегазовое обозрение. Весна 2000. – Т. 5. – № 1. – С. 4-15.
3. Маловичко А.А., Маловичко Д.А. Применение методов численного моделирования сейсмических волновых полей для изучения разномасштабных проявлений техногенной сейсмичности // Современные математические и геологические модели природной среды: Сборник научных трудов. – М.: ОИФЗ РАН, 2002. – С. 120–138.
4. Хаврошкин О.Б. Некоторые проблемы нелинейной сейсмологии. – М.: ОИФЗ РАН, 1999. – 286 с.
5. Зарецкая М.В. Математические модели деструктивных процессов в структурно-неоднородной геофизической среде // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. – 2014. – № 2. – С. 25–30.
6. Зарецкая М.В. Математические методы исследования неустойчивых геологических структур // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. – 2013. – № 7. – С. 33–38.
7. Бабешко В.А., Бабешко О.М., Евдокимова О.В., Зарецкая М.В., Павлова А.В. Дифференциальный метод факторизации для блочной структуры // Доклады академии наук. – 2009. – Т. 424. – № 1. – С. 36–39.
8. Бабешко В.А., Евдокимова О.В., Бабешко О.М. О блочных элементах в приложениях // Физическая мезомеханика. – 2012. – Т. 15. – № 1. – С. 95–103.
9. Зарецкая М.В. Приближенные методы исследования процессов в блочных структурах геофизической среды // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. – 2015. – № 5. – С. 19–24.

#### References

1. Kozyrev A.A., Panin V.I. Obshhesistemnye zakonomernosti v gornotekhnicheskikh sistemah dlja prognoza i profilaktiki tehnogennoj sejsmichnosti // Gorn. inform.-anal. bjul. – 2012. – № 10. – S. 140-144.
2. Adushkin V.V., Rodionov V.N., Turuntaev S.B., Judin A.E. Sejsmichnost' mestorozhdenij uglevodorodov // Neftegazovoe obozrenie. Vesna 2000. – T. 5. – № 1. – S. 4-15.
3. Malovichko A.A., Malovichko D.A. Primenenie metodov chislenного modelirovaniya sejsmicheskikh volnovyh polej dlja izuchenija raznomasshtabnyh pojavlenij tehnogennoj sejsmichnosti // Sovremennye matematicheskie i geologicheskie modeli prirodnoj sredy: Sbornik nauchnyh trudov. – M.: OIFZ RAN, 2002. – S. 120–138.
4. Havroshkin O.B. Nekotorye problemy nelinejnoj sejsmologii. – M.: OIFZ RAN, 1999. – 286 s.
5. Zareckaja M.V. Matematicheskie modeli destruktivnyh processov v strukturno-neodnorodnoj geofizicheskoy srede // Zashhita okruzhajushhej sredy v neftegazovom komplekse. – 2014. – № 2. – S. 25–30.
6. Zareckaja M.V. Matematicheskie metody issledovaniya neustojchivyh geologicheskikh struktur // Zashhita okruzhajushhej sredy v neftegazovom komplekse. – 2013. – № 7. – S. 33–38.
7. Babeshko V.A., Babeshko O.M., Evdokimova O.V., Zareckaja M.V., Pavlova A.V. Differencial'nyj metod faktorizacii dlja blochnoj struktury // Doklady akademii nauk. – 2009. – T. 424. – № 1. – S. 36–39.
8. Babeshko V.A., Evdokimova O.V., Babeshko O.M. O blochnyh jelementah v prilozhenijah // Fizicheskaja mezomehanika. – 2012. – T. 15. – № 1. – S. 95–103.
9. Zareckaja M.V. Priblizhennyye metody issledovaniya processov v blochnyh strukturah geofizicheskoy sredy // Zashhita okruzhajushhej sredy v neftegazovom komplekse. – 2015. – № 5. – S. 19–24.

DOI: 10.18454/IRJ.2016.45.148

Пекельник Н. М.<sup>1</sup>, Хаустова О. И.<sup>2</sup>, Трефилова И. А.<sup>3</sup><sup>1</sup>Кандидат педагогических наук, <sup>2</sup>кандидат педагогических наук, <sup>3</sup>преподаватель,  
Сибирский государственный университет путей сообщения**ФОРМУЛА ДЛЯ ВЫЧИСЛЕНИЯ ОДНОГО КЛАССА НЕСОБСТВЕННЫХ ИНТЕГРАЛОВ  
ПЕРВОГО РОДА****Аннотация**

Статья посвящена выводу формулы для вычисления несобственного интеграла, содержащего произведение специального вида экспоненты и тригонометрической функции. Показано, что рассматриваемый интеграл выражается через некоторую сумму, где в качестве слагаемых выступают произведения факториалов и различных показательных функций.

**Ключевые слова:** несобственный интеграл, ряд Маклорена, экспонента.Pekel'nik N.M.<sup>1</sup>, Khaustova O.I.<sup>2</sup>, Trefilova I.A.<sup>3</sup><sup>1</sup>PhD in Pedagogy, <sup>2</sup>PhD in Pedagogy, <sup>3</sup> lecturer, Siberian Transport University**THE FORMULA FOR CALCULATING OF ONE CLASS OF IMPROPER INTEGRALS OF THE FIRST KIND****Abstract**

Article dedicated to the conclusion of the formula to calculate the improper integral containing the product of a special kind of exponential and trigonometric functions. It is shown that this integral expressed in terms of a certain sum, where the terms are the product of the factorials of various exponential functions.

**Keywords:** improper integral, the Maclaurin series, exponential.

Формула для вычисления интеграла вида  $\int_0^{\infty} e^{-x^2} \cos ax dx$  приведена во многих учебниках по математическому анализу и различных справочниках, содержащих таблицы интегралов и производных. Например, в [1] и [2] установлено, что имеет место следующее интегральное представление:

$$\int_0^{\infty} e^{-x^2} \cos ax dx = \frac{\sqrt{\pi}}{2} e^{-\frac{1}{4}a^2},$$

где  $a$  — любое действительное число.

Однако в этих фундаментальных книгах и других изданиях отсутствует формула для вычисления интеграла вида  $\int_0^{\infty} e^{-x^2} \sin ax dx$ . Отметим, что интегралы, содержащие произведение функции Гаусса и тригонометрических функций, естественно возникают во многих приложениях математического анализа. Например, решение уравнения теплопроводности выражается через несобственные интегралы от подобных произведений.

Сформулируем основной результат работы.

Теорема 1. Для любого действительного  $a$  и  $b > 0$  справедливо равенство:

$$I \equiv \int_0^{\infty} e^{-bx^2} \sin ax dx = \frac{1}{2b} e^{-\frac{a^2}{4b}} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{a^{2n+1}}{(2n+1)(4b)^n n!}. \quad (1)$$

Отметим, что формула для вычисления интегралов вида  $\int_0^{\infty} e^{-x^2} \sin^{2m} ax dx$  была приведена в [3]. Приведем доказательство основного результата.

Будем рассматривать несобственный интеграл в левой части (1) при фиксированном  $b$  как функцию от  $a$ . Очевидно, что для  $I = I(a)$  выполнены все условия, обеспечивающие возможность дифференцирования по параметру  $a$  под знаком интеграла. Получаем:

$$I'(a) = \int_0^{\infty} e^{-bx^2} x \cos ax dx.$$

Используя формулу интегрирования по частям, выводим:

$$I'(a) = -\frac{1}{2b} \int_0^{\infty} \cos ax de^{-bx^2} = -\frac{1}{2b} \left( \cos ax \cdot e^{-bx^2} \Big|_0^{\infty} + \int_0^{\infty} e^{-bx^2} \cdot \sin ax \cdot adx \right).$$

Так как  $\lim_{x \rightarrow \infty} (\cos ax \cdot e^{-bx^2}) = 0$ , то из последнего равенства следует соотношение:

$$I'(a) = \frac{1}{2b} - \frac{a}{2b} I(a). \quad (2)$$

Формула (2) показывает, что функция  $I(a)$  удовлетворяет линейному дифференциальному уравнению первого порядка

$$I'(a) + \frac{a}{2b} I(a) = \frac{1}{2b}. \quad (3)$$

Для решения уравнения (3) используем традиционный метод Бернулли. Представим решение дифференциального уравнения (3)  $I(a)$  в виде произведения двух неизвестных функций:

$$I(a) = p(a)q(a), \quad (4)$$

Тогда

$$I'(a) = p'(a)q(a) + p(a)q'(a). \quad (5)$$

Для нахождения неизвестных функций  $p(a)$  и  $q(a)$  подставляем выражения (4) и (5) в уравнение (3). Имеем:

$$p'(a)q(a) + p(a)q'(a) + \frac{a}{2b} p(a)q(a) = \frac{1}{2b}. \quad (6)$$

Отметим, что дифференциальное уравнение (6) содержит две неизвестные функции  $p(a)$  и  $q(a)$ .

Заметим, что (6) можно переписать в виде:

$$p'(a)q(a) + p(a)\left(q'(a) + \frac{a}{2b}q(a)\right) = \frac{1}{2b}.$$

Добавим дополнительное условие для определения функции  $q(a)$ :

$$q'(a) + \frac{a}{2b}q(a) = 0. \quad (7)$$

В результате равенства (6) и (7) приходят к следующей системе уравнений для нахождения функций  $p(a)$  и  $q(a)$ .

$$\begin{cases} q'(a) + \frac{a}{2b}q(a) = 0; \\ p'(a)q(a) = \frac{1}{2b}. \end{cases} \quad (8)$$

Так как уравнения системы (8) являются дифференциальными уравнениями с разделяющимися переменными, то для функции  $q = q(a)$  получаем равенство:

$$\frac{dq}{da} = -\frac{a}{2b}q$$

или

$$\frac{dq}{q} = -\frac{a}{2b}da.$$

Отсюда:

$$\ln q = -\frac{a^2}{4b}.$$

Следовательно,

$$q = e^{-\frac{a^2}{4b}}.$$

Из последнего равенства и (8) имеем:

$$p'(a) = \frac{1}{2b}e^{\frac{a^2}{4b}}.$$

Используем известное разложение в ряд Маклорена функции  $y = e^x$ :

$$e^x = 1 + \frac{x}{1!} + \frac{x^2}{2!} + \dots + \frac{x^n}{n!} + \dots \quad (9)$$

Полагая в (9)  $x = \frac{a^2}{4b}$ , получаем следующее представление для функции  $p(a)$ . Имеем:

$$p(a) = \frac{1}{2b} \int e^{\frac{a^2}{4b}} da = \frac{1}{2b} \int \left( 1 + \frac{a^2}{4b} + \frac{a^4}{(4b)^2 2!} + \frac{a^6}{(4b)^3 3!} + \dots + \frac{a^{2n}}{(4b)^n n!} + \dots \right) da.$$

Отсюда:

$$p(a) = \frac{1}{2b} \left( a + \frac{a^3}{3 \cdot 4b} + \frac{a^5}{5 \cdot (4b)^2 2!} + \frac{a^7}{7 \cdot (4b)^3 3!} + \dots + \frac{a^{2n+1}}{(2n+1)(4b)^n n!} + \dots \right) + C. \quad (10)$$

Очевидно, что  $I(0) = 0$ , поэтому  $p(0)q(0) = 0$ . Так как  $q(0) = e^0 = 1$ , то  $p(0) = 0$ . Отсюда, константа  $C$  в равенстве (10) равна нулю.

Окончательно из соотношения (4) выводим:

$$I(a) = \frac{1}{2b} \left( a + \frac{a^3}{3 \cdot 4b} + \frac{a^5}{5 \cdot (4b)^2 2!} + \frac{a^7}{7 \cdot (4b)^3 3!} + \dots + \frac{a^{2n+1}}{(2n+1)(4b)^n n!} + \dots \right) \cdot e^{\frac{a^2}{4b}},$$

$$I(a) = \frac{1}{2b} e^{\frac{a^2}{4b}} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{a^{2n+1}}{(2n+1)(4b)^n n!}.$$

Теорема 1 доказана.

#### Литература

1. Двайт, Г. Б. Таблицы интегралов и другие математические формулы / Г. Б. Двайт; пер. с англ. Н. В. Леви; под ред. К. А. Семендяева. – Изд. 10-е, стер. – СПб.; М.; Краснодар: Лань, 2009. – 232 с.
2. Курант, Р. Курс дифференциального исчисления / Р. Курант; пер. с нем. и англ. З. Г. Либина и Ю. Л. Рабиновича; под ред. К. А. Семендяева. – Том 2 – Изд. 2-е, перераб. доп. – М.: «НАУКА», 1970. – 671 с.
3. Пожидаев, А. В. О вычислении некоторых несобственных интегралов / А. В. Пожидаев, Н. М. Пекельник, О. И. Хаустова, И. А. Трефилова. // Естественные и технические науки. – 2015. – № 11(89). – С. 30–35.

#### References

1. Dvajt, G. B. Tablicy integralov i drugie matematicheskie formuly / G. B. Dvajt; per. s angl. N. V. Levi; pod red. K. A. Semendjaeva. – Izd. 10-e, ster. – SPb.; M.; Krasnodar: Lan', 2009. – 232 s.
2. Kurant, R. Kurs differencial'nogo ischislenija / R. Kurant; per. s nem. i angl. Z. G. Libina i Ju. L. Rabinovicha; pod red. K. A. Semendjaeva. – Tom 2 – Izd. 2-e, pererab. dop. – M.: «NAUKA», 1970. – 671 s.
3. Pozhidaev, A. V. O vychislenii nekotoryh nesobstvennyh integralov / A. V. Pozhidaev, N. M. Pikel'nik, O. I. Haustova, I. A. Trefilova. // Estestvennye i tehnicheckie nauki. – 2015. – № 11(89). – S. 30–35.

DOI: 10.18454/IRJ.2016.45.187

Родионова Н.А.<sup>1</sup>, Шмидко И.Н.<sup>2</sup>, Родионов Е.В.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Кандидат физико-математических наук, <sup>2</sup>ORCID: 0000-0002-5411-501X, Соискатель, Институт физики полупроводников им. В.Е. Лашкарева Национальной Академии наук Украины, <sup>3</sup>Аспирант, Национальный университет пищевых технологий.

#### ОСОБЕННОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ ПЛЕНОК ХРОМА, ОКИСИ ХРОМА И ОКСИКАРБИДА ХРОМА ПО МОС-ТЕХНОЛОГИИ

#### Аннотация

Работа посвящена технологии получения пленок оксида и оксикарбида хрома из металлоорганических соединений с использованием окислителя. В работе описываются созданные лабораторные установки для получения пленок на основе хрома и возможного их легирования. Проведенные исследования по изменению соотношения МОС-хром-окислитель, а также легирование рядом примесей дало возможность изменить микротвердость получаемых пленок.

**Ключевые слова:** оксид и оксикарбида хрома, металлоорганические соединения.

Rodionova N.A.<sup>1</sup>, Shmidko I.N.<sup>2</sup>, Rodionov E.V.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>PhD in Physics and Mathematics, <sup>2</sup>ORCID: 0000-0002-5411-501X, Postgraduate student V.E. Lashkaryov Institute of Semiconductor Physics, National Academy of Science of Ukraine, <sup>3</sup>Postgraduate student, National University Of Food Technologies

#### OPTICAL PROPERTIES OF CHROMIUM OXIDE FILMS, OBTAINED BY THE MOC TECHNOLOGY

#### Abstract

This work is dedicated to the production technology of oxide films and oxycarbide chromium organometallic compounds using an oxidant. It describes laboratory settings for production of such films based on chromium and its possible alloying. The results of performed research on MOC-chromium-oxidant ratio change, as well as a number of different additions to alloying, indicates the way to regulate a value of micro-hardness of the produced films

**Keywords:** oxide and oxycarbide chromium films, organometallic compounds.

#### Введение

Применение оксидов и оксикарбидов хрома в виде тонких пленок широко известно[1]. Эти пленки используются в качестве укрепляющих покрытий металлоизделий и режущего инструмента в электронной технике.

Метод получения пленок хрома и оксида хрома можно условно поделить на два принципа их получения: вакуумными технологиями и разложением металлоорганических соединений[2,3].

Пленки оксидов и оксикарбидов хрома, получаемые из металлоорганических соединений не требуют сложной вакуумной техники, более универсальна[4]. С помощью данной технологии можно менять свойства получаемых пленок, причем, не только механические и оптические, но и электрофизические, такие как величины удельного

сопротивления в широких пределах, температурного коэффициента сопротивления в широких пределах, температурного коэффициента сопротивления, типа проводимости и т.д.[5-7].

Данная работа посвящена технологическим особенностям получения пленок хрома, оксида и оксикарида хрома с использованием бис-ареновых МОС и окислителей при получении оксидов и оксикаридов.

### Методика эксперимента

Методика получения пленок различных материалов по МОС-технологии состоит из двух основных моментов.

Первая часть включает в себя перевод металлоорганического соединения в парообразное состояние, в котором оно транспортируется к поверхности нагретой подложки, при этом качественные и количественные параметры определяются следующими факторами: линейной скоростью потоков паров, давлением в потоке, вязкостью и температурой продуктов распада.

Вторым моментом получения пленок является адсорбция молекул МОС на поверхность нагретой подложки, а затем и растущей пленки.

Если при получении покрытий при напылении в вакууме адсорбированные атомы металла на поверхности подложки образуют первоначально зародышевые центры кристаллизации, а затем островковую и кристаллическую структуру конечной пленки, - адсорбция в условиях осаждения их паровой фазы МОС имеет ряд характерных особенностей: высокие температуры в реакционной камере и на поверхности подложки, большой размер молекулы МОС, дипольные моменты отдельных частей молекулы и т.д.

Когда молекула МОС захвачена поверхностью, то происходит рассеивание кинетической энергии, так как температура пара МОС значительно ниже температуры подложки, поэтому, термализуясь, молекула получает от подложки кинетическую энергию. При этом процесс получения металлической пленки по сравнению с вакуумным напылением значительно осложняется из-за состава и величины адсорбированной молекулы, что при ее распаде может приводить к загрязнению получаемой пленки продуктами распада. При этом при достаточной температуре подложки, получают не только оксидную, но и окси-карбидную фракции.

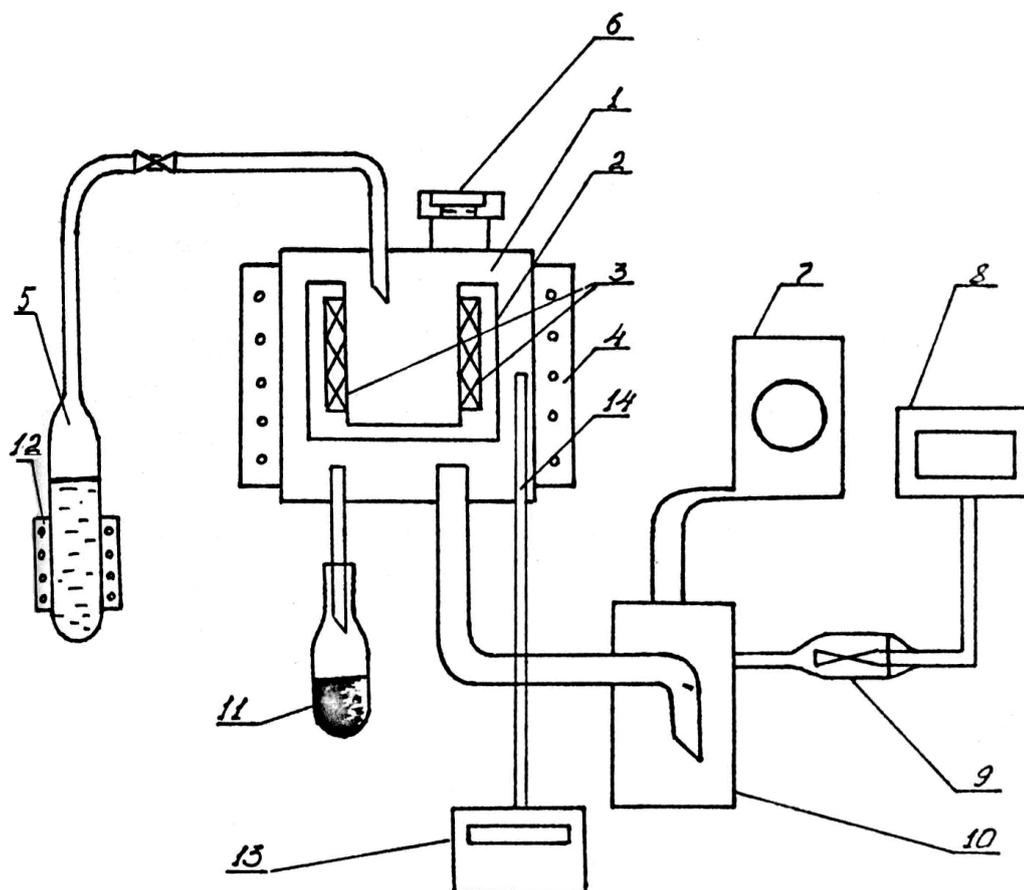


Рис. 1 – Схема установки для получения пленок черного хрома

Для проведения экспериментальных осадений пленок оксида хрома нами были изготовлены две экспериментальных установки, отличительной особенностью которых является способ транспортировки паров МОС в зону разложения и получения пленок.

В первом случае пары МОС поступали в реакторную зону за счет разряжения, создаваемого с помощью систем откачки (вакуумный насос с фильтрами) и зоны разложения МОС (Рис.1).

Методика получения пленок оксида хрома в окислительной среде из металлоорганического соединения биэтилбензохрома следующая: в реакционной камере (1), на кассетах (2) устанавливаются подложки, камера герметизируется и производится откачка воздуха до вакуума  $5 \cdot 10^{-2}$  мм.рт.ст. форвакуумным насосом (7), после чего подложки нагреваются до температуры термораспада МОС  $450-500^{\circ}\text{C}$  посредством нагревателя (4), который выполнен в виде спирали на внешней поверхности реакционной камеры (1).

После нагрева реакционной камеры, нагревается ёмкость (5) с металлоорганическим соединением посредством нагревателя (12) и доводится до температуры испарения МОС. Затем открывается кран подачи паров МОС через дозатор в реакционную камеру и осуществляется распад МОС-хрома на нагретых поверхностях подложек. При этом металлическая составляющая в виде окислов и карбидов адсорбируется на нагретой поверхности, а органическая – вымораживается в азотной ловушке (10).

Контроль температуры осуществляется с помощью термопары и контрольно-измерительного прибора (13,14). Контроль вакуума осуществляется вакуумметром (8,9). После окончания процесса осаждения пленки закрывают кран подачи МОС и отключают нагреватели. Когда температура подложки становится равной 30-40<sup>0</sup>С камеру герметизируют, и подложки с покрытием вынимают.

Во втором случае использовался газ-носитель, подаваемый под давлением в зону образования паров МОС и транспортирующий их в реакционную зону (Рис. 2).

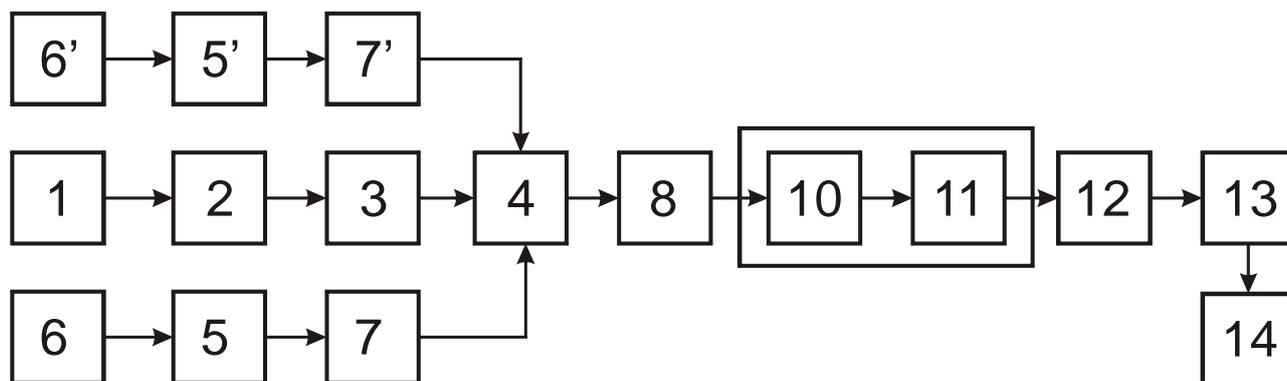


Рис. 2 – Блок-схема двухканальной установки для получения пленок оксикарбида хрома с использованием газотранспортера.

1 – источник газа носителя, 2 – регулятор расхода, 3 – система подогрева, 4 – смеситель, 5 и 5' – источники МОС, 6 и 6' – системы нагрева тигля, 7 и 7' – регуляторы подачи паров МОС, 8 – система создания однородности потока газов, 9 – реактор, 10 – подложка держатель с образцом, 11 – нагреватель подложек, 12 – фильтр, 13 – регулятор скорости откачки, 14 – откачная система.

Вторая созданная установка была значительно более универсальной. В ней имелось три нагревательных тигля, позволяющие использовать три разных МОС и имеющие различные температурные испарения. В качестве газотранспортера может использоваться как инертный, так и реакционный газ, например, окислитель (воздух или кислород).

Для предотвращения охлаждения нагретых паров МОС и их обратного возвращения в твердое состояние, газотранспортер предварительно подогревается до температуры выше температуры паров МОС, но ниже температуры термодеструкции МОС.

На каждом трубопроводе газа-транспортера и паров МОС стоят регуляторы давления и количества паров. Все три канала поставки паров МОС из трех разных источников снабжены заслонками, позволяющими перекрывать любой из каналов перед поступлением газов-носителей с пара МОС в смеситель и затем в реакционную зону, где находится подложка, на которую планируется осаждение пленки, получаемой из МОС.

Подложка нагревается температуры, выше температуры разложения МОС, а улучшение термодинамического равновесия обеспечивается нагретым газом-носителем. Продукты распада и газ-носитель принудительно удаляется из реакционной зоны. Использование трехканальной установки для получения пленок из металлоорганических соединений в нашем случае позволяет получать пленки оксида хрома, оксикарбида хрома и легировать их в процессе работы, например, Al, Mo, Ni или другими примесями.

Имеется возможность одновременного легирования двумя примесями, а так же получения многослойной пленочной структуры.

Рассчитав, или экспериментально получив скорость роста плёночного покрытия, можно периодически останавливая подачу паров МОС в реакционную камеру, добиться получения пленок методом эпитаксии «атомными слоями»[8].

Металлоорганические соединения МОС – это вещества, молекулы которых содержат связи металл-углерод. Связь между металлом и органической частью молекулы МОС можно представить как два вида электронного взаимодействия:

- металлоорганические соединения, содержащие G-связи металл-углерод;
- металлоорганические соединения, образованные за счет заполнения d-оболочек металла  $\pi$  электронами ненасыщенных систем.

Однако, металлоорганические соединения переходных металлов, содержащие G-связи малостабильны. Для них более характерными являются образования  $\pi$ -комплексов с органическими радикалами [9]. Используемый нами дибензолхром является именно таким МОС (Рис. 3). В стандартных условиях молекула МОС-хрома всегда термодинамически устойчива [10,11]. Для получения пленок оксида хрома разложение паров нейтральных бис-ареновых  $\pi$ -комплексов хрома (к которым относится и дибензолхром) производят при использовании в качестве окислителя многоатомного спирта (глицерин, этиленгликоль и т.п.) при их отношении от 1,0 до 10.

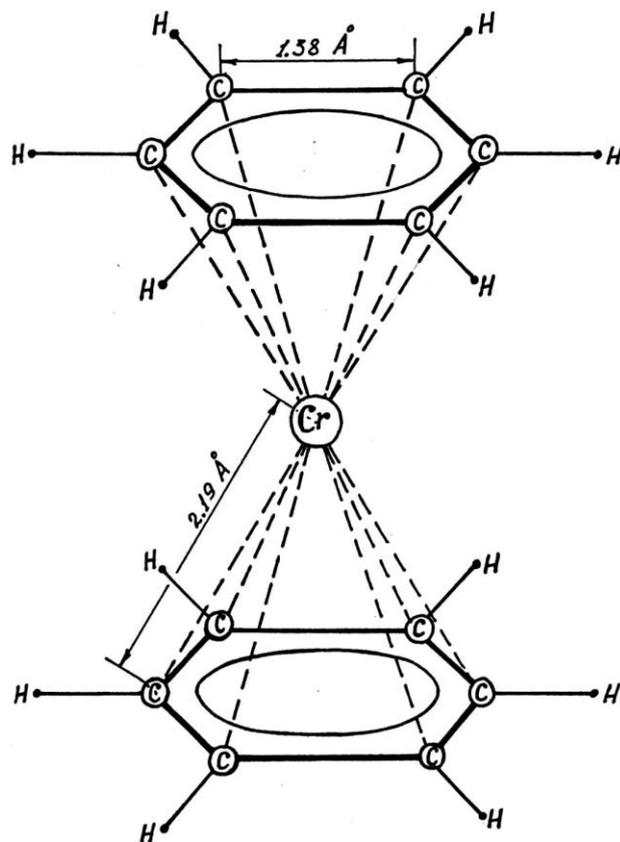


Рис. 3 – Молекула дибензолхрома

Кроме дибензолхрома мы получаем пленки оксида хрома из других бис-ареновых МОС хрома. Однако получаемые из бискумолхрома пленки получились менее прочными при испытании их на истирание при малых нагрузках. Использование бис-бензолхрома в установке (Рис. 2) приводило к неполному разложению МОС-соединения и соответственно к загрязнению получаемой пленки оксида хрома продуктами распада МОС-соединения.

В литературе [12] описываются способы получения пленок хрома термическим разложением арентрикарбонильных соединений хрома. Они разлагаются при температурах 400-500 °С с образованием зеркальной металлической пленки. Однако скорость роста пленки хрома крайне мала и составляет порядка 2-5 Å/сек. Для увеличения скорости роста пленки хрома из бис-бензолхрома нами использовался катализатор в виде  $\text{CrI}_2$ , который подавался в зону разложения МОС-хрома [12].

Выбор соотношений скоростей подачи паров МОС-хрома, окислителя и катализатора позволили получить окисно-хромовую пленку насыщенного черного цвета.

Нарушение выбранных соотношений и проведение процесса вне указанных граничных условий приводило или к получению порошкообразных осадков зеленого цвета ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ) при более высоких скоростях подачи окислителя, или к получению тонких пленок коричневого цвета при низком соотношении скоростей.

В установке (Рис. 1) процесс проводят в диапазоне температур 420-460°С при остаточном давлении  $10^{-2}$ -10 мм.рт.ст. Продукты распада собирают в азотной ловушке для предотвращения попадания в атмосферу. Используя выбранные скорости подачи паров МОС и количественный состав окислителя, были получены пленки черного цвета, обладающие определенными физико-механическими свойствами.

По схеме (Рис. 1) наибольшая скорость разложения и наибольшая чистота металла при разложении бис-бензолхрома получилась при пониженном давлении  $5 \cdot 10^{-2}$ - $10^{-1}$  мм.рт.ст. Была получена равномерная зеркальная пленка хрома. При этом, скорость осаждения достигла 10-12 мг/час\*см<sup>2</sup>. При изменении сопротивления полученных пленок, было установлена их зависимость от температуры разложения: при повышении температуры от 300 до 450°С сопротивление пленки возрастало с 6 до 11-12 Ом/□ (при одинаковой толщине пленки 0,5 мкм), при одинаковой скорости осаждения при более высокой температуре сопротивлению возрастало до 20-30 Ом/□.

Адгезия пленок хрома, оксида хрома и оксикарида хрома, полученных по МОС технологии из паровой фазы, очень высокая, однако сильно зависит от чистоты поверхности независимо от материала подложки: стекло, сталь или ситалл. Микротвердость пленок хрома достигает величины 1500 кг/мм<sup>2</sup>. Пленки оксида хрома имеют твердость 800-2000 кг/мм<sup>2</sup>, а при увеличении в составе пленки углерода до 10%, оксикаридные пленки имеют твердость 1400-2200 кг/мм<sup>2</sup>.

Вводя в состав реакционной смеси МОС на основе ацетилацетонатов Al, Mo, Va можно получить следующие значения микротвердости с МОС-Al – 2100-2300 кг/мм<sup>2</sup>, МОС-Mo – 2300-2500 кг/мм<sup>2</sup>, МОС-Va – 2400-2700 кг/мм<sup>2</sup>.

В Таблице 1 приведены данные получаемых пленок оксида хрома от состава: окислитель-МОС-хром.

Таблица 1 – Данные получаемых пленок оксида хрома

№ п/п	МОС-хром:окислитель	Дополн. примесь	Содержание окисных фаз, %	Содержание карбидных фаз, %	Микротвердость, кг/мм <sup>2</sup>
1	10:1	-	5	80-85	до 2100
2	8:1	-	10	80-82	до 2100
3	5:1	-	16	65-70	до 2000
4	4:1	-	22	56-60	1800
5	3:1	-	30-40	38-45	1200-1400
6	2:1	-	45-55	25-30	800-1000
7	1:1	-	70	10	600
8	7:1	МОС-Al	15-16	80-81	до 2300
9	7:1	МОС-Mo	15	80	до 2400
10	7:1	МОС-Va	15	80	до 2600

### Выводы

Таким образом, имея концентрацию окислителя в составе исходных компонент МОС-окислитель, можно управлять свойствами получаемой пиролитической пленки. Незначительное количество окислителя (10-20%) в реакционной камере приводит, в основном, к образованию карбидных фаз в оксикариде хрома, что способствует получению высокопрочных покрытий.

Введение значительного количества окислителя (30-50%) в состав исходных компонент способствует, в основном, оксидной фазы хрома, что приводит к разрыхлению получаемой пленки и, как следствие, к уменьшению микротвердости.

### Литература

1. В. Ф. Корзо, В. А. Курочкин, В. П. Демин. / Пленки из элементоорганических соединений в радиоэлектронике / - Москва: Энергия, 1973. - 192 с.
2. Г. Разуваев, Б. Грибов, Г. Домрачев, Б. Саламатин, Металлоорганические соединения в электронике / Москва: Наука, 1972.
3. Харвуд, Дж. / Промышленное применение металлоорганических соединений / Д. Харвуд . - : Химия , 1970 . – 350 с.
4. В. Ф. Корзо, В. Н. Черняев / Диэлектрические пленки в микроэлектронике / - М.: Энергия, 1977. - 368 с.
5. В.П.Васильченко, М.Я.Рахлин, В.Е.Родионов / Получение диэлектрических слоев из металлоорганических соединений и их применение и свойства / Уч. записки ТГУ, Тарту, №908, 1999, С.85-100
6. Родионова Н.А., Шмидко И.Н., Родионов Е.В. / Оптические характеристики пленок оксида хрома, полученных по МОС технологии / Research Journal of International Studies, Екатеринбург, №7 (38), 2015 г., С.40-43.
7. Родионова Н.А., Шмидко И.Н., Родионов Е.В. / Механические свойства пленок оксида хрома в зависимости от технологических факторов / Research Journal of International Studies, Екатеринбург, №7 (38), 2015 г., С.44-46.
8. Ави Дауах / Электрические свойства тонкопленочных структур, полученных методом эпитаксии атомными слоями / Journal of Applied Physics, 1993, V.74, No 9, P.5575
9. Федоренко А.И. / Эффекты межфазного взаимодействия в тонких пленках / Диссертация доктора физ.-мат. наук, 1978, Харьков, ХПИ.
10. Берсукер И.Б. / Электронное строение и свойства координационных соединений / — Л.: Химия, 1986. — 288 с.
11. Рабинович И.Б., Нистратов В.П. / Трактат по химии и химическим технологиям / вып.1, 1974, С.16-28
12. Грибов Б.Г., Румянцева В.П., Травкин Н.н. и др. Получение пленок хрома термическим разложением галогидных производных бис-ареновых соединений хрома // Электронная техника, 1971. Т. 3, вып. 1. С. 21-24.

### References

1. V. F. Korzo, V. A. Kurochkin, V. P. Demin. / Plenki iz jelementoorganicheskikh soedinenij v radiojelektronike / - Moskva: Jenergija, 1973. - 192 s.
2. G. Razuvaev, B. Gribov, G. Domrachev, B. Salamatin, Metalloorganicheskie soedinenija v jelektronike / Moskva: Nauka, 1972.
3. Harvud, Dzh. / Promyshlennoe primenenie metalloorganicheskikh soedinenij / D. Harvud . - : Himija , 1970 . – 350 s.
4. V. F. Korzo, V. N. Chernjaev / Dijelektricheskie plenki v mikrojelektronike / - M.: Jenergija, 1977. - 368 s.
5. V.P.Vasil'chenko, M.Ja.Rahlin, V.E.Rodionov / Poluchenie dijelektricheskikh sloev iz metallorganicheskikh soedinenij i ih primenenie i svojstva / Uch. zapiski TGU, Tartu, №908, 1999, S.85-100
6. Rodionova N.A., Shmidko I.N., Rodionov E.V. / Opticheskie harakteristiki plenok oksida hroma, poluchennyh po MOS tehnologii / Research Journal of International Studies, Ekaterinburg, №7 (38), 2015 g., S.40-43.
7. Rodionova N.A., Shmidko I.N., Rodionov E.V. / Mehanicheskie svojstva plenok oksida hroma v zavisimosti ot tehnologicheskikh faktorov / Research Journal of International Studies, Ekaterinburg, №7 (38), 2015 g., S.44-46.
8. Avi Dauah / Jelektricheskie svojstva tonkopenochnyh struktur, poluchennyh metodom jepitaksii atomnymi slojami / Journal of Applied Physics, 1993, V.74, No 9, P.5575
9. Fedorenko A.I. / Jeffekty mezhfaznogo vzaimodejstvija v tonkih plenkah / Dissertacija doktora fiz.-mat. nauk, 1978, Har'kov, HPI.
10. Bersuker I.B. / Jelektronnoe stroenie i svojstva koordinacionnyh soedinenij / — L.: Himija, 1986. — 288 s.
11. Rabinovich I.B., Nistratov V.P. / Traktat po himii i himicheskim tehnologijam / vyp.1, 1974, S.16-28
12. Gribov B.G., Rumjanceva V.P., Travkin N.n. i dr. Poluchenie plenok hroma termicheskim razlozheniem galoidnyh proizvodnyh bis-arenovyh soedinenij hroma // Jelektronnaja tehnika, 1971. T. 3, vyp. 1. S. 21-24.

DOI: 10.18454/IRJ.2016.45.152

Сироткин С.Н.

Кандидат технических наук. Университет имени Лейбница, Ганновер, Германия

**ВИЗУАЛИЗАЦИЯ СТЕПЕННЫХ ФУНКЦИЙ. НОВЫЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ФИГУРЫ***Аннотация*

В статье рассмотрена проблема визуализации абстрактных понятий, таких как степенные функции третьей степени. Предложены два варианта такой модели - трехгранная и четырехгранная пирамида. Исследования в этой области позволили расширить ряд геометрических фигур, рассматривать куб и октаэдр как фигуры, состоящие из тетраэдров различной формы. В статье содержится предложения о развитии метода исследования степенных функций.

**Ключевые слова:** визуализация абстрактных понятий, геометрические фигуры.

Sirotkin S.N.

PhD in Engineering, Leibniz Universität Hannover, Germany

**VISUALIZATION OF POWER FUNCTIONS. NEW GEOMETRICAL FIGURES***Abstract*

The article considers the problem of visualizing abstract concepts, such as power functions of the third degree. There are two variants of this model triangular and tetrahedral pyramid. Studies in this area have helped to expand the number of geometric shapes, consider the cube and octahedron as the shape composed of tetrahedrons of different shapes The article contains proposals for the development of the method of the study of power functions.

**Keywords:** visualization of abstract concepts, geometric shapes.

В последнее время интерес вызывает визуализация некоторых абстрактных понятий, таких как последовательность чисел возведенных в степень, определенную целым числом. Для решения этой задачи потребовалось выделить две необходимых предпосылки:

**1. Последовательность суммы** натурального ряда чисел. Автор обозначил эту последовательность как I. Вот как она образуется:

$$1 \quad 2 \quad 3 \quad 4 \quad 5 \quad 6 \dots \text{(ряд натуральных чисел } 1+2=3)$$

$$3+3=6; 6+4=10; 10+5=15; 15+6=21 \dots$$

$$1 \quad 3 \quad 6 \quad 10 \quad 15 \quad 21 \dots \text{(сумма натурального ряда чисел I)}$$

(1)

**2. Метод конечных разностей** состоит в том, что от каждого последующего элемента последовательности отнимается предыдущий. В новой последовательности также от каждого последующего вычитается предыдущий элемент и так до того момента, пока эта разница станет постоянной. Все это изложено в результатах предыдущих исследований (Sirotkin S., 2003, 2004). Итак, последовательность степенной функции третьей степени

$$8 \quad 27 \quad 64 \quad 125$$

$$8-1=7 \quad 27-8=19 \quad 64-27=37 \quad 125-64=61$$

$$\text{первая разность: } 7, 19, 37, 61; \text{ вторая разность: } 12, 18, 24; \text{ третья разность: } 6, 6 \quad (2)$$

Используя две эти предпосылки, мне удалось предложить две модели степенной функции третьей степени. Для моделирования использовался тетраэдр, половинки октаэдра и предложенный автором элемент Сиро.

Одна модель **трехгранная пирамида**. Эта модель строится из тетраэдров с вершиной ориентированной вверх, описанных автором элементов Сиро и тетраэдров с вершиной ориентированной вниз.

В ней любой член последовательности чисел возведенных в третью степень вычисляется по формуле (3):

$$n^3=(n-1)^3+n^2+I_{(n-2)}+3*I_{(n-1)}. \quad (3)$$

Вторая модель **четырёхгранная пирамида**. Она строится из половин октаэдров с вершиной ориентированной вверх, тетраэдров и половин октаэдров с вершиной ориентированной вниз. В этой модели любой член последовательности чисел возведенных в третью степень вычисляется по формуле (4):

$$n^3=(n-1)^3+n^2+(n-1)^2+2I_{(n-1)}. \quad (4)$$

Кроме элемента Сиро я предлагаю рассмотреть геометрические тела, такие как тетраэдр нулевого объема и тетраэдр двойного объема. Это предложение позволило расположить геометрические тела, имеющие одинаковую длину ребра в порядке кратного возрастания объемов.

Таким образом, представляется целесообразным распространить предложенную автором модификацию метода конечных разностей с использованием последовательности I на любой показатель степени и любое число, не только целое.

Однако при современном состоянии математики это не представляется возможным, потому что все вычисления приближенные.

То что объективно существует и можно обсуждать в настоящий момент это показатели степеней такие как 0,5 1 1,5 2,5 3.....

но не для всей последовательности натуральных чисел. Исследования выполненные автором показаны в формуле 5

степень	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5
число 1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
4	2	4	8	16	32	64	128	256	512
9	3	9	27	81	243	729			
16	4	16	64	256	1024				

(5)

К сожалению, все вычисления для чисел 2,3, 5,6,7,8, 10 пока невозможно выполнить вследствие неточности современного математического аппарата

Как было показано в работе 1 закон изменения конечной разности определяется формулой  $n = n!$

(6)

2-2 3-6 4-24 5-120 И так далее

В этой последовательности рассматривались целые показатели степени для целых чисел некоторые примеры для **дробных показателей степени** показаны в формуле 5 для некоторых дробных показателей степени

примеры вычисления конечной разности для **дробных чисел** показаны в формулах 7 и 8

1,0 во второй степени	1,0		
1,1 во второй степени	1,21	первая разность <b>0,21</b>	вторая разность <b>0,02</b>
1,2 во второй степени	1,44	первая разность <b>0,23</b>	вторая разность <b>0,02</b>
1,3 во второй степени	1,69	первая разность <b>0,25</b>	

(7)

1,0 в тр ст	1,0			
1,1 в тр ст	1,331	перв разн <b>0,331</b>	втор разн <b>0,066</b>	третья разн <b>0,06</b>
1,2 в тр ст	1,728	перв разн <b>0,397</b>	втор разн <b>0,072</b>	третья разн <b>0,06</b>
1,3 в тр ст	2,197	перв разн <b>0,469</b>	втор разн <b>0,078</b>	
1,4 в тр ст	2,744	перв разн <b>0,547</b>		

(8)

Просматривается совпадения значений конечной разности

Для соответствующих значений для последовательности целых и дробных чисел

Конечная разность для целых 2, 6, 24 для дробных 0,02 0,06 0,24

Мною поставлена задача получить, полное соответствие любого показателя степени, для любого числа

Вычисление конечной разности для дробных чисел в дробной степени осуществить, пока не удалось

Решение этой задачи позволит точно вычислять любые значения степенных функций.

#### Литература

1. S.Sirotkin. Visual representation of the power function Of the second and third Degrees DSG-ck 2003.Seite 317-323. – ISBN 3-86005-394-9.

2. S.Sirotkin. Geometrical characteristics of SIRO element Transition from tetraedrons to oktaedron with the help of SIRO element // THE INTERNATIONAL CONFERENCE ON GEOMETRY AND GRAPHICS. – Seite 108-112 – ISBN 5-8037-0184

DOI: 10.18454/IRJ.2016.45.106

Толмачев С. В.

АЭХК, пенсионер, E-mail: swttsw@rambler.ru

**ЖИДКОСТНАЯ МОДЕЛЬ АТОМА, ОТНОСИТЕЛЬНОСТЬ И КОСМОЛОГИЯ. ЧАСТЬ 2****Аннотация**

*В статье приведена схема проверки вывода специальной теории относительности. Приведены аргументы невозможности использования годичного параллакса звезд и смещения спектров звезд в качестве метода измерения расстояния до звезд. Приведены аргументы невозможности использования закона Хаббла в качестве метода описания физики космоса. На основе жидкостной модели качественно описана физика процессов: получение спектра излучения атома, спектра излучения звезды, красного смещения света звезд, реликтового излучения, принцип противодействия гравитационному коллапсу звезд, гравитационное действие Луны на планету Земля.*

**Ключевые слова:** гравитация, космология, относительность, аберрация, реликтовое излучение.

Tolmachev S.V.

AECC, pensioner, E-mail: swttsw@rambler.ru

**THE LIQUID MODEL OF THE ATOM, THE RELATIVITY AND THE COSMOLOGY. PART 2****Abstract**

*In the article you can find a diagram of checking the special theory of relativity. Also the article adduces the arguments of inability to use the yearly parallax of the stars and displacement the stars spectrums, as a method of measuring the distance to stars. There are arguments of inability to use the Hubble's law as a method to describe the space's physics. The physics of processes is described qualitatively on the base of liquid model: the receiving of a spectrum of atom's radiation, a spectrum of star's radiation, a redshift of the stellar light, a cosmic microwave background, the principle of counteraction to a stars collapse gravitational, the Moon's gravitational action to the planet Earth.*

**Keywords:** gravitation, cosmology, relativity, aberration, cosmic microwave background (CMB).

Рассмотрим явления, подтверждающие теорию относительности.

2.11. *Аберрация звезд.*

«Как особо существенное, я отмечу здесь то обстоятельство, что теория относительности позволяет необычайно просто объяснить, в согласии с опытом, те влияния, которые испытывает посылаемый к нам неподвижными звездами свет вследствие движения земли относительно этих звезд. Я говорю о годичном перемещении кажущегося места неподвижных звезд вследствие движения земли вокруг солнца (аберрация) и о влиянии радиальных слагающих движения неподвижных звезд относительно земли на цвета достигающего до нас света. Последнее сказывается в небольшом перемещении спектральных линий достигающего до нас света неподвижной звезды по сравнению со спектральным положением такой же, но произведенный земным источником света спектральной линии (принцип Доплера)» [1].

Впервые аберрация была открыта и объяснена Д. Брэдди в 1729 г. Наблюдая за звездами, Брэдди пытался обнаружить параллакс звезд как следствие годового смещения положения планеты на своей предполагаемой орбите, но не обнаружил этого (как и многие другие астрономы). Положения звезды на небесной сфере наблюдались значительно смещенными, но в направлениях противоположных ожидаемому (параллаксу). Это явление было названо аберрацией звезды. Брэдди объяснил аберрацию *движением* Земли по орбите, точнее правилом сложения скоростей планеты и света неподвижной звезды. В литературе для иллюстрации этого явления часто приводится пример человека с зонтом, который находится под дождем, капли которого падают вниз. При движении человека, последний должен наклонить зонт в направлении движения, чтобы не промокнуть. У астронома же вместо зонтика телескоп, с которым приходится поступать аналогично. Специальная теория относительности (СТО), как это подтверждено выше приведенной выдержкой, объясняла это аналогично – *движением* Земли.

На мой взгляд, в этих объяснениях просматривается наличие «эфирного ветра», ответственного за «снос» внутри телескопа «капель-фотонов». Но опыты Майкельсона доказали, что такого ветра нет. Разумной альтернативой таким объяснениям могло бы быть следующее простое соображение. Раз в каждой точке орбиты Земли астроном наблюдает звезду с определенного направления, то это означает только то, что в данном месте орбиты свет от звезды приходит именно с этого направления космического пространства независимо от того двигаемся мы с какой-то скоростью или неподвижны. Суперпозиция всех этих положений звезды, увиденных наблюдателем со всех точек орбиты планеты, дает абберационный эллипс. Осталось совсем малое, ответить на вопрос: «Почему в данной точке орбиты планеты звезда видна именно с этого направления?». Жидкостная модель позволяет это сделать, не складывая скорости.

Брэдди пытался обнаружить параллакс звезд. Что такое параллакс и для чего он нужен? Остановимся на этом по подробнее, поскольку параллакс имеет большое значение в астрофизике и астрономии.

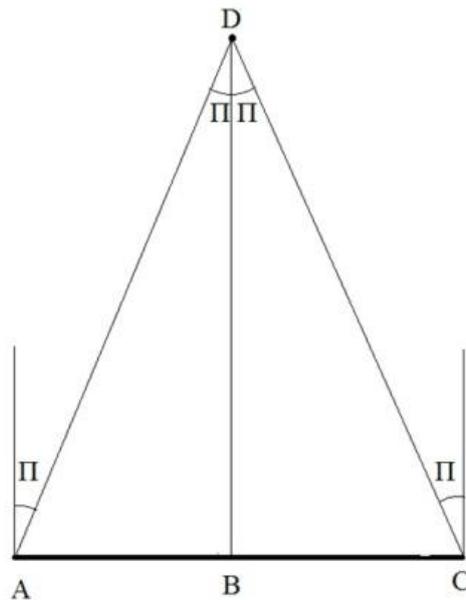


Рисунок 10

На рисунке 10 изображен равнобедренный треугольник  $ADC$  ( $AD = DC$ ), в котором проведена высота  $DB$ , делящая, как известно из геометрии, основание треугольника  $AC$  и угол  $ADC$  пополам. То есть:  $AB = BC$  и углы  $ADB$  и  $BDC$  равны, и равны углу  $\Pi$ . Тогда, зная расстояние  $AB$  или  $BC$  и величину угла  $\Pi$ , всегда можно вычислить расстояния  $AD$  и  $DB$ . Угол  $\Pi$  - это и есть параллакс. В современной астрономии параллакс определен так: это видимое изменение положения тела (небесного светила) вследствие перемещения наблюдателя. Параллакс может быть обусловлен перемещением наблюдателя в пространстве вследствие вращения Земли (суточный параллакс), обращения Земли вокруг Солнца (годовой параллакс) и движения Солнечной системы в Галактике (вековой). То есть та абберация, которую открыл Брэдли и есть тот искомый параллакс, пришедший с «другого направления». Термины абберация и параллакс – тождественны. Для чего нужен параллакс? – для определения расстояния до объекта ( $AD$ ), зная параллакс  $\Pi$  и размеры катета  $AB$  в реальном пространстве на местности или в космосе необходимо выполнение трех условий:

- наблюдаемый объект должен быть точечным по отношению к размерам катета  $AB$ ;
- пространство между точками  $A$  и  $D$  должно быть заполнено оптически прозрачной средой;
- пространство между точками  $A$  и  $D$  должно быть заполнено оптически однородной средой (не меняющей направление движения светового луча).

Очевидно, что в наблюдениях Брэдли и других астрономов, нарушалось одно или несколько из этих условий. Например: каковы размеры самих звезд? Это величина неизвестная и вполне допустимо, что они могут быть сравнимы с размерами орбиты Земли или превышать их.

В современной астрономической энциклопедии годичный параллакс звезды (тригонометрический) определен вот так: это малый угол (при звезде) в прямоугольном треугольнике, в котором гипотенуза есть расстояние от Солнца до звезды, а малый катет – большая полуось земной орбиты. Нарисуем это.

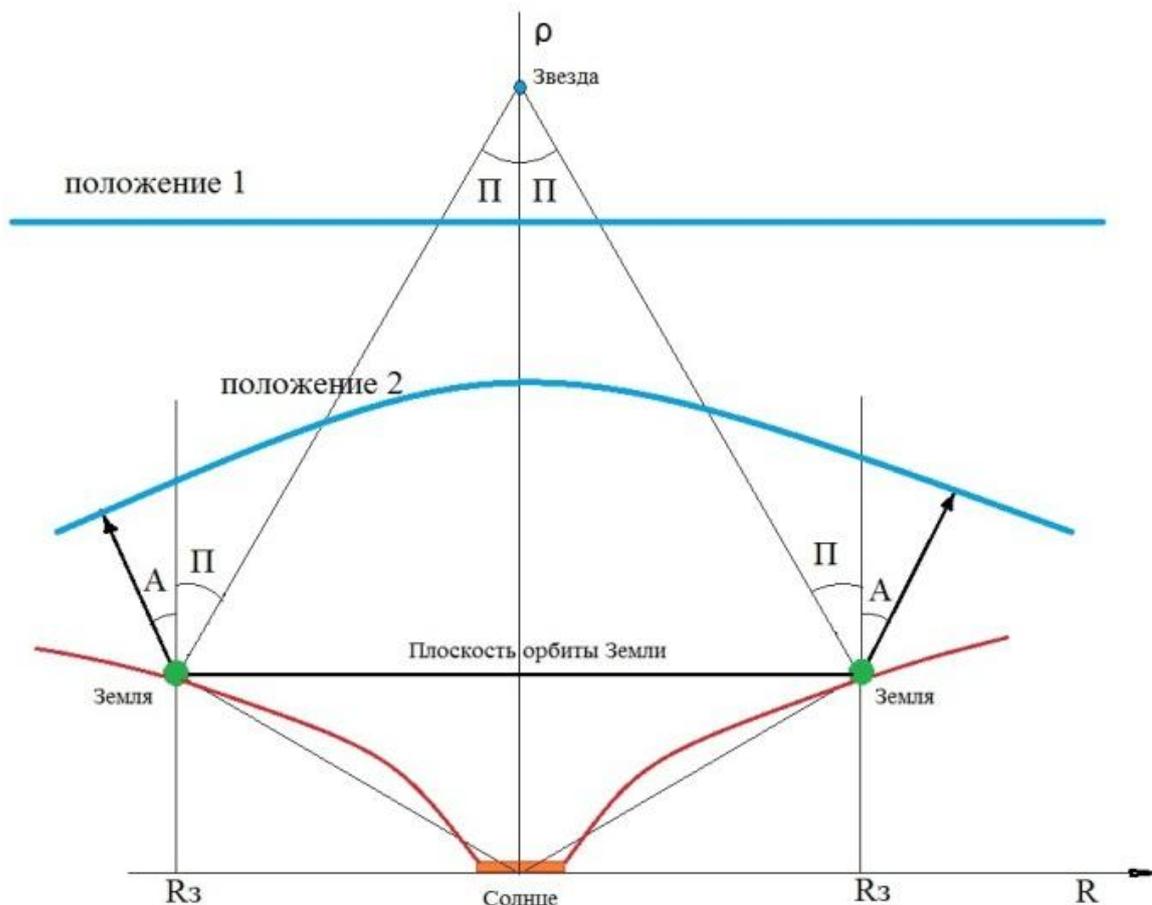


Рисунок 11

Что такое звезда Солнце? С точки зрения жидкостной модели это, собственно как и планета, атом огромных размеров [2]. На рисунке 11 изображено: мяч Солнца (оранжевый цвет); дыра Солнца (график изменения плотности материи в зависимости от расстояния от центра Солнца – красный цвет;  $\rho$  – плотность,  $R$  – расстояние); плоскость орбиты Земли – перпендикулярна плоскости рисунка – их пересечение изображено в виде линии, в крайних положениях которой Земля: справа от Солнца Земля (зеленый цвет) входит в рисунок перпендикулярно плоскости рисунка, а слева – выходит из рисунка перпендикулярно его плоскости. Из центра мяча Солнца восстановим перпендикуляр к плоскости орбиты Земли, на котором расположим звезду (синий цвет), которую рассматривает наблюдатель на Земле (пусть это будет Брэдли). Тогда угол  $\Pi$  будет параллакс, как его определяет астрономическая энциклопедия, и параллакс, который надеялся увидеть наблюдатель Брэдли. Но Брэдли увидел звезду под углом  $A$  (к перпендикуляру в точке наблюдения к плоскости орбиты Земли), то есть в противоположном направлении от перпендикуляра относительно ожидаемого  $\Pi$  – и этот угол  $A$ , назвал абберацией. Таким образом, реально наблюдаемый параллакс получился равным сумме  $A$  и  $\Pi$ . В чем причина этого? Одна из возможных причин может быть такой: реальный размер наблюдаемой звезды больше или равен размеру орбиты Земли и тогда вместо треугольника нужно рисовать прямоугольник или трапецию с более широким основанием в районе звезды, чем основание в районе орбиты Земли. То есть нарушилось одно из выше написанных условий метода параллакса. Другая причина с точки зрения жидкостной модели может быть описана вот так. На рисунке 11, прилетающий из космоса плоский фронт световой волны звезды (положение 1 – фронт света звезды вдали от Солнца, цвет линии синий), приближаясь к Солнцу изгибается в центре, отставая от периферии (положение 2) потому, что плотность материи в центре фронта меньше, чем на его периферии (чем ближе к Солнцу, тем меньше плотность, тем меньше скорость света; скорость света пропорциональна величине плотности материи [2]). Тогда на левом и правом положениях Земли, на этом рисунке, звезда будет видна под углом  $A$  влево и вправо от перпендикуляра к плоскости орбиты. Направление  $A$  соответствует перпендикуляру к фронту световой волны в точке наблюдения. Итак, в результате того, что плотность материи в дыре Солнца с приближением к мячу Солнца падает, световой фронт звезды прогибается в дыре Солнца. Происходит оптическое (дифракционное) огибание световым фронтом звезды мяча Солнца. Заметим – это *оптическое* огибание, а не *гравитационное*. Ответ на поставленный вопрос получен. Абберация-параллакс никак не связана с относительным движением планеты Земля и звезды, и с расстоянием до звезды, а существует сама по себе. Ее величина и направление связаны лишь с расположением Земли в точках орбиты, то есть со свойствами солнечной дыры, с распределением плотности материи в окружающем мяч Солнца пространстве. Заметим, что подобное происходит с фронтом света и в дыре Земли, что называется суточная абберация-параллакс и в дыре вообще любого тела – что приводит к явлению «дифракция световой волны». Таким образом, было нарушено еще одно условие метода параллакса – оптическая однородность среды. Поскольку, все звезды описывают эллипсы (абберационно-параллаксные) с одинаковыми большими полуосями, то причина этого заключена в законе распределения плотности

материи по траектории орбиты Земли, в оптической неоднородности среды в точках орбиты. Логично было бы вместо термина параллакс или абберационно-параллаксное смещение писать просто – абберация (отклонение положения). Этот термин ближе к физической сути явления.

Каков итог этих рассуждений?:

- Абберация света звезды не является следствием движения планеты Земля относительно звезд, а существует сама по себе в каждой точке орбиты траектории, вне зависимости от скорости планеты на своей орбите.
- Метод параллакса не применим в реальной астрономии. *Все расстояния, измеренные до «ближайших» звезд с помощью параллакса звезд – не имеют с реальностью ничего общего.* Из метода параллакса экстраполяцией образовались и другие методы определения расстояния до звезд. Использование данных полученных методом параллакса в последующих экстраполяциях, в других методах – подрывает доверие ко всем этим другим методам. Мы не знаем, на каком расстоянии находится любая из звезд, в том числе и Солнце.
- Брэдли, исходя из экспериментальных данных своих наблюдений и своего теоретического обоснования абберации (правила сложения скоростей), вычислил скорость Земли, равную 30 км/сек на своей орбите. Если это значение скорости используется в расчете параметров орбиты Земли, в расчете удаленности Земли от Солнца, в вычислении размеров шара Солнца, то все эти вычисленные параметры могут отличаться от действительных.

Поэтому трудно переоценить степень необходимости проверки: какое из этих двух теоретических обоснований явления правильное?

Это можно сделать, если астрономы могут определить, параллельны ли две линии в реальном космическом пространстве или перпендикулярны. Если большие оси земной орбиты и абберационного эллипса любой звезды параллельны, то правильно объяснение явления абберация на основе жидкостной модели. Если они скрещены в пространстве (взаимно перпендикулярны при переносе большой оси абберационного эллипса звезды на плоскость земной орбиты), то правильно объяснение Брэдли и СТО. Поясним это на рисунке 12.

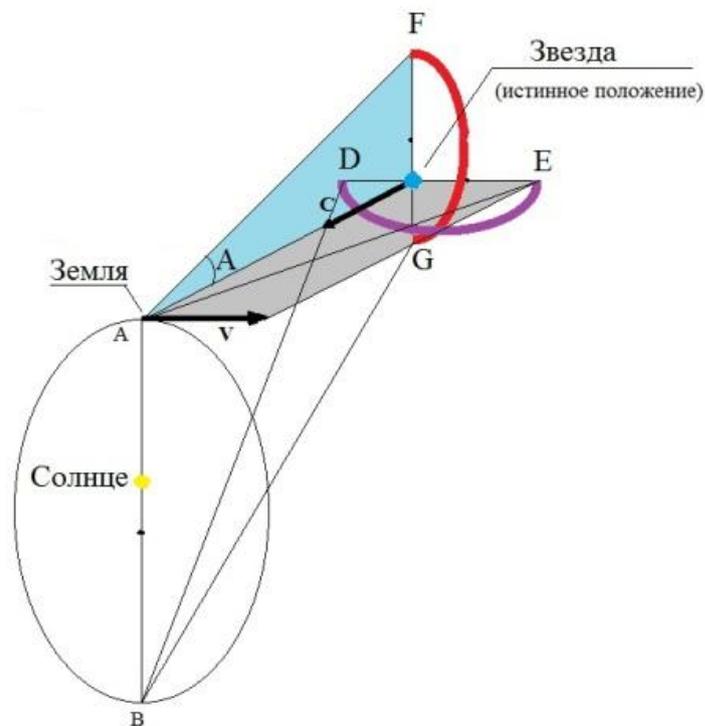


Рисунок 12

Рассмотрим рисунок 12, на котором Земля находится в точке А (перигелий земной орбиты). Так как расстояние до Солнца в этой точке минимальное, то абберационное отклонение звезды будет видно под максимальным углом отклонения А (с точки зрения жидкостной модели: чем ближе Земля расположена к Солнцу, тем сильнее абберационное отклонение) - звезда будет видна в точке F абберационного эллипса. В точке А значение скорости планеты  $V$  тоже максимальное и звезда (с точки зрения Брэдли и СТО) должна быть видна в точке Е, лежащей на максимальном расстоянии от истинного положения звезды, но в плоскости сложения векторов  $V$  и  $C$ . По мере движения Земли из точки перигелия в точку афелия В, звезда опишет дугу половины эллипса FG (по жидкостной модели, красный цвет) или дугу половины эллипса ED (по Брэдли и СТО, бардовый цвет). Следует заметить, что звезды небесной сферы, расположенные близко от линии сечения небесной сферы плоскостью земной орбиты, описывают не эллипсы, а отрезки прямой линии. Если эти отрезки перпендикулярны большой оси эллипса орбиты Земли, то прав Брэдли и СТО. Если они параллельны большой оси орбиты – права жидкостная модель.

Рекомендуется проверить это.

Теперь о второй части выдержки [1], приведенной в начале параграфа – о влиянии радиальных слагающих движения неподвижных звезд относительно Земли на цвета, достигающего до нас света. Согласно СТО все неподвижные звезды, в сторону которых движется Земля, должны иметь одно смещение спектров. Соответственно все звезды, от которых убегают Земля, должны иметь противоположное смещение спектров. Таким образом, вся небесная сфера звезд должна быть поделена на полусферу со звездами с красным смещением и на полусферу со звездами с синим смещением в каждый момент времени движения Земли по своей орбите. Это противоречит опыту – большая часть звезд, не зависимо от направления, под которым они видны с Земли, имеют красное смещение спектров. Так говорят наблюдательные факты астрономов. Одно это уже доказывает, что СТО опровергается наблюдательными фактами. Подробнее о смещениях спектров звезд - в следующем параграфе.

Возвращаясь к рисунку 11 можно еще отметить, что если бы внизу рисунка (по оси ординат под Солнцем) находился бы еще один наблюдатель, то при затмении Солнца каким либо непрозрачным телом, он бы видел звезду, находящуюся за Солнцем. Именно так подтвержались астрономами выводы общей теории относительности (ОТО), состоящие в том, что «световой луч в поле тяготения должен испытывать скривление, подобное тому, которое претерпевает путь тела, несущегося в поле тяготения» [3]. Только, с точки зрения жидкостной модели, это «скривление» вызвано совсем не полем тяготения Солнца и искривлением пространства в этом районе, а оптической дифракцией света из-за разной плотности материи в разных точках дыры Солнца. Дыра Солнца обладает свойствами аналогичными оптическим свойствам стеклянной линзы.

### 2.12. Космология и красное смещение.

Теоретический фундамент космологии составляют модели Вселенной, основанные на общей теории относительности, а эмпирическую основу – наблюдательные факты астрономии.

Общепринятая космологическая модель – это модель расширяющейся Вселенной.

Экспериментальное подтверждение такого расширения – космологическое красное смещение, наблюдаемое для всех звездных объектов понижение частот излучения, объясняемое как динамическое удаление этих источников от Земли и друг от друга - в выполнении космологического закона Хаббла. Остановимся на этом подробнее. Наблюдательные данные астрономов, выполненные в период с 1913 г. (Слайфер) по 1929 г. (Хаббл) привели к открытию десятков небесных объектов, разбегающихся прочь от Земли, и формулировки закона расширения Вселенной (закон Хаббла). Классическое определение этого закона, опубликованное в основополагающей статье Хаббла, выглядит так:

$$v = H_0 r$$

где:  $v$  – скорость убегания наблюдаемого объекта,  $r$  – расстояние до него,  $H_0$  – коэффициент пропорциональности, называемый постоянной Хаббла.

О чем говорит этот закон? О том, что чем дальше от Земли находится небесный объект, тем больше его скорость убегания от Земли. Посмотрим внимательней на это выражение. Положим, те звездные объекты, которые наблюдали астрономы Слайфер, Хаббл и другие астрономы, находились в то время (сто лет назад) на некоторых расстояниях от Земли и имели определенные красные смещения, благодаря которым и был выведен этот закон. Прошло сто лет и теперь, измеряя их красные смещения, мы должны увидеть, что они увеличились. Должны увеличиться: их скорость убегания и расстояние до них – в пропорциях этого закона. А это должно означать, что все звездные объекты двигаются с ускорением, убегают от нас, под действием неизвестной силы. Что приводит нас к однозначному выводу: «большой взрыв» продолжается, и будет продолжаться всегда - согласно закону Хаббла. ОТО, была написана для объяснения гравитации, а звездные объекты не «тяготеют» друг к другу, сближаясь - а разбегаются. Следовательно, ОТО, «подтверждаемая» наблюдательными фактами (законом Хаббла) – не описывает гравитацию. Солнечный свет, а это ближайшая к нам звезда, тоже имеет красное смещение и это красное смещение нельзя объяснить динамическим удалением Солнца, так как орбита Земли не изменилась существенно со времен Ньютона и мы не удаляемся от Солнца с ускорением и нельзя объяснить гравитационным тяготением Солнца. Закон Хаббла не применим для объекта звезда Солнце. Вывод: и теория (ОТО) и наблюдательный опыт (закон Хаббла) - не адекватно описывают природу.

Можно конечно считать, что космологическое красное смещение происходит несколько по-другому и на больших расстояниях, оно связано с расширением пространства - примерно вот так: Рассмотрим свет – электромагнитную волну, идущую от далекой галактики. В то время как свет летит через космос, пространство расширяется. Вместе с ним расширяется и волновой пакет. Соответственно, изменяется и длина волны. Если, за время полета света пространство расширилось в два раза, то и длина волны, и волновой пакет увеличиваются в два раза. При таком рассмотрении расширения пространства заполненного материей (волновой пакет и звезды – это материя) мы должны согласиться с тем, что и линейка, с помощью которой измеряется длина волны волнового пакета, тоже удлинится совместно с пространством - в два раза (чего мы и не заметим) и результат – красного смещения не обнаружится. В противном случае, когда расширяется одно лишь пространство, а материя, находящаяся в нем, остается неизменной (линейка - не расширилась), произойдет расслоение неразрывной связи пространства и материи. Пространство, в этом случае, станет - математическим, условным.

Итог выше приведенных рассуждений: состояние современной физики таково, что она не может объяснить открытое явление – наличие красного смещения спектров всех звездных объектов.

Но это может сделать жидкостная модель.

Первоначально заметим, что закон Хаббла неверен от того, что неверно измеряются расстояния до небесных объектов, о чем достаточно подробно было написано в предыдущем параграфе. Хорошо, нет пропорциональности между красным смещением и расстоянием до объекта (мы их не знаем). Значит, наблюдательные факты говорят только о том, что все излучающие небесные объекты имеют спектры, смещенные по отношению к земному эталону в красную сторону, не зависимо от расстояния до этих объектов и направления, в котором они видны. Кроме того важно отметить следующие умозаключения: Хаббл и другие астрономы, измеряли спектры туманностей расположенные за

пределами нашей галактики. Как это возможно? Можно конечно предположить, что эти туманности – это скопления звезд, не различимые в телескоп, излучающие свет. Но идентифицировать пойманные в раструб телескопа волны или кванты света (как читателю больше нравится) на принадлежность к той или иной галактике, той или иной звезде, с того направления – физически не возможно, их миллиарды в том направлении. Единственный достоверный результат, который можно получить, такими измерениями – спектр любой звезды (а излучают только звезды), с любого направления, смещен в красную сторону по отношению к земному эталону и величина этого смещения является характеристикой звезды. При этом, мы не знаем какой конкретной звезде он принадлежит.

Что такое спектр света звезды? Пусть это будет ближайшая звезда – Солнце. Можно представить, конечно, стеклянную призму, с падающим на нее лучом белого солнечного света, разлагающегося в призме на лучики с разными показателями преломления в материале призмы. Сказать, что каждой частоте соответствует такой-то лучик и все это падает на экран в виде радуги с темными полосками в определенных местах и эта радуга и есть спектр. То есть спектр – это тот набор волн, из которых состоит первоначальная волна. А явление, приводящее к разделению волн разной частоты в призме, назвать дисперсией. Но можно говорить о той же призме и с другой позиции (рисунок 13).

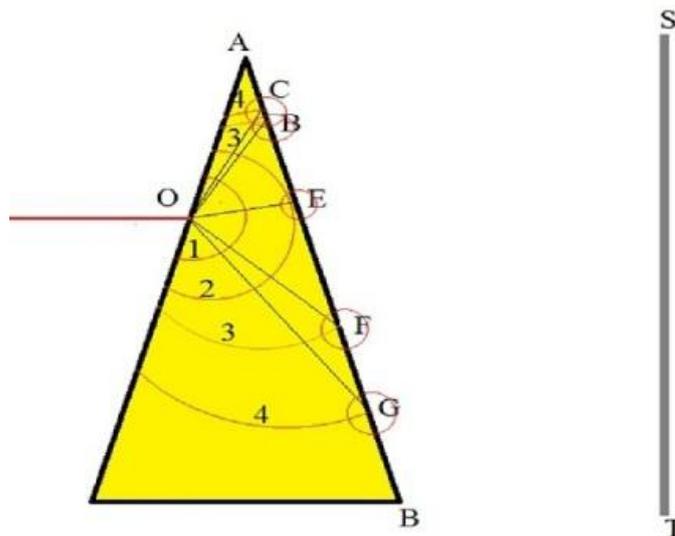


Рисунок 13

Пусть на стеклянную призму в точку О падает луч солнечного света. По методу Гюйгенса, точка О становится генератором сферической световой волны, которая распространяется в веществе призмы с некоторой скоростью, характерной для вещества призмы, отличной от скорости ее распространения в воздухе. Цифрами 1, 2, 3, 4 обозначены положения этой сферической волны в моменты времени  $t_1$ ,  $t_2$ ,  $t_3$ ,  $t_4$ , а точки С, В, Е, F, G являются точками выхода фронта волны из призмы в те же моменты времени. Надо заметить, что вся грань АВ призмы, является набором таких точек, которые начинают испускать сферические волны, согласно тому же принципу Гюйгенса, но в разной фазе. Все эти волны, падая на экран ST, складываясь, рисуют интерференционную картину (поскольку будут в разных фазах из-за разности хода волн). Эта интерференционная картина – чередование полос наложения (цветные) с черными линиями (полоски полного поглощения) – будет существовать в любом случае, вне зависимости от характера луча (сложный состав или монохроматический), падающего на призму. Таким образом, то, что называют спектром, на самом деле может не являться такой смесью, а являться интерференционной картиной монохроматической волны.

Далее заметим, что каждая волна генерируемая мячом атома, распространяясь по дыре атома, ускоряется в ней (так как скорость световой волны пропорциональна плотности материи, а плотность растет по мере удаления от центра) и выходит из атома с вполне определенной скоростью. Разные виды атомов (разные вещества) испускают волны разных скоростей, так как имеют разную глубину дыры. Такие волны, пропущенные по отдельности через одну призму, будут иметь разные интерференционные картинки, разные спектры с точки зрения официальной науки. Каждая звезда, как уже отмечалось выше, это большой атом, имеющий собственную, отличную от других, глубину дыры. Следовательно, каждая звезда испускает из своей дыры вполне определенную волну, двигающуюся с определенной скоростью, имеющую в конечном итоге определенную интерференционную фотографию.

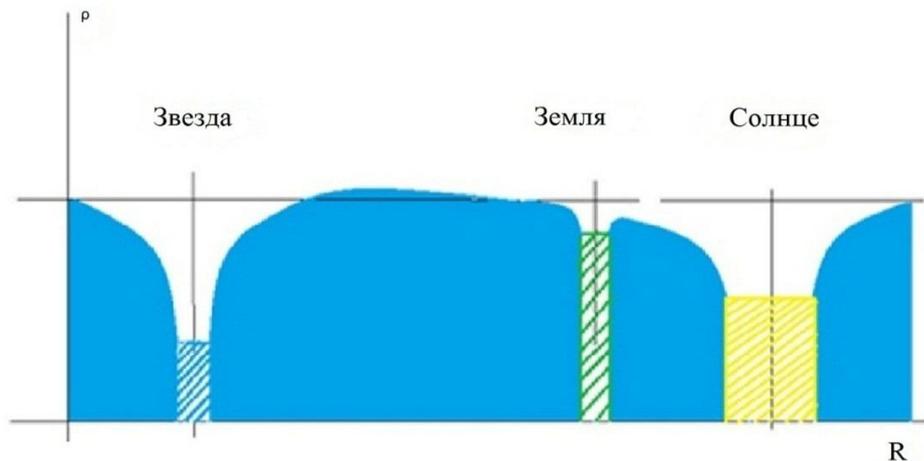


Рисунок 14

Эта волна, поднимаясь из дыры звезды (рисунок 14), ускоряется ею, затем, преодолевая пространство космоса, меняет свою скорость пропорционально плотности материи (материя изображена синим цветом) по траектории движения. Достигнув дыры Земли, замедляется в ней, падая на поверхность, и достигает детектора. Конечный итог: значение ее скорости перед призмой спектрометра будет пропорционально разности глубин дыр Земли и звезды. Что такое ускорение волны в дыре по мере ее подъема? Это увеличение скорости. Следовательно, и увеличение расстояния пробегаемого волной за единицу времени. Значит и увеличение длины волны при стабильной частоте колебания – красноволновое смещение. Замедление волны, соответственно – уменьшение длины волны, синеволновое смещение. Глубина дыры любой планеты значительно меньше глубины дыры любой звезды. Поэтому спектр свечения любой звезды, с любого направления, будет с красным смещением. Световая волна не участвует в гравитационном взаимодействии. Она не ускоряется (не притягивается Солнцем), а наоборот тормозится, при движении в сторону звезды. Из выше приведенных рассуждений можно сделать и такой вывод: цвет земного неба определяется не только рассеянием света в атмосфере планеты, но и торможением его в яме планеты (синее смещение солнечного света).

Если существует такой объект в природе, в дыре которого нет мяча, огромная дыра без густоты, а дырки надо заметить стремятся слиться воедино [2], то на границе такого объекта, там, где плотность материи приближается к нулю, свет должен полностью затормозиться, «замерзнуть». Такой объект можно назвать черной дырой.

Звезды с очень глубокими дырами, похожие на черные дыры, которые «поглотили» в себе некоторое количество густоты и стали обладать тоненьким мячом (мячом малой плотности), способным излучать свет, и выпускать его из своих дыр - испускают свет с таким сильным красным смещением, что свет не виден глазом. Он в невидимой глазом части спектра – в инфракрасной части его. Это излучение, видимо, называют реликтовым. Это излучение молодых, только-только образующихся звезд. Звезды с «жестким» излучением – старые, с относительно малой глубиной дыры. От чего стареют звезды? Поглощая густоты из внешнего мирового пространства, бесконечно перестраивая их в своих фуллеренах, звезды - излучают свет (альтернатива термоядерной природе света звезд). Со временем глубина их дыр становится все меньше и меньше – и это старость.

Так что мы знаем о Вселенной? Очень мало.

Вселенная – стационарная, бесконечная и вечная, ровно такая, как и должна быть. Материя - жидкость космоса. Она ведет себя как обыкновенная вода в сосуде Вселенной, выравнивая свою плотность на некотором расстоянии от звезд, останавливает их движение. Останавливает их от дальнейшего сближения с другими звездами. Равенство давления жидкости на некотором расстоянии от звезды, по всем направлениям, вот то, что препятствует дальнейшему движению звезды, схлопыванию (коллапсу) звезд. Это свойство и есть важнейший космологический принцип. А это расстояние – сфера, за которой плотность материи одинакова - и есть размер самой звезды. Значит, гравитация носит региональный характер. Может быть, как и во всяком океане воды, в космосе есть струи и потоки жидкости, свои Гольфстримы.

**Итог.** Приведенная качественная жидкостная модель позволяет описывать природу как на микроуровне, так и на макроуровне, не применяя каких либо количественных соотношений, что, несомненно, является ее достоинством.

С чего надо начать построение фундамента? С Солнечной системы, с изучения формы ее дыры, с изучения распределения плотности материи в ней (а значит и в атоме). С тщательной проверки параметров орбиты Земли и других планет. С проверки скорости планеты и других объектов Солнечной системы. С проверки наших знаний о Солнце. С регистрации крупных неметаллических объектов Солнечной системы, которые должны излучать волны низкой частоты. С построения механики движения. С построения новой физики.

2.13. В заключении хочу дать комментарий по поводу актуального февральского заявления средств массовой информации (СМИ) о том, что группе ученых работающих в составе проекта LIGO, при помощи нескольких обсерваторий-детекторов, удалось зафиксировать в лабораторных условиях гравитационные волны. Волны, пришедшие из космоса, возникшие от слияния двух черных дыр, зарегистрированные на установке, внешне похожей на схему опыта Майкельсона-Морли, как гравитационные.

Вот мои комментарии по этому событию, с точки зрения автора жидкостной модели:

- Сам автор ОТО, А. Эйнштейн, часто менял свое мнение о существовании волн гравитации, и какое его мнение было окончательным – предмет исследования историков, а не физиков.

• 1. В параграфе 2.11. было отмечено, что расстояния до всех звездных объектов (а значит и до черных дыр, которые собираются «столкнуться») измерены не верно; 2. В параграфе 2.12. было отмечено, что по красным смещениям спектров звездных объектов нельзя судить о скорости этих объектов. 3. В том же параграфе было отмечено, что силы гравитации имеют региональный характер. 4. Если предположить что две черные дыры по каким то причинам сблизилась на столько, что чувствуют влияние соседки, то скорость сближения этих дыр будет сначала расти – пропорционально росту градиента плотности, а потом падать – пропорционально уменьшению того же градиента плотности, начиная с некоторого его значения (ситуация обсуждаемая для двух дырок на рисунке 4 статьи [2]), до полной, плавной, концентричной остановки дыр. Поэтому, суммируя все четыре выше приведенных аргумента, приходим к выводу: столкновение двух черных дыр маловероятно и если оно произошло, то произошло плавно, без выделения невообразимого количества энергии, необходимого для достижения волной детекторов LIGO.

• Что же измеряют в данном проекте? Полагаю, исследователи хотят зафиксировать изменение метрики пространства вблизи опытной установки от воздействия, каких либо гравитационных волн. Пропуская лазерный луч между двумя удаленными зеркалами по разным траекториям - зафиксировать отставание луча на одной из траекторий, от луча другой траектории. С моей точки зрения, расширение или сжатие пространства должно сопровождаться синхронным расширением или сжатием всего, что находится в этом пространстве, в том числе и лазерного луча. Иначе нарушится связь между материей в пространстве и самим пространством, и пространство превратится из «реального» физического в вымышленное математическое. Зафиксировать такое удлинение или сжатие метрики - не удастся, поскольку и лазерный луч синхронно удлинится или сожмется в тех же местах пространства.

• Жидкостная модель – модель природы с одним взаимодействием. С позиции жидкостной модели: гравитационная волна (вызванная объектами Солнечной системы, или земными объектами) может прийти в виде фронта изменения плотности материи, что приведет к изменению плотности материи в конкретных точках пространства и изменению скорости полета лазерного луча в этих точках. При правильной геометрии проведения эксперимента по отношению к такому фронту распространения гравитационной волны – регистрация волны должна происходить без затруднений. Такими гравитационными волнами просто переполнено пространство в районе детекторов LIGO. Это все известные человеку волновые процессы: звук, электромагнитная волна, колебания почвы, атмосферные явления, движение тел. Всякое изменение плотности материи во времени в точках пространства в результате движения какого-либо тела вблизи этих точек создаст тот же гравитационный эффект, который будет испытывать любое пробное тело, помещенное в эти точки. А волна изменения плотности, вызванная движением тела, будет гравитационной волной. Скорость этой гравитационной волны будет такой же, как скорость тела вызвавшего эту волну.

• Миллионы людей живут на побережье океанов и знают о том, что вода периодически регулярно то отступает в океан, то возвращается. Что называют отливами и приливами. И. Ньютон догадался о причине таких колебаний – тяготение Луны. Как Ньютон представлял себе передачу такого воздействия через космос? – это вопрос к Ньютону. Жидкостная модель представляет это так: Дыра Луны уменьшает плотность материи в районе поверхности мяча Земли, на прямой линии соединяющей центры Земли и Луны, заставляя поверхность океанов куполообразно сдвинуться в сторону ослабленной плотности материи, заполняя (подвижной частью мяча планеты - океанской водой), образовавшуюся область пониженной плотности, вызывая в конечном итоге - недостачу воды на побережье (отлив). Этот купол – своего рода пузырь на «прохуdivшемся футбольном мяче». Купол, из-за вращения Земли вокруг своей оси, «следует» за Луной, оставаясь, все время на все той же прямой, соединяющей центры. В каждой конкретной точке океана на его поверхности происходит периодическое изменение плотности материи - гравитационная волна, вызванное появлением Луны над этой точкой, что приводит к периодическому изменению толщины столба воды в этом месте. Планета ежеминутно проводит эксперимент по проверке наличия гравитационных колебаний плотности материи, и мы видим это - на побережье. Амплитуда таких колебаний поверхности океана (толщины столба воды) составляет метры, а это как минимум на 15 порядков больше, ожидаемых колебаний зеркал у LIGO. Прекрасный пример подтверждения наличия гравитационных волн и жидкостной модели строения окружающего нас Мира.

#### Литература

1. Эйнштейн А. О специальной и общей теории относительности (общедоступное изложение). М.: Государственное издательство, 1922. С. 34.
2. Толмачев С. В. Жидкостная модель атома, относительность и космология. Часть 1. Екатеринбург: Международный научно-исследовательский журнал, 2016/02/2-2-44 С. 77-85, URL: <http://research-journal.org/wp-content/uploads/2016/02/2-2-44.pdf>
3. Эйнштейн А. О специальной и общей теории относительности (общедоступное изложение). М.: Государственное издательство, 1922. С. 76.

#### References

1. Einstein A. About the special and general relativity theory (generally available presentation). M.: State publishing house, 1922. Page 34.
2. Tolmachev S. V. The liquid model of the atom, the relativity and the cosmology. Part 1. Yekaterinburg: International research journal, 2016/02/2-2-44 Page 77-85, URL: <http://research-journal.org/wp-content/uploads/2016/02/2-2-44.pdf>
3. Einstein A. About the special and general relativity theory (generally available presentation). M.: State publishing house, 1922. Page 76.

DOI: 10.18454/IRJ.2016.45.107

Филиппов Д.А.<sup>1</sup>, Фирсова Т.О.<sup>2</sup>, Радченко Г.С.<sup>3</sup><sup>1</sup>ORCID: 0000-0002-4359-7770, Доктор физико-математических наук,<sup>2</sup>ORCID: 0000-0003-2773-607X, аспирант, Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого<sup>3</sup>ORCID: 0000-0002-9535-8915 кандидат физико-математических наук

Южный федеральный университет

*Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки РФ**в рамках проектной части государственного задания, проект № 177***ТЕОРИЯ ЛИНЕЙНОГО И НЕЛИНЕЙНОГО МАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА В ОБРАЗЦАХ ИЗ СЛОИСТЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МУЛЬТИФЕРРОИКОВ В ФОРМЕ ДИСКА***Аннотация*

*В статье представлена теория линейного и нелинейного магнитоэлектрического эффекта в слоистых пьезомагнитоэлектрических мультиферроиках, построенная на основе решений материальных уравнений и уравнения движения среды для пьезоэлектрической и магнитоэлектрической подсистем по отдельности с учетом условий на границе раздела. Показано, что в слабых полях подмагничивания величина нелинейного эффекта сравнима с линейным, причем наряду с основным резонансом, наблюдается дополнительный резонанс. Величина амплитуды этого резонанса не зависит от поля подмагничивания, а возбуждение происходит на частоте магнитного поля в два раза меньшей частоты основного резонанса.*

**Ключевые слова:** магнитоэлектричество, пьезоэлектричество, магнитоэлектрический эффект, электромеханический резонанс.

Filippov D.A.<sup>1</sup>, Firsova T.O.<sup>2</sup>, Radchenko G.S.<sup>3</sup><sup>1</sup>ORCID: 0000-0002-4359-7770, PhD in Physics and Mathematics,<sup>2</sup>ORCID: 0000-0003-2773-607X, Postgraduate Student, Yaroslavl-the-Wise Novgorod State University<sup>3</sup>ORCID: 0000-0002-9535-8915, PhD in Physics and Mathematics

South Federal University

**THEORY OF LINEAR AND NONLINEAR MAGNETOELECTRIC EFFECT IN SAMPLES FROM LAMINATED COMPOSITE MULTIFERROIC DISC – SHAPED***Abstract*

*The article presents the theory of linear and nonlinear magnetoelectric effect in layered piezo- magnetostrictive multiferroic, built on the basis of the decisions of the constitutive equations and the equations of motion of the medium for the piezoelectric and magnetostrictive subsystems separately, taking into account the boundary conditions at the interface. It is shown that in weak bias magnetic fields, the value of the non-linear effect is comparable with linear, and along with the main resonance, there is additional resonance. The magnitude of the resonance amplitude is independent of the value bias magnetic field and is excited at the frequency of the magnetic field twice at the main resonance frequency.*

**Keywords:** magnetostriction, piezoelectricity, magnetoelectric effect, electro-mechanical resonance.

**Введение**

Магнитоэлектрический (МЭ) эффект, теоретически предсказанный [1,2] и экспериментально обнаруженный [3,4] более полувека назад в последнее время все большее число исследователей, о чем говорит рост числа публикаций на эту тему [5]. В последние десятилетия усовершенствовалась технология получения композиционных МЭ мультиферроиков. Это позволило создавать структуры с МЭ параметрами, достаточными для создания многообразия электронных устройств [6].

МЭ эффект в пьезомагнитоэлектрических мультиферроиках возникает посредством механического взаимодействия между подсистемами. Механические возбуждения, возникающие в магнетике в переменном магнитном поле, передаются в пьезоэлектрик, что приводит к возникновению электрического поля. Вследствие того, что механизм МЭ эффекта связан с распространением механических волн, то на частотной зависимости эффекта возникают пики, обусловленные электромеханическим резонансом [7].

В теориях МЭ эффекта [8-15], существующих в настоящее время, имеются определенные проблемы и неточности. Метод эффективных параметров, предложенный в [8] и развитый далее в [9,10] применим к структурам, в которых характерные размеры много меньше длины распространяющихся в композите волн. Недостатком метода эффективных параметров является также трудность определения самих значений эффективных параметров. Более точный метод основан на решении уравнения движения среды и материальных уравнений отдельно для магнетика и пьезоэлектрика, связывая затем эти решения с помощью граничных условий. Ранее, в работах [11-14] была предложена теория МЭ эффекта в пьезомагнитоэлектрических структурах с использованием данного подхода. Однако в предложенных теориях имеются определенные неточности. В работах [11,12] наличие границы раздела между фазами осуществлялось путем введения коэффициента связи, который определялся эмпирически. В работе [13] связь считалась идеальной, и предполагалось, что смещения магнетика и пьезоэлектрика одинаковы. Как будет показано ниже, это предположение имеет место в случае тонких слоев, когда можно пренебречь изменением смещений по толщине образца. В работе [14] представлена теория МЭ эффекта, где явно учитывалась граница раздела. В данной работе рассмотрена структура в виде тонкой пластинки. Структуры в форме диска на практике применяются гораздо чаще. Дискаобразная геометрия структуры имеет ряд особенностей по сравнению с пластинкой, поэтому полученные в работе [14] формулы для частотной зависимости МЭ эффекта, для структуры в форме диска непосредственно неприменимы. Если теория линейного МЭ эффекта описана достаточно подробно, то теории нелинейного МЭ эффекта посвящено только две работы [15,16], в которых рассматривался нелинейный эффект в образцах в форме

пластинки. В данной работе изложена теория линейного и нелинейного МЭ эффекта для дискообразных структур с учетом явного учета границы раздела между фазами.

**1. Модель. Основные уравнения. Продольный эффект**

Рассмотрим структуру, состоящую из механически связанных между собой дисков радиуса  $R$ , изготовленных из пьезоэлектрика толщиной  $t_p$  и магнетика толщиной  $t_m$ , с электродами, нанесенными на верхнюю и нижнюю поверхности дисков (рис. 1).

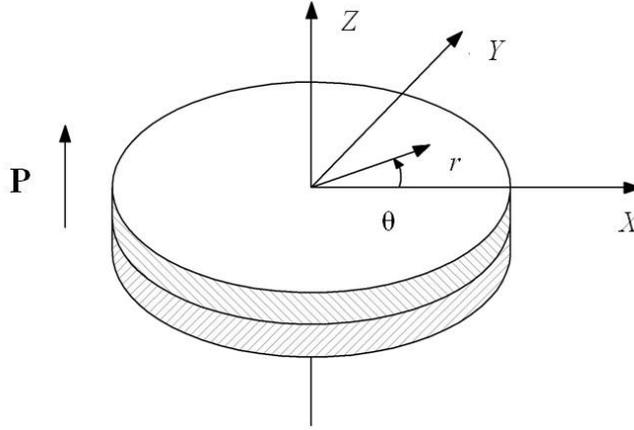


Рис. 1 – Схематичное изображение структуры

В силу симметрии задачи выберем цилиндрическую систему координат таким образом, чтобы ее начало совпадало с границей раздела слоев, а ось  $Z$  направим вертикально вверх. Образец предварительно поляризован вдоль оси  $Z$ . Рассмотрим продольный МЭ эффект, когда направления поля подмагничивания  $\mathbf{H}_{bias}$ , переменного магнитного поля  $\mathbf{H}$  и направление вектора поляризации  $\mathbf{P}$  совпадают с осью  $Z$ . Взаимодействие между магнетиком и пьезоэлектриком осуществляется через границу раздела посредством напряжений сдвига. В силу осевой симметрии задачи отличными от нуля компонентами тензора напряжений  $T_{ij}$  в цилиндрической системе координат будут только компоненты  $T_{rr}$ ,  $T_{\theta\theta}$ ,  $T_{rz}$  и  $T_{\theta z}$ . Вследствие этого, уравнения для тензора напряжений и электрической индукции имеют вид:

$$T_{rr}^p = \frac{Y_p}{(1-\nu^2)} (S_{rr}^p + \nu S_{\theta\theta}^p - (1+\nu)d_{31}E_3) \tag{1}$$

$$T_{\theta\theta}^p = \frac{Y_p}{(1-\nu^2)} (\nu S_{rr}^p + S_{\theta\theta}^p - (1+\nu)d_{31}E_3), \tag{2}$$

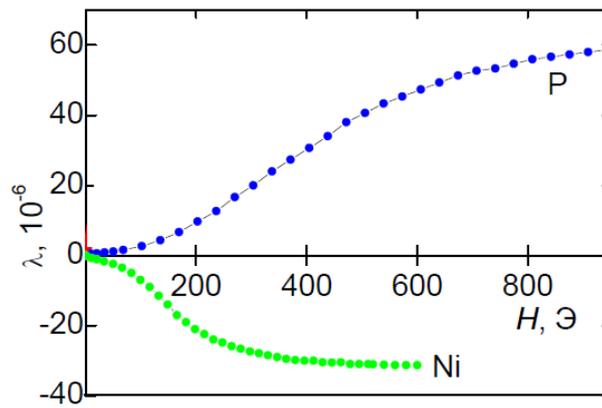
$$D_3 = \epsilon_{33}E_3 + d_{31}(T_{rr}^p + T_{\theta\theta}^p), \tag{3}$$

$$T_{rr}^m = \frac{Y_m}{(1-\nu^2)} (S_{rr}^m + \nu S_{\theta\theta}^m - (1+\nu)\lambda(H)), \tag{4}$$

$$T_{\theta\theta}^m = \frac{Y_m}{(1-\nu^2)} (\nu S_{rr}^m + S_{\theta\theta}^m - (1+\nu)\lambda(H)). \tag{5}$$

Здесь  $Y_\alpha$  ( $\alpha = p, m$ ) – модули упругости первого рода пьезоэлектрика и магнетика соответственно,  $\nu$  – коэффициент Пуассона, который для обеих сред предполагается одинаковым,  $S_{rr}^\alpha = \frac{\partial u_r^\alpha}{\partial r}$ ,  $S_{\theta\theta}^\alpha = \frac{1}{r} \frac{\partial u_\theta^\alpha}{\partial \theta} + \frac{u_r^\alpha}{r}$  – компоненты тензора деформаций,  $u_r^\alpha$ ,  $u_\theta^\alpha$  – компоненты вектора смещения среды,  $d_{31}$  – пьезоэлектрический тензор,  $\lambda(H)$  – магнитострикция магнетика,  $H, E$  – внешнее магнитное и индуцированное электрическое поле.

Поскольку магнитострикция является нелинейной функцией напряженности магнитного поля, то в общем случае тензор напряжений магнетика также будет нелинейным образом зависеть от напряженности магнитного поля. Для никеля и пермендюра зависимость магнитострикции, согласно данным работы [17], будет иметь вид, изображенный на рис. 2


 Рис. 2 – Зависимость магнитострикции  $\lambda(H)$  для никеля (Ni)

В области слабых полей магнитострикция может быть представлена в виде разложения по степеням магнитного поля, причем, как видно из рис. 2, достаточно ограничиться первыми не исчезающими членами разложения, т.е.

$$\lambda(H) = \left( \frac{\partial \lambda}{\partial H} \Big|_{H=H_b} \right) \times H + \frac{1}{2} \left( \frac{\partial^2 \lambda}{\partial H^2} \Big|_{H=H_b} \right) \times H^2 \quad (6)$$

Если ввести обозначения  $q = \frac{\partial \lambda}{\partial H} \Big|_{H=H_b}$  – пьезомагнитный коэффициент и  $g = \frac{1}{2} \frac{\partial^2 \lambda}{\partial H^2} \Big|_{H=H_b}$  – магнитострикционный коэффициент, то выражение (6) для магнитострикции можно записать в виде:

$$\lambda(H) = qH + gH^2. \quad (7)$$

Очевидно, что при отсутствии поля подмагничивания в точке  $\mathbf{H}_{bias} = 0$  пьезомагнитный коэффициент  $q = 0$ , в то время как магнитострикционный коэффициент  $g \neq 0$ . Вследствие этого, линейный МЭ эффект наблюдается только при подмагничивающем поле, в то время как нелинейный МЭ эффект существует и при  $\mathbf{H}_{bias} = 0$ . Как видно из рис. 2, пьезомагнитный коэффициент сначала возрастает с ростом поля подмагничивания, а затем убывает. Это приводит к тому, что величина эффекта сначала возрастает с ростом поля подмагничивания, достигает максимума и затем убывает. В отличие от пьезомагнитного коэффициента  $q$  величина магнитострикционного коэффициента  $g$ , как следует из (6) в области слабых полей не зависит от подмагничивающего поля. Это приводит к тому, что величина нелинейного МЭ эффекта в слабых полях не зависит от  $\mathbf{H}_{bias}$ . Это подтверждено экспериментально в работах [14, 15].

Для радиальной компоненты вектора смещений уравнение движения запишем в виде:

$$\rho_\alpha \frac{\partial^2 u_r^\alpha}{\partial t^2} = \frac{\partial T_{rr}^\alpha}{\partial r} + \frac{T_{rr}^\alpha - T_{\theta\theta}^\alpha}{r} + \frac{\partial T_{rz}^\alpha}{\partial z}, \quad (8)$$

где  $T_{rz}^\alpha$  – тангенциальная компонента тензора напряжений, возникающая в результате резкой границы раздела между фазами. Ее связь с соответствующей компонентой тензора деформаций выражается с помощью закона Гука

$$T_{rz}^\alpha = G_\alpha S_{rz}^\alpha, \quad (9)$$

где  $G_\alpha = \frac{Y_\alpha}{2(1+\nu)}$  – модуль сдвига,  $S_{rz}^\alpha = \frac{\partial u_r^\alpha}{\partial z}$  – деформации сдвига.

Решение уравнения (8) запишем в следующем виде:

$$u_r^\alpha(t, r, z) = u_r^\alpha(r, z) \exp(i\omega t), \quad (10)$$

где  $u_r^\alpha(r, z)$  – координатная часть функции,  $\omega$  – частота колебаний среды. При помещении образца в переменное магнитное поле с частотой  $\omega'$  возникают колебания среды, частота которых при линейном эффекте равна  $\omega_L = \omega'$ , а при нелинейном эффекте, вследствие квадратичной зависимости она равна удвоенной частоте магнитного поля, т.е.  $\omega_{nl} = 2\omega'$ .

Координатную часть волновой функции запишем в следующем виде:

$$u_r^\alpha(r, z) = g_\alpha(z) (A \cdot J_1(kr) + B \cdot Y_1(kr)), \quad (11)$$

где  $g_\alpha(z)$  – функция, описывающая изменение амплитуды смещений среды вдоль оси диска,  $J_1(kr)$ ,  $Y_1(kr)$  – функции Бесселя первого рода и второго рода соответственно,  $k$  – волновое число,  $A$  и  $B$  – постоянные интегрирования. Поскольку в центре диска  ${}^\alpha u_r(r, z) = 0$ , то для постоянной интегрирования  $B$  получаем значение  $B = 0$ .

Подставляя выражение (11) в уравнение (8) для функции  $g_\alpha(z)$  после преобразований получаем следующее выражение:

$$g_\alpha(z)'' + \left( \frac{2}{1-\nu} \right) \left[ \frac{\omega^2}{(V_\alpha)^2} - k^2 \right] g_\alpha(z) = 0, \quad (12)$$

где штрих у функции  $g_\alpha(z)$  означает дифференцирование по переменной  $z$ . В уравнении (12) величины  $V_p^2 = \frac{Y_p}{\rho_p(1-\nu^2)}$ ,  $V_m^2 = \frac{Y_m}{\rho_m(1-\nu^2)}$  равны квадрату скорости распространения упругих волн в магнетике и пьезоэлектрике. Равенство нулю второй скобки в уравнении (12) дает дисперсионное соотношение при распространении упругих волн в чистом магнетике ( $\alpha = m$ ) или пьезоэлектрике ( $\alpha = p$ ). При распространении волн в двухслойной структуре их скорость будет лежать в интервале между скоростью волн в магнетике и скоростью в пьезоэлектрике. Вследствие этого, значение выражения, стоящего в квадратной скобке в (12) для одной среды будет положительным, а для другой – отрицательным. Рассмотрим наиболее типичный случай, когда скорость волн в пьезоэлектрике меньше, чем в магнетике. В этом случае решение уравнения (12) имеет вид:

$$g_m(z) = C_1 \exp(\chi_m z) + C_2 \exp(-\chi_m z) \quad (13)$$

$$g_p(z) = C_3 \cos(\chi_p z) + C_4 \sin(\chi_p z), \quad (14)$$

где  $C_1 \dots C_4$  константы интегрирования. Здесь использованы следующие обозначения:

$$\chi_m^2 = -\frac{2}{1-\nu} \left( \frac{\omega^2}{V_m^2} - k^2 \right), \quad \chi_p^2 = \frac{2}{1-\nu} \left( \frac{\omega^2}{V_p^2} - k^2 \right).$$

Для определения постоянных интегрирования  $C_1 \dots C_4$  воспользуемся граничными условиями: в точке  $z=0$  равны компоненты вектора смещений  $u_r^m(r, 0) = u_r^p(r, 0)$  и тангенциальные компоненты тензора напряжений  $T_{rz}^m(r, 0) = T_{rz}^p(r, 0)$ ; в точках  $z = -t_p$  и  $z = t_m$  тангенциальные компоненты тензора напряжений  $T_{rz}^p(r, -t_p) = 0$  и  $T_{rz}^m(r, t_m) = 0$ . Эти условия дают систему из четырех уравнений, решение которой дает выражение, определяющее связь между частотой и волновым вектором в виде

$$Y_m \chi_m \cdot th(\kappa_m) = Y_p \chi_p \cdot tg(\kappa_p), \quad (15)$$

где  $\kappa_m = \chi_m t_m$  и  $\kappa_p = \chi_p t_p$  – безразмерные переменные. Следует отметить, что аналогичное соотношение имеет место и для пластинки [13]. Зависимость частоты  $\omega$  от волнового вектора  $k$ , как следует из (15), является нелинейной. Для тонких слоев, разлагая функции в ряд по малым параметрам, эту зависимость можно представить приближенным выражением:

$$\omega = \bar{V}(1 + \delta)k. \quad (16)$$

где  $\bar{V} = \sqrt{\frac{\bar{Y}}{\bar{\rho}(1-\nu^2)}}$  – скорость распространения упругих волн в среде с усредненными параметрами,  $\delta$  – поправка, описывающая отклонение от линейного соотношения между  $\omega$  и  $k$ . Здесь введены обозначения  $\bar{Y} = (Y_m t_m + Y_p t_p)/(t_m + t_p)$  – среднее значение модуля упругости,  $\bar{\rho} = (\rho_m t_m + \rho_p t_p)/(t_m + t_p)$  – среднее значение плотности среды.

В первом приближении поправка  $\delta$  определяется следующим выражением:

$$\delta = -\frac{(1+\nu) Y_m t_m \left[ (\bar{V}/V_m)^2 - 1 \right]^2 (kt_m)^2 + Y_p t_p \left[ (\bar{V}/V_p)^2 - 1 \right]^2 (kt_p)^2}{3 Y_m t_m + Y_p t_p}. \quad (17)$$

Окончательно, для постоянных интегрирования  $C_1 \dots C_4$  получаем следующие выражения:

$$C_1 = 1, C_2 = \exp(2\kappa_m), C_3 = 1 + \exp(2\kappa_m), C_4 = -(1 + \exp(2\kappa_m)) \cdot \operatorname{tg}(\kappa_p). \quad (18)$$

Постоянную интегрирования  $A$  найдем из условия механического равновесия, которое имеет вид:

$$\int_{-t_p}^0 T_{rr}^p(R, z) dz + \int_0^{t_m} T_{rr}^m(R, z) dz = 0. \quad (19)$$

Выполняя интегрирование, при линейном эффекте для постоянной интегрирования  $A_L$  получим:

$$A_L = \frac{1 + \nu}{\Delta_L} \frac{R}{1 + \exp(2\kappa_m^L)} \cdot \frac{d_{31} Y_p t_p E_3 + Y_m t_m q_{31} H_3}{Y_p t_p \frac{\operatorname{tg} \kappa_p^L}{\kappa_p^L} + Y_m t_m \frac{\operatorname{tg} \kappa_m^L}{\kappa_m^L}}, \quad (20)$$

где  $\kappa_L = k_L R$  и обозначение  $\Delta_L = \kappa_L J_0(\kappa_L) - (1 - \nu) J_1(\kappa_L)$ .

При нелинейном эффекте для постоянной интегрирования  $A_{NL}$  имеем:

$$A_{NL} = \frac{1 + \nu}{\Delta_{NL}} \frac{R}{1 + \exp(2\kappa_m^{NL})} \cdot \frac{d_{31} Y_p t_p E_3 + Y_m t_m g_{31} H_3^2}{Y_p t_p \frac{\operatorname{tg} \kappa_p^{NL}}{\kappa_p^{NL}} + Y_m t_m \frac{\operatorname{tg} \kappa_m^{NL}}{\kappa_m^{NL}}}, \quad (21)$$

где  $\kappa_{NL} = k_{NL} R$  и  $\Delta_{NL} = \kappa_{NL} J_0(\kappa_{NL}) - (1 - \nu) J_1(\kappa_{NL})$ .

Принципиальным отличием переменных с индексами  $L$  и  $NL$  например, таких как  $\kappa_m^L$  и  $\kappa_m^{NL}$ ,  $\kappa_p^L$  и  $\kappa_p^{NL}$  и т.д. является то, что в переменные с индексом  $L$ , входящие в выражение для линейного эффекта, входит параметр  $k_L$ , который определяется из соотношения (16), в котором частота колебаний среды  $\omega_L = \omega'$ , где  $\omega'$  – частота внешнего магнитного поля, а в переменные с индексом  $NL$  входит параметр  $k_{NL}$ , который определяется из соотношения (16), в котором частота колебаний среды  $\omega_{NL} = 2\omega'$ .

## 2. Магнитоэлектрический эффект

Разность потенциалов между обкладками образца, найдем из выражения:

$$U = \int_{-t_p}^0 E_3 dz. \quad (22)$$

Выражая из (3) напряженность электрического поля через тензор напряжений и используя уравнения (1) и (2), с учетом (11), а также условие разомкнутой цепи  $\int_0^r r dr \int_0^{2\pi} D_3 d\theta = 0$ , для разности потенциалов, возникающей между обкладками, в случае линейного эффекта, получим выражение в виде:

$$U_L = \frac{2d_{31} q_{31} (1 + \nu) Y_p t_p}{\varepsilon_{33} (1 - \nu)} \cdot \left[ \frac{Y_m t_m}{Y_p t_p \frac{\operatorname{tg} \kappa_p^L}{\kappa_p^L} + Y_m t_m \frac{\operatorname{tg} \kappa_m^L}{\kappa_m^L}} \cdot \frac{\operatorname{tg} \kappa_p^L}{\kappa_p^L} \right] \cdot \frac{J_1(\kappa_L)}{\Delta_a^L} \cdot H_3. \quad (23)$$

где  $K_p^2 = \frac{d_{31}^2 Y_p}{\varepsilon_{33} (1 - \nu)}$  – квадрат коэффициента электромеханической связи при радиальных колебаниях. В уравнении (23) введено обозначение

$$\Delta_a^L = \Delta_L (1 - K_p^2) + 2(1 + \nu) K_p^2 \frac{Y_p t_p}{Y_p t_p \frac{\operatorname{tg} \kappa_p^L}{\kappa_p^L} + Y_m t_m \frac{\operatorname{tg} \kappa_m^L}{\kappa_m^L}} \frac{\operatorname{tg} \kappa_p^L}{\kappa_p^L} J_1(\kappa_L). \quad (24)$$

Условие  $\Delta_a^L = 0$  определяет значения волнового вектора, а, следовательно, и значения частот, при которых происходит резонансное увеличение линейного МЭ эффекта. Значения этих частот в свою очередь зависят от дисперсионного соотношения между  $\omega_L$  и  $k_L$ . Из уравнения (24) следует, что в низкочастотной области значение индуцированного напряжения не зависит от частоты и определяется выражением:

$$U_L^{Low} = \frac{2d_{31}q_{31}Y_p t_p}{\epsilon_{33}(1-\nu)} \cdot \frac{Y_m t_m}{Y_p t_p + Y_m t_m} \cdot \frac{1}{1 - K_p^2 \left(1 - \frac{2Y_m t_m}{Y_p t_p + Y_m t_m}\right)} \cdot H_3. \quad (25)$$

Для электрического напряжения, индуцированного на обкладках образца вследствие нелинейного эффекта, имеем следующее выражение:

$$U_{NL} = \frac{2d_{31}g_{31}(1+\nu)Y_p t_p}{\epsilon_{33}(1-\nu)} \cdot \left[ \frac{Y_m t_m}{Y_p t_p \frac{tg \kappa_p^{NL}}{\kappa_p^{NL}} + Y_m t_m \frac{th \kappa_m^{NL}}{\kappa_m^{NL}}} \cdot \frac{tg \kappa_p^{NL}}{\kappa_p^{NL}} \right] \cdot \frac{J_1(\kappa_{NL})}{\Delta_a^{NL}} \cdot H_3^2, \quad (26)$$

где  $\Delta_a^{NL}$  определяется выражением, аналогичным выражению (24), где индекс  $L$  заменен на индекс  $_{NL}$ .

Суммарное напряжение, индуцируемое на образце  $U = U_L + U_{NL}$ . На рис.3 показана частотная зависимость эффекта для структуры никель – цирконат-титанат свинца в переменном магнитном поле  $H=2 Oe$  при значении поля подмагничивания равному полю Земли ( $H_{bias}=0.2 Oe$ ) и в поле подмагничивания величиной  $H_{bias}=10 Oe$ .

При расчетах использовались следующие параметры структуры: радиус диска  $R=4.5 mm$ , толщина пьезоэлектрика  $t_p=0.4 mm$ , толщина магнетика  $t_m=0.32 mm$ .

Параметры материала:

Пьезоэлектрик ЦТС –  $\rho_p = 7800 kg/m^3$ ,  $Y_p = 62 GPa$ ,  $\nu = 0.3$ ,  $\epsilon_{33} = 1750$ ,  $d_{31} = 175 pC/N$ ;

Магнетик – никель –  $\rho_p = 8900 kg/m^3$ ,  $Y_b = 205 GPa$ ,  $\nu = 0.3$ .

Магнитострикционная кривая, представленная на рис. 2, на начальном участке аппроксимировалась следующим выражением:

$$\lambda(H) = gH^2, \quad (27)$$

где магнитострикционный коэффициент имел значение, равное  $g = 1.2 \cdot 10^{-9} Oe^{-2}$

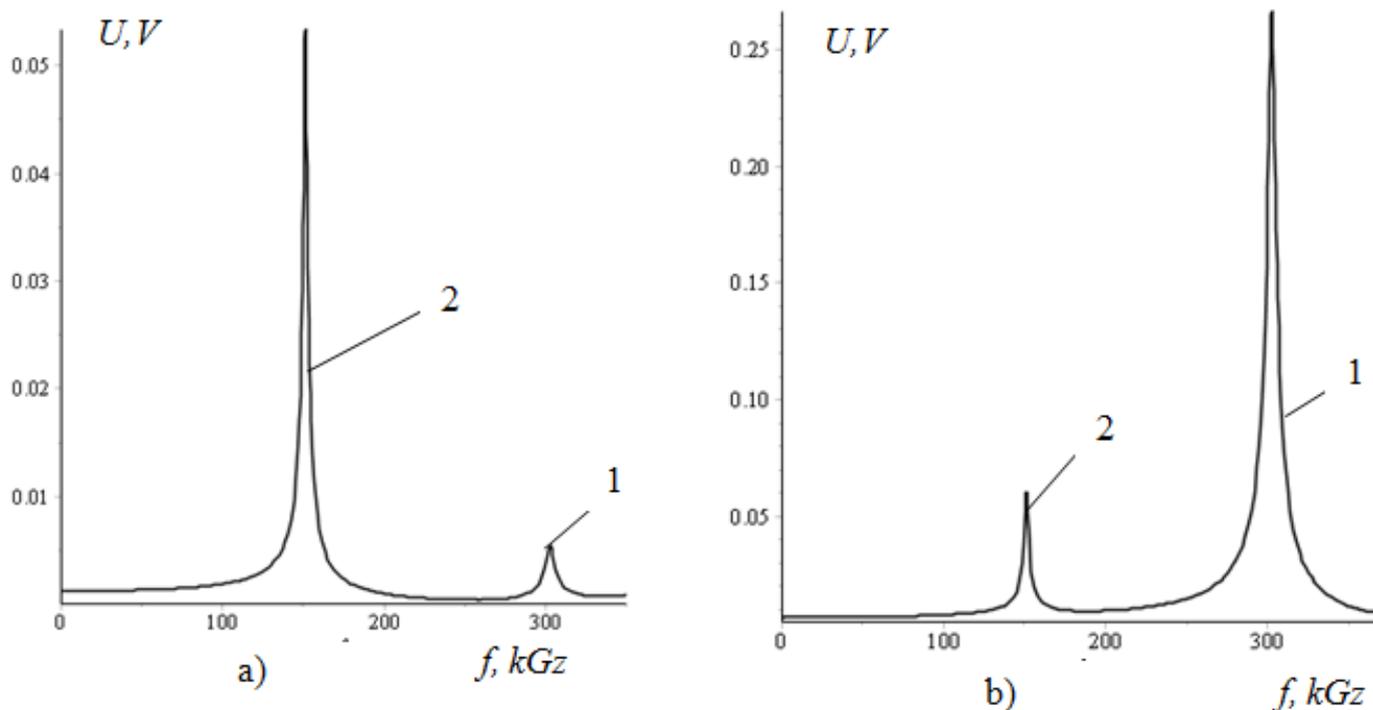


Рис. 3 – Частотная зависимость напряжения, индуцированного на обкладках линейным – 1 и нелинейным – 2 МЭ эффектами в поле подмагничивания  
а)  $H_{bias}=0.2 Oe$  (поле Земли) и б)  $H_{bias}=10 Oe$ .

### Заключение

Магнитоэлектрический эффект в композиционных мультиферроиках возникает в результате механического взаимодействия слоев, которое осуществляется посредством тангенциальных напряжений, сопровождающихся деформациями сдвига. Это приводит к неоднородному изменению амплитуды колебаний в направлении, перпендикулярном границе раздела. Условие совместности решений уравнения движения для магнитострикционной и пьезоэлектрической фаз, вытекающее из граничных условий, приводит к нелинейному соотношению между

частотой и волновым числом. Вследствие нелинейной зависимости магнитоэлектрической от магнитного поля в таких структурах наряду с линейным, возникает и нелинейный по внешнему магнитному полю МЭ эффект. В отличие от линейного МЭ эффекта, он отличен от нуля и при отсутствии поля подмагничивания, а в слабых полях подмагничивания его величина сравнима с линейным МЭ эффектом.

#### Литература

1. Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. Электродинамика сплошных сред. М. ГИФМЛ. (1959). 532 с.
2. Дзялошинский И.Е. К вопросу о магнитоэлектрическом эффекте в антиферромагнетиках // ЖЭТФ. – 1959. – т. 37. – С. 881-882.
3. Астров Д.Н. Магнитоэлектрический эффект в окиси хрома // ЖЭТФ. – 1961. – т. 40. – С. 1035-1041.
4. Folen V.J., Rado G.T., Stalder E.W. Anisotropy of the magnetoelectric effect in  $Cr_2O_3$  // Phys. Rev. Lett. – 1961. – v. 6. – № 11. – P. 607-608.
5. Пятаков А.П., Звездин А.К. Магнитоэлектрические материалы и мультиферроики // Успехи физических наук. – 2012. – т. 182 – № 6. – С. 593-620.
6. C.W. Nan, M.I. Bichurin, S. Dong, D. Viehland, G. Srinivasan. Multiferroic magnetoelectric composites: Historical perspective, status, and future directions. – JAP – 2008 – v. 103. – P. 031101.
7. Филиппов Д.А.; Бичурин М.И.; Петров В.М.; Лалетин В.М.; Поддубная Н.Н.; Srinivasan G. Гигантский магнитоэлектрический эффект в композиционных материалах в области электромеханического резонанса // Письма в ЖТФ. – 2004. – т. 30. – № 1. – С. 15-20.
8. Harshe G., Dougherty J.O., Newnham R. E. Theoretical modelling of multilayer magnetoelectric composites // Int. J. Appl. Electromagn. Mater. – 1993. – v. 4. – P. 145-159.
9. Bichurin M. I., Petrov V.M. Srinivasan G. Theory of Magnetoelectric Effects in Ferromagnetic Ferroelectric layer Composites // J. Appl. Phys. – 2002. – v. 92. – № 12. – P. 7681-7683.
10. Bichurin M.I., Petrov V.M., Srinivasan G. Theory of low-frequency magnetoelectric coupling in magnetostrictive-piezoelectric bilayers // Phys. Rev. B. – 2003. – v. 68. – P. 054402 (1-13).
11. Д.А. Филиппов. Теория магнитоэлектрического эффекта в гибридных феррит-пьезоэлектрических композиционных материалах // Письма в ЖТФ. – 2004. – т. 30. – № 9. – С. 6-11
12. Д.А. Филиппов. Теория магнитоэлектрического эффекта в гетерогенных структурах на основе ферромагнетик – пьезоэлектрик // ФТТ. – 2005. – т. 47. – №6. – С.1082-1084.
13. М.И. Бичурин, В.М. Петров, С.В. Аверкин, А.В. Филиппов. Электромеханический резонанс в магнитоэлектрических слоистых структурах // ФТТ. – 2010. – т. 52. – №10. – С. 1975 – 1980.
14. Филиппов Д.А. Лалетин В.М., Galichyan T.A. Магнитоэлектрический эффект в двухслойной магнитоэлектрической структуре // ФТТ. – 2013. – т.55. – С. 1728-1733.
15. В.М. Лалетин, Д.А. Филиппов, Т.О. Фирсова. Нелинейный резонансный магнитоэлектрический эффект в магнитоэлектрической структуре // ПЖТФ. – 2014. – т. 40, № 6. – с. 11-18.
16. Д.А. Филиппов, В.М. Лалетин, Т.О. Фирсова. Нелинейный магнитоэлектрический эффект в композиционных мультиферроиках // ФТТ. – т. 56. – №5. – С. 944 – 948.
17. D.A. Burdin, D.V. Chashin, N.A. Ekonomov, L.Y. Fetisov, Y.K. Fetisov, G. Sreenivasulu, G. Srinivasan Nonlinear magneto-electric effects in ferromagnetic-piezoelectric composites // Journal of Magnetism and Magnetic Materials 358-359(2014) 98–104.

#### References

1. L.D. Landau, E.M. Lifshiz. Electrodinamika sploshnikh sred. M. GIFML. (1959). 532 с.
2. Dzyaloshinsky I.E. K voprosu o magnitoelektricheskom effekte v antiferromagnetikakh // ZHETF. – 1959. – v. 37. – С. 881-882.
3. Astrov D.N. Magnitoelektricheskiy effect v okisi khroma // ZHETF. – 1961. – v. 40. – P. 1035-1041.
4. Folen V.J., Rado G.T., Stalder E.W. Anisotropy of the magnetoelectric effect in  $Cr_2O_3$  // Phys. Rev. Lett. – 1961. – v. 6. – № 11. – P. 607-608.
5. Pyatakov A. P., Zvezdin A.K. Magnitoelektricheskie materialy i multiferroiki // Uspehi fizicheskikh nauk. – 2012. – т. 182 – № 6. – S. 593-620..
6. C.W. Nan, M.I. Bichurin, S. Dong, D. Viehland, G. Srinivasan. Multiferroic magnetoelectric composites: Historical perspective, status, and future directions. – JAP – 2008 – v. 103. – P. 031101.
7. Filippov D.A., Bichurin M.I., Petrov V.M., Laletin V.M., Poddubnaya N.N. Srinivasan G. Gigantskiy magnitoelektricheskiy effect v kompozitsionnikh materialakh v oblasti elektromekhanicheskogo rezonansa // Pis'ma v ZHETF. – 2004. – v. 30. – № 1. – P. 15-20.
8. Harshe G., Dougherty J.O., Newnham R. E. Theoretical modelling of multilayer magnetoelectric composites // Int. J. Appl. Electromagn. Mater. – 1993. – v. 4. – P. 145-159.
9. Bichurin M. I., Petrov V.M. Srinivasan G. Theory of Magnetoelectric Effects in Ferromagnetic Ferroelectric layer Composites // J. Appl. Phys. – 2002. – v. 92. – № 12. – P. 7681-7683.
10. Bichurin M.I., Petrov V.M., Srinivasan G. Theory of low-frequency magnetoelectric coupling in magnetostrictive-piezoelectric bilayers // Phys. Rev. B. – 2003. – v. 68. – P. 054402 (1-13).
11. D.A. Filippov Teoriya magnitielektricheskogo effekta v gibridnikh ferrit-p'ezoelektricheskikh materialakh // Pis'ma v ZHETF. – 2004. – v. 30. – № 9. – P. 6-11
12. D.A. Filippov Teoriya magnitielektricheskogo effekta v geterogennikh strukturakh na osnove ferromagnetic-p'ezoelektric // FTT. – 2005. – v. 47. – №6. – С.1082-1084.
13. M.I. Bichurin, V.M. Petrov, S.V. Averkina, A.V. Filippov Elektromekhanicheskij rezonans v magnitoelektricheskikh sloistikh strukturakh // FTT. – 2010. – v. 52. – №10. – P. 1975 – 1980.

14. Filippov D.A., Laletin V.M., Galichyan T.A. Magnitoelektricheskij effect v dvukhslojnoj magnitostrikcionnoj styrukture // FTT. – 2013. – v.55. – P. 1728-1733.
15. V.M. Laletin, D.A. Filippov, T.O. Firsova Nelinejnij rezonansnij magnitoelektricheskij effect v magnitostrikcionno-p'ezoelektricheskikh strukturakh // Pis'ma v ZHTF. – 2014. – v. 40, № 6. – P. 11-18.
16. D.A. Filippov, V.M. Laletin, T.O. Firsova Nelinejnij magnitoelektricheskij effect v kompozitsionnikh mul'tiferroikakh // FTT. – v. 56. – №5. – P. 944 – 948.
17. D.A. Burdin, D.V. Chashin, N.A. Ekonomov, L.Y. Fetisov, Y.K. Fetisov, G. Sreenivasulu, G. Srinivasan Nonlinear magneto-electric effects in ferromagnetic-piezoelectric composites // Journal of Magnetism and Magnetic Materials 358-359(2014) 98–104.

DOI: 10.18454/IRJ.2016.45.113

Фирсова Т.О.

ORCID: 0000-0003-2773-607X, аспирант

Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого

### ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ И МАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СЛОИСТЫХ МАГНИТОСТРИКЦИОННО-ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТРУКТУР

*Аннотация*

*В работе описана технология изготовления магнитострикционно-пьезоэлектрических структур методом электролитического осаждения никеля на керамическую подложку. Представлены экспериментальные результаты исследования магнитоэлектрических свойств двухслойной структуры на основе цирконат-титанат свинца – никель.*

**Ключевые слова:** никель, цирконат-титанат свинца, арсенид галлия, электролитическое осаждение, магнитоэлектрический эффект.

Firsova T.O.

ORCID: 0000-0003-2773-607X, postgraduate student

Yaroslav-the-Wise Novgorod State University

### MANUFACTURING TECHNIQUES AND MAGNETOELECTRIC PROPERTIES OF THE LAYERED MAGNETOSTRICTIVE-PIEZOELECTRIC STRUCTURES

*Abstract*

*The paper describes the technology of manufacturing a magnetostrictive - piezoelectric structures by electrolytic deposition of nickel on a ceramic substrate. The experimental results of research magnetolectric properties of a bilayer structure based on lead zirconate titanate - nickel are presented.*

**Keywords:** nickel, lead zirconate titanate, gallium arsenide, electrolytic deposition, magnetolectric effect.

Магнитострикционно-пьезоэлектрические структуры являются композиционными материалами, состоящими из механически связанных между собой феррита или ферромагнетика с одной стороны и пьезоэлектрика с другой. В таких структурах возможны эффекты, отсутствующие, по отдельности, и в магнитострикционной, и в пьезоэлектрической фазах. При приложении к такой структуре внешнего электрического поля происходит изменение намагниченности, и, наоборот, при приложении внешнего магнитного поля происходит изменение поляризации. Этот эффект, называемый магнитоэлектрическим (МЭ), привлекает в последнее время все более пристальное внимание, поскольку на его основе можно создавать принципиально новые приборы твердотельной электроники [1].

Механизмом возникновения МЭ эффекта в таких структурах является механическое взаимодействие магнитострикционной и пьезоэлектрической подсистем. В магнитном поле в магнитострикционной компоненте возникают механические деформации, которые посредством механической связи передаются в пьезоэлектрическую компоненту, где, вследствие пьезоэффекта происходит изменение поляризации, что приводит к возникновению электрического напряжения на обкладках конденсатора, диэлектриком которого является магнитоэлектрический композит.

С точки зрения технологии изготовления материалы условно можно разделить на две категории – объемные (bulk) и многослойные (multilayer) композиты. И те, и другие, имеют определенные преимущества и недостатки [2]. Объемные композиционные материалы, полученные спеканием смесей порошков феррита и пьезоэлектрика, хотя, в зависимости от технологии изготовления, имеют меньшие значения МЭ параметров, но они просты в изготовлении и обладают хорошими механическими свойствами. Достоинством слоистых структур является высокая степень поляризации пьезоэлектрической фазы, малые токи утечки, поскольку магнитострикционная фаза с более высокой проводимостью изолируется пьезоэлектрической фазой с высоким удельным сопротивлением. При этом в качестве магнитострикционной фазы можно использовать материалы с высокой проводимостью. Однако большим недостатком слоистых структур является плохая механическая прочность, расслоение образцов по границам фаз. При их изготовлении используют либо клеевое соединение, либо напыление, либо электролитическое осаждение. Проблемой изготовления таких композиционных материалов являются эффекты, возникающие на границе раздела вследствие несоответствия фаз. Использование промежуточного полимерного слоя приводит к тому, что уменьшается качество механического соединения, вследствие чего уменьшается величина эффекта [3]. Кроме того, введение промежуточного слоя уменьшает добротность структуры, в результате чего ширина резонансной линии увеличивается и одновременно уменьшается ее максимум. Помимо этого, использование промежуточного связывающего полимерного слоя приводит к сильной температурной зависимости эффекта [4-5]. Использование технологии напыления или электрохимического осаждения позволяет исключить промежуточный полимерный слой. Целью

данной работы являлось получение магнитострикционно-пьезоэлектрических структур с хорошей адгезией между слоями и большой величиной МЭ эффекта

Величина МЭ эффекта, согласно [6], имеет максимум при следующем соотношении между толщиной магнетика  ${}^m t$  и пьезоэлектрика  ${}^p t$ :  ${}^p t \sqrt{{}^p Y} = {}^m t \sqrt{{}^m Y}$ , где  ${}^p Y$ ,  ${}^m Y$  - модули Юнга пьезоэлектрика и магнетика соответственно. Поскольку модули Юнга  ${}^p Y$  и  ${}^m Y$  соизмеримы между собой, то максимум эффекта наблюдается при примерно равных толщинах магнетика и пьезоэлектрика.

Однако при напылении невозможно получить магнитострикционные слои, толщина которых соизмерима с толщиной пьезоэлектрика. При напылении толщина напыленного слоя составляет порядка несколько микрон, в то время как толщина пьезоэлектрика сотни микрон. В результате этого соотношение толщин далеко от оптимального, вследствие чего величина эффекта в таких структурах значительно ниже, чем в структурах, изготовленных с использованием связывающего полимерного слоя [9]. Использование метода электрохимического осаждения магнитострикционного металла на пьезоэлектрическую подложку позволяет получить слои толщиной 10-50 мкм, что является уже соизмеримым с толщиной подложки. Однако при осаждении толстых слоев возникают проблемы, одна из которых связана с получением хорошей адгезии между слоями. В данной работе представлена технология изготовления структур, полученных электролитическим методом, где для улучшения адгезии использовались промежуточные слои.

### 1. Технология изготовления

При изготовлении структур в качестве подложки были использованы керамика цирконат-титанат свинца (ЦТС) толщиной 400 мкм и 500 мкм и арсенид галлия толщиной 400 мкм. Все образцы имели форму прямоугольной пластины. Керамические образцы предварительно были поляризованы в направлении, перпендикулярном плоскости контактов (ось Z). В качестве магнитострикционной фазы использовался никель.

Проблемой, возникающей при изготовлении структур путем электрохимического осаждения, являются эффекты, возникающие на границе раздела вследствие несоизмерности фаз [7,8]. Постоянные решетки подложки из арсенида галлия и никеля имеют разные значения, поэтому вследствие этого на границе раздела возникают механические напряжения. Это приводит к тому, что при изготовлении двухслойных структур происходит коробление, образец изменяет свою форму и нанесенная пленка никеля отслаивается. Если использовать трехслойные структуры никель – арсенид галлия – никель, то коробления не происходит. Однако наличие механических напряжений приводит к тому, что даже при небольшом внешнем механическом воздействии происходит разрушение структуры. Слой арсенида галлия при этом буквально рассыпается в порошок. Как показывают результаты предварительных опытов, увеличением температуры электролита в ходе осаждения и варьированием режимов осаждения можно уменьшить возникающие механические напряжения.

Первоначальная химическая обработка исходных структур производилась путем кипячения в ацетоне. Непосредственно перед напылением производилась химическая обработка путем выдерживания структур в течение времени 1 мин 30 сек в 5%-ом растворе соляной кислоты HCl.

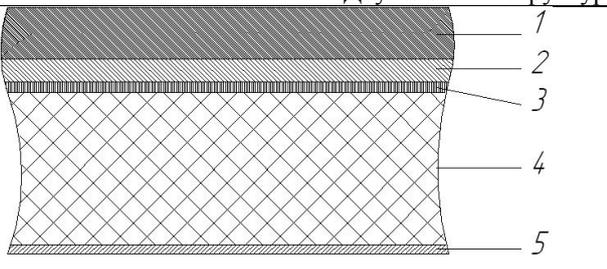
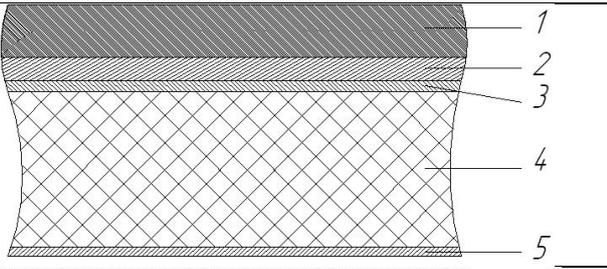
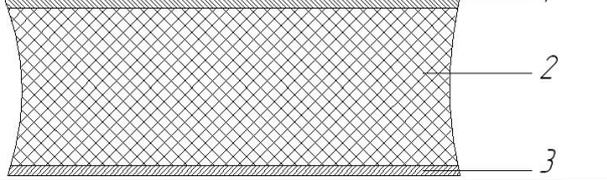
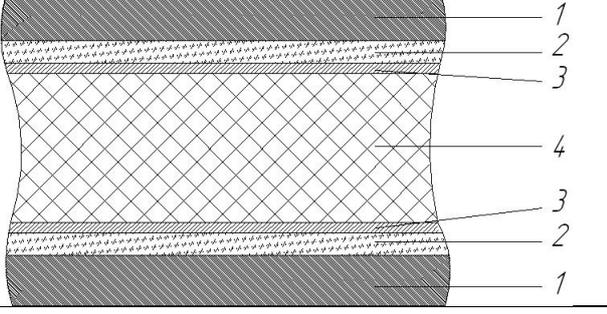
Затем производилось двухстороннее или одностороннее напыление адгезионного слоя V-Cu-V (1-1,5 мкм) или Au-Ge-Ni-Au (0,13 мкм) магнетронным или электронно-лучевым методом. Нижний слой металлической ванадиевой (золотой) пленки является адгезионным слоем в данной системе, промежуточный слой Cu (или Ge-Ni) – основной слой, на который затем осаждалась гальваническим методом пленка никеля, верхний ванадиевый (золотой) слой защищает от окисления. Затем, непосредственно перед электролизом, верхний слой стравливался, и производилось декапирование. По результатам проведенных исследований можно утверждать, что при двустороннем напылении данные системы металлов не перегреваются, не шелушатся и не трескаются. Их адгезия стабильная как для пьезокерамики, так и для пластин арсенида галлия.

С целью улучшения адгезии на структуру вначале проводилось химическое осаждение никеля. В основу процесса химического никелирования положена реакция восстановления никеля из водных растворов его солей гипофосфитом натрия. Температура раствора - 80-88°C, скорость осаждения - 8-10 мкм/ч. Данный способ позволяет получать ровные тонкие пленки порядка 2-10 мкм. С целью ненужного осаждения никеля на торцы, что приводит к закорачиванию структуры, производилась защита торцов путем покрытия их лаком.

После проведения предварительных операций производилось гальваническое осаждение никеля. При никелировании поверхности, предварительно стравливают верхний слой напыленного ванадия до полного обнажения медного слоя или верхний слой золота до полного обнажения никелевого слоя, образец промывают в деионизованной воде в течение не менее 30 секунд, сушат. Обработку поверхности открывшегося слоя меди (никеля) проводят в растворе для декапирования (травитель для ванадия или золота) 1-3 секунды, промывают в воде. Далее непосредственно производят электролитическое осаждение никеля. Образец помещали в ванну с электролитом, устанавливая величину плотности тока по миллиамперметру источника питания порядка 10-20 мА/см<sup>2</sup> при температуре порядка 30-50°C, которая непосредственно поддерживается автоматически. Во время процесса в течение 1 часа выростала никелевая пленка толщиной 20-30 мкм. Толщина слоев, которую удается осадить при гальваническом методе, порядка 5-50 мкм. Оптимальными в ходе экспериментов принято считать при одностороннем осаждении 5-15 мкм, при двустороннем 20-30 мкм. Выбор данных толщин связан с возникновением механических напряжений на структурах. Особенно это заметно на пластинах арсенида галлия. При больших толщинах никелевого покрытия пластину «разрывают» механические напряжения, возникающие между хрупким монокристаллом арсенида галлия и достаточно эластичным никелем. Поэтому была выбрана оптимальная толщина слоев и двустороннее никелирование. Температура является еще одним немаловажным фактором в процессе осаждения. Было замечено, что если температура электролита выше комнатной и сила тока, подаваемая на электрод достаточно велика, никелевое покрытие нужной толщины достаточно быстро осажается, обладает хорошей прочностью и адгезией, имеет ровную толщину по поверхности, четкую мелкозернистую структуру и металлический цвет.

После никелирования производилось снятие защитного лака с торцов путем растворения его в ацетоне.  
 В таблице представлены варианты магнитострикционно-пьезоэлектрических структур, изготовленных методом гальванического осаждения.

Таблица 1 – Варианты магнитострикционно-пьезоэлектрических структур

Двухслойные структуры металл – пьезоэлектрик	
	1 гальванически осажденный слой Ni 2 гальванически осажденный слой Cu 3 напыленный подслой V-Cu 4 пьезоэлектрическая подложка 5 пленка Ag или Au
	1 гальванически осажденный слой Ni 2 химически осажденный слой Ni 3 напыленный подслой Au-Ge-Ni 4 пьезоэлектрическая подложка 5 пленка Ag или Au
	1 химически осажденный слой Ni 2 пьезоэлектрическая подложка 3 пленка Ag или Au
Трехслойная структура металл – пьезоэлектрик – металл	
	1 гальванически осажденный слой Ni 2 химически осажденный слой Ni 3 напыленный подслой Au-Ge-Ni или V- Cu 4 пьезоэлектрическая подложка

На рис. 1 показан окончательный вид образца, изготовленный путем осаждения на пьезокерамику ЦТС слоя никеля.

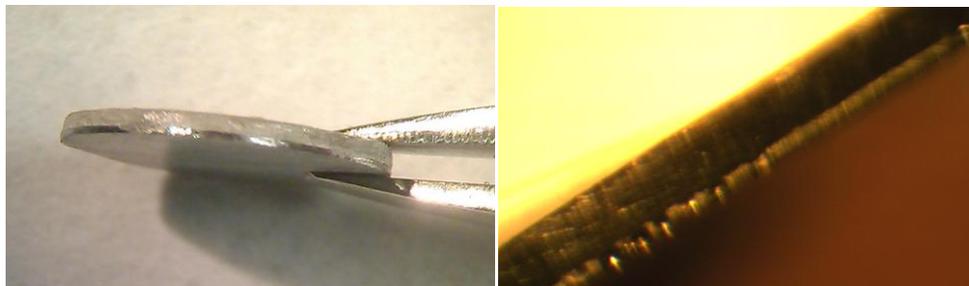


Рис. 1 – Образец изготовленный путем электролитического осаждения на пьезокерамику ЦТС слоя никеля

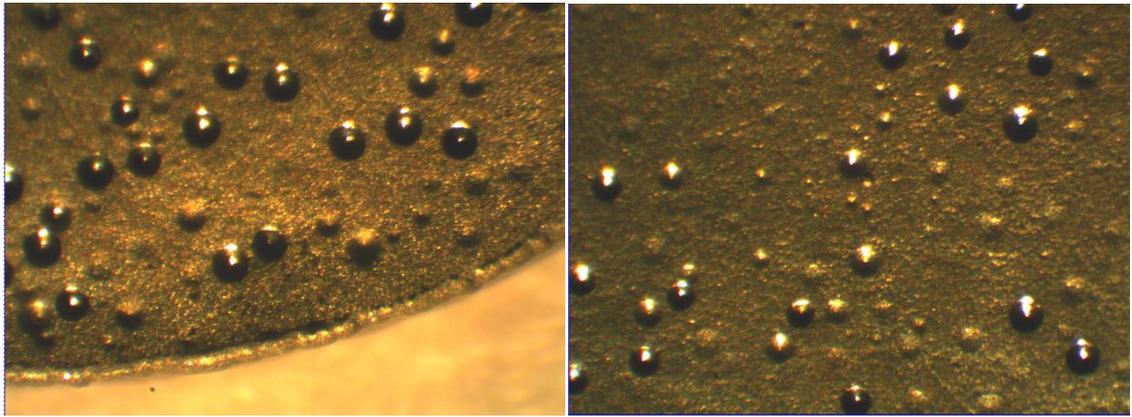


Рис. 2 – Поверхность гальванического никеля при большом увеличении

На рисунке 3 показан окончательный вид пластины из арсенида галлия, полученной после никелирования.

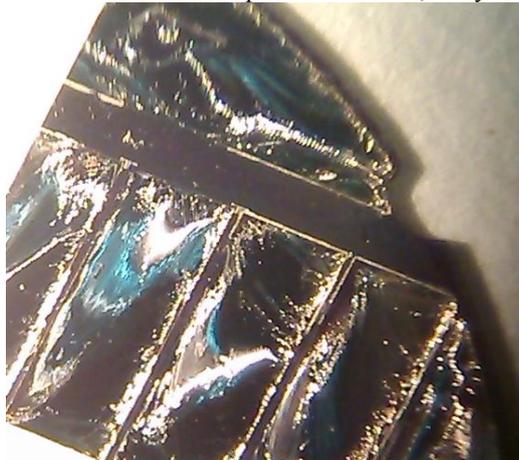


Рис. 3 – Окончательный вид пластины из арсенида галлия с нанесенным слоем никеля

## 2. Методика проверки металлической адгезии

Величину адгезии проверяли при положении разрушающей нагрузки в направлении, перпендикулярном плоскости контакта поверхностей, в момент одновременного нарушения контакта на всех участках площади контактирования.

### После напыления

**Метод царапания.** Адгезия хорошая, если при царапании напыленной пленки сцарапывается верхний металл, затем медь «как масло» и нижний металл не сцарапывается, остается не поврежденным, т.е. не отстает «шелухой».

**Наклеивание на скотч.** Проверяемый участок подложки или вся подложка наклеивается на скотч липкой стороной. Затем резко отдирается. Если на скотче не окажется металлизации, то адгезия хорошая, если вся металлизация или часть окажется на скотче, то адгезия плохая.

### После гальванического осаждения

**Метод царапания.** Если гальванически осажденный никель сцарапывается только при приложении большого усилия и нижний слой напыленного адгезионного подслоя не сцарапывается и остается практически не поврежденным - адгезия хорошая. В противном случае, адгезия плохая.

**Проверка на свариваемость.** Испытание на свариваемость методом термокомпрессионной сварки (диаметр проволоки 0,015 мм). Проверка механической прочности соединений (разрывное усилие 1,8-2,6 г).

Испытание на свариваемость методом ультразвуковой сварки (диаметр проволоки 0,2 мм). Проверка механической прочности соединений (разрывное усилие 1,8-3,0 г).

Если при приложении разрывного напряжения рвется проволока, то адгезия хорошая, если отваливаются гальванические слои, то плохая.

## 3. Магнитоэлектрические свойства структур

При экспериментальном исследовании структур использовался метод, основанный на измерении напряжения, возникающего на обкладках образца, при помещении его в переменное  $H$  и медленно изменяющее подмагничивающее  $H_{bias}$  магнитные поля. Переменное магнитное поле создавалось катушками Гельмгольца, подмагничивающее поле создавалось электромагнитом в форме соленоида. Исследовалась полевая зависимость эффекта. Для этого на образец подавалось переменное магнитное поле напряженностью  $H = 0,10e$  и исследовалась зависимость величины напряжения от поля подмагничивания. В качестве количественной характеристики величины МЭ эффекта использовался МЭ коэффициент по напряжению  $\alpha_E$ , который определялся следующим образом:

$$\alpha_E = \frac{\delta U}{t \cdot \delta H}, \quad (1)$$

Здесь  $\delta U$  - величина переменного напряжения, возникающего на обкладках конденсатора,  $t$  – толщина образца,  $\delta H$  – напряженность переменного магнитного поля. Полевые зависимости МЭ коэффициента по напряжению представлены на рисунках 4, 5.

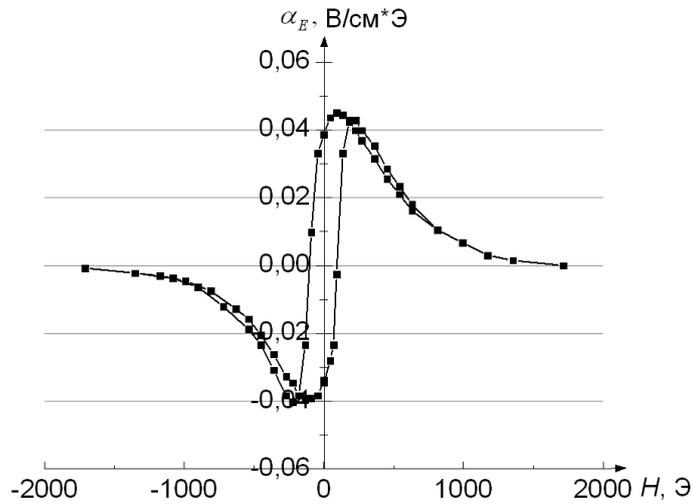


Рис. 4 – Зависимость резонансного значения МЭ коэффициента по напряжению от величины поля подмагничивания для структуры ЦТС-никель (толщина никеля 10 мкм)

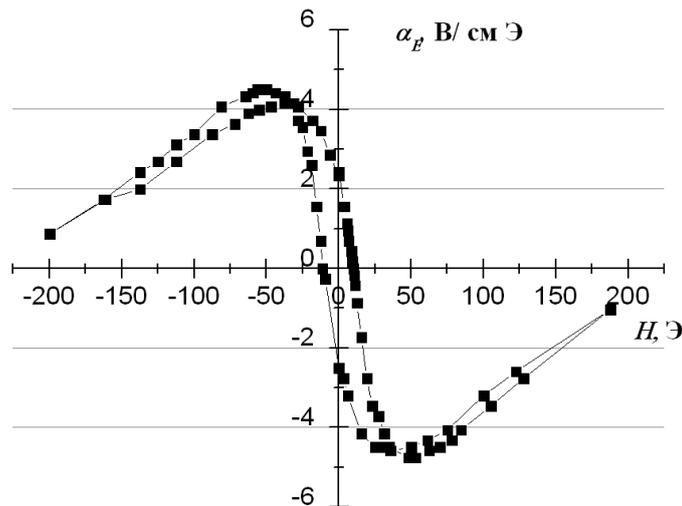


Рис. 5 – Зависимость резонансного значения МЭ коэффициента по напряжению от величины поля подмагничивания для структуры арсенид галлия – никель (толщина никеля 20 мкм)

Как видно из рис.4 и рис.5, полевые зависимости имеют типичный для таких структур вид, обусловленный зависимостью магнитострикции от магнитного поля. Величина резонансного значения МЭ эффекта в структурах на арсениде галлия на два порядка превышает его значение в структурах на основе ЦТС. Это связано с тем, что величина МЭ эффекта прямо пропорциональна пьезомодулю, и обратно пропорциональна диэлектрической проницаемости пьезоэлектрика. Хотя величина пьезомодуля у арсенида галлия в 37 раз меньше, чем обычно используемых для таких структур цирконата-титаната свинца (ЦТС) ( $\text{GaAs } d=2.69 \text{ пКл/м}$ , ЦТС  $d=100 \text{ пКл/м}$ ) величина его диэлектрической проницаемости в 135 раз меньше, чем у ЦТС ( $\text{GaAs } \epsilon=12.9$ , ЦТС  $\epsilon=1750$ ). Это приводит к тому, что при прочих равных условиях следует ожидать, что величина МЭ эффекта в структурах на основе арсенида галлия будет в 3,5 раза больше, чем в структурах на основе ЦТС. Кроме того, при создании структур на основе ЦТС очень остро встает вопрос межфазной адгезии. Это связано с тем, что цирконат-титанат свинца изготавливается по керамической технологии и получить хорошую адгезию между ним и магнитострикционным материалом, как правило, не удастся. В то время как арсенид галлия представляет собой монокристалл и использование промежуточных слоев позволяет добиться хорошей адгезии.

#### Заключение

Использование промежуточных подслоев из ванадия и меди позволяет получить хорошую адгезию между магнитострикционным и пьезоэлектрическим слоем при изготовлении магнитоэлектрических композиционных материалов. Структуры, изготовленные путем электрохимического осаждения никеля на подложку из арсенида галлия имеют лучшие МЭ характеристики, чем структуры, изготовленные путем электрохимического осаждения никеля на подложку цирконата титаната свинца.

## Литература

1. Пятаков А.П., Звездин А.К. Магнитоэлектрические материалы и мультиферроики // Успехи физических наук. – 2012. – т. 182 – № 6. – С. 593-620.
2. Филиппов Д.А., Лалетин В.М., Srinivasan G. Низкочастотный и резонансный магнитоэлектрические эффекты в объемных композиционных структурах феррит никеля – цирконат-титанат свинца // ЖТФ. – 2012. – т. 82. – №1. – С. 47 -51.
3. Filippov D. A., Galichyan T.A., Laletin V.M. Influence of an interlayer bonding on the magnetoelectric effect in the layered magnetostrictive piezoelectric structure // Appl. Phys. A. – 2014. – v 116. – P. 2167-2171.
4. Бурдин Д.А., Фетисов Ю.К., Чашин Д.В., Экономов Н.А. Влияние температуры на характеристики резонансного магнитоэлектрического эффекта в структуре магнийобат-титанат свинца – никель // Письма в ЖТФ. – 2012. – т. 38. – №6. – С. 41-47.
5. Бурдин Д.А., Фетисов Ю.К., Чашин Д.В., Экономов Н.А. Температурные характеристики магнитоэлектрического взаимодействия в дисковых резонаторах цирконат-титанат свинца – никель // ЖТФ. – 2013. – т. 83. – С. 107-112.
6. Филиппов Д.А. Лалетин В.М., Galichyan T.A. Магнитоэлектрический эффект в двухслойной магнитоэлектрической структуре// ФТТ. – 2013. – т.55. – С. 1728-1733.
7. Filippov D.A., Firsova T.O. Linear and nonlinear magnetoelectric effect in bilayer composite structures on the basic lead zirconate titanate – nickel // Proceeding of the International meeting – Rostov-on-Don – Yuzhny. – Russia. –2015. – P. 107-111.
8. Филиппов Д.А., Лалетин В.М., Фирсова Т.О., Антоненков О.В. Технология изготовления и магнитоэлектрические свойства структур цирконат-титанат свинца – никель // Вестник НовГУ. – 2015. – №6(89). – С. 100-104.
9. Лалетин В.М., Стогний А.И., Новицкий Н.Н., Поддубная Н.Н. Магнитоэлектрический эффект в структурах на основе металлизированных подложек арсенида галлия // Письма в ЖТФ. – 2014. – Т.40. – № 21. – С. 71-77.

## References

1. Pyatakov A. P., Zvezdin A.K. Magnitoelectricheskie materialy i multiferroici // Uspehi fizicheskikh nauk. – 2012. – t. 182 – № 6. – S. 593-620.
2. Filippov D.A., Laletin V.M., and Srinivasan G. Nizkochastotnyi i rezonansnyi magnitoelectricheskie effect v ob'emnykh kompozitsionnykh strukturah ferrit nikelya – cirkonat titanat svinca // GHTF– 2012. – t. 82. – №1. – S. 47 -51.
3. Filippov D. A., Galichyan T.A., Laletin V.M. Influence of an interlayer bonding on the magnetoelectric effect in the layered magnetostrictive piezoelectric structure // Appl. Phys. A. – 2014. – t 116. – S. 2167-2171.
4. Burdin, D.A., Fetisov, Y.K., Chashin, D.V., Ekonomov, N.A. Vliyanie temperatury na charakteristiki rezonansnogo magnitoelectricheskogo effecta v strukture magniobat-titanat svinca – nikel' // Pis'ma v GHTF. – 2012. – t. 38. – №6. – S. 41-47.
5. Burdin, D.A., Fetisov, Y.K., Chashin, D.V., Ekonomov, N.A. Temperaturnye harakteristiki magnitoelectricheskogo vzaimodeistviya v diskovykh rezonatorach cirkonat titanat svinca – nikel'// GHTF. – 2013. – t. 83. – S. 107-112.
6. Filippov D. A., Laletin V.M., Galichyan T.A. Magnitoelectricheskii effect v dvusloinykh magnitostriktionnoo-p'ezoelectricheskoi structure // FTT. – 2013. – t.55. – S. 1728-1733.
7. Filippov D.A., Firsova T.O. Linear and nonlinear magnetoelectric effect in bilayer composite structures on the basic lead zirconate titanate – nickel // Proceeding of the International meeting – Rostov-on-Don – Yuzhny. – Russia. –2015. – S. 107-111.
8. Filippov D.A., Laletin V.M., Firsova T.O., Antonenkov O.V. Tekhnologiya izgotovleniya and magnitoelectricheskie svoistva struktur cirkonat titanat svinca – nikel' // Vestnik NovGU. – 2015. – №6(89). – S. 100-104.
9. Laletin, V.M., Stognii, A.I., Novitskii, N.N., Poddubnaya, N.N. Magnitoelectricheskii effect v strukturach na osnove metallizirovannykh podloghek arsenide galliya // Pis'ma v GHTF. – 2014. – t.40. – № 21. – S. 71-77.

DOAJ

Все материалы, опубликованные в Международном научно-исследовательском журнале, размещаются в депозитарии научных изданий Университета Лунда.

DOAJ (Лунд, Швеция) [<http://www.doaj.org/>].

Таким образом, публикации наших авторов доступны еще большему кругу исследователей, что поднимает их статус и увеличивает возможность цитирования.

DOI: 10.18454/IRJ.2016.45.031

Харитонов Л.П.

Кандидат технических наук, доцент,

Волгоградский государственный архитектурно - строительный университет

**К ВОПРОСУ О МАТЕМАТИЧЕСКОМ МОДЕЛИРОВАНИИ  
МОТИВАЦИИ ПРИ ИЗУЧЕНИИ РАЗЛИЧНЫХ ПРОЦЕССОВ****Аннотация**

На результаты различных видов человеческой деятельности мотивация оказывает важное, а часто и определяющее, значение. Определены факторы внутренней и внешней мотивации, влияющие на результаты обучения и научной деятельности. Модели мотивации обеспечивают систематизацию и учет взаимосвязей этих факторов. Представляется перспективным использование нейросетевого моделирования. Модели мотивации позволят не только определить ее уровень, но и повлиять на развитие мотивации. В результате человек (например, студент, выпускник вуза, научный сотрудник и т.д.) получит более высокие результаты и может приобрести конкурентные преимущества.

**Ключевые слова:** математическое моделирование, мотивация.

Haritonova L.P.

PhD in Engineering, associate professor,

Volograd State University of Architecture and Civil Engineering

**ON THE ISSUE OF MATHEMATICAL MODELING MOTIVATION IN THE STUDY  
OF DIFFERENT PROCESSES****Abstract**

On the results of various kinds of human activity motivation has an important, and often determines the value. The factors of internal and external motivation, influencing the results of teaching and research activities were given. Motivation models provide systematization and keep the relationship of these factors. It seems promising to use the neural network modeling. Motivation models will not only determine its level, but also give an affect to the development of motivation. As a result a person (eg, a student, a graduate of the university, researcher, etc.) will get better results and can gain a competitive advantage.

**Keywords:** mathematical modeling, motivation.

Чтобы иметь высокий спрос на рынке труда выпускник вуза, а еще ранее студент, должен быть мотивирован [1] на приобретение конкурентных преимуществ. В целом творческий потенциал человека в работе [2] определяется как неразрывная совокупность интеллекта, креативности, мотивации, и квалификации. Безусловно, построение математических моделей мотивации при изучении различных процессов - сложный вопрос. Рассмотрим только ряд подходов к его решению, а также процессов, на результаты которых мотивация оказывает важное, а то и определяющее влияние.

Мотивация сильно влияет на результаты обучения. Как указывается в работе [3] важен вопрос о том, возможно ли научить и научиться мотивации. Требуется разработка курсов, обеспечивающих в студентах развитие мотивации, которая тесно связана с самообладанием и самооценкой. Психологи различают внутреннюю и внешнюю мотивацию. Внутренняя мотивация зависит от личных, индивидуальных потребностей. Студенты хотят учиться вследствие желания удовлетворения личных интересов и целей. На развитие внутренней мотивации [4] в значительной мере может повлиять преподаватель, предлагая студентам интересующие их темы и увлекая интересной информацией, например результатами собственной научной деятельности [5]. Внешняя мотивация вызвана воздействиями на студента родственниками, желанием учиться в престижном вузе, стремлением предотвращения неудачи, страхом плохой оценки, вероятностью отчисления из вуза или потери стипендии или желанием получить поощрение в самом разном виде.

Рассмотрим вопрос влияния мотивации на распространение знаний в вузе. В работе [6] приведена математическая модель распространения знаний в студенческой среде в виде функции от мотивации. Эта модель получена основе приведенной в работе [7] формулы, не учитывающей влияния мотивации. Модель обязательно должна учитывать наличие мотивации к обучению, которая меняется со временем у каждого студента от практически равной нулю (студент поступил в вуз, так как этого хотели его родители) до самой сильной (равной единице) при ярко выраженном стремлении к получению образования именно по выбранной им самим специальности; от весьма неопределенной мотивации у студентов дневной формы обучения, до высокой потребности, которая, часто имеется у студентов дистанционной формы обучения, работающих по выбранной специальности. Уровень мотивации может сильно изменяться у одного и того же студента при изучении различных дисциплин от иногда невысоких значений при изучении общеобразовательных предметов до самых высоких величин при изучении специальных дисциплин. Пусть  $\theta$  - значение мотивации. Так как мотивация обычно изменяется с течением времени, т.е.  $\theta = \theta(t)$ , в результате получаем следующую математическую модель.

$$\frac{dz_i}{dt} = \theta(t) \left[ (\alpha_i(t) - \beta_i(t)) z_i + \sum_{j=1}^n \gamma_{ij}(t) z_j(t) + \delta_i(t) U_i(t) \left( 1 - \frac{V_i(t)}{V_i^*} \right) \right] \left( 1 - \frac{z_i(t)}{z_i^*} \right), \quad (1)$$

где  $t$  - время;  $z_i$  -  $i=1,2,3, \dots, n$  - уровень знаний и  $i$ -ой группе;  $z_i^*$  - предельное значение уровня знаний;  $\alpha_i(t)$ ,  $\beta_i(t)$ ,  $\delta_i(t)$  - коэффициенты усвоения знаний, забывания и управляемости в  $i$ -ой группе соответственно;

$\gamma_{ij}(t)$  - коэффициент влияния  $j$ -ой группы на  $i$ -ю группу.  $V_i(t)$  и  $V_i^*$  - управляющее воздействие и предел управляющего воздействия.

Остановимся далее на вопросе уровня мотивации при научной деятельности. Уровень мотивации может характеризовать удовлетворение, получаемое человеком от научной деятельности. Компоненты научного потенциала личности как правило изменяются в зависимости от возраста и вида деятельности. Мотивация является одним из наиболее подвижных. Как указано в работе [2] она определяет время, уделяемое научной деятельности. Очень велики роль внешней среды, а также стимулирование в зависимости от достигнутых результатов и квалификации. В работе [2] предлагается скорость изменения суммарного уровня мотивации творческой личности принимать в зависимости от следующих факторов: - внутреннего мотивационного импульса (по К. Юнгу- ощущение личного предназначения); - эмоций (например усталости при выполнении необходимой, но рутинной работы, или воодушевления при удачных попытках найти новые идеи, т.е. при различных элементах творческой деятельности); - утомления; - внешнего стимулирования научной деятельности (признания в обществе, наград, а конце концов и материального стимулирования и проч.).

Дифференциальное уравнение для расчета скорости изменения суммарного уровня мотивации  $M$  творческой личности [2] предлагается записать в виде:

$$\frac{dM}{dt} = \left( a_0 + \sum_{\substack{i=1, \dots, 9 \\ j=1, \dots, 4}} a_{ij} m_{ij} + a_x X \right) (M_{\max} - M) \quad (2)$$

где  $t$  - время;  $a_0, a_{ij}, a_x$  - весовые коэффициенты, которые учитывают относительную значимость факторов;  $M_{\max}$  - физиологически предельный уровень мотивации;  $X$  - квалификация исследователя;  $(M_{\max} - M)$  - множитель, учитывающий снижение темпа уровня мотивации в при приближении к физиологически возможному предельному уровню мотивации;  $i = 1, \dots, 9$  - номера функций исследовательской деятельности (от поиска темы до анализа полученного решения;  $j = 1, \dots, 4$  - номера уровней научно- исследовательской деятельности (от научного сотрудника, занимающегося выполнением фрагмента работы, до членов академий наук, руководящих направлением);  $m_{ij}$  - текущее среднее время, которое было отведено соответствующему элементу научной работы. Последняя формула является составной частью математической модели, которая представляет собой задачу оптимального управления и решается с использованием аппарата линейного программирования. К сожалению, судя по всему весовые коэффициенты, которые учитывают относительную значимость факторов, определяются экспертно, то есть весьма субъективно. Вместе с тем нам представляется, что структура формулы (2) может быть использована также для расчета скорости изменения уровня мотивации в процессе обучения или некоторых других видах человеческой деятельности (к примеру - в спорте). Например, для процесса обучения в качестве  $i$  можно рассматривать: получение задачи; выбор метода и формулы, с помощью которых можно найти решение; анализ полученного результата. В качестве  $j$ - номера выполняемых заданий (например, при изучении одной темы возможны как задания простейшей, средней и т.д. сложности, так и инновационные задания, требующие специальных исследований). При разработке математических моделей мотивации возможности строгой формализации объектов моделирования ограничены. При этом получение таких моделей представляется весьма перспективным, так как обеспечивает систематизацию и учет взаимосвязи динамики большого количества факторов, от которых зависит мотивация. Поэтому аналогично [2] представляется целесообразным использование математического аппарата работы с неопределенной информацией. Например, подход, позволяющий объединять полученные из разных соображений разнокачественные оценки, кроме количественных также качественные шкалы (ПРИНН - метод для принятия решений в условиях неопределенности). Но в целом, задача математического моделирования мотивации требует дальнейших исследований, и в связи с огромным количеством факторов, часть из которых перечислена выше, и выходит за рамки настоящей статьи. Ценность имеет даже не само моделирование как таковое. Важно прогнозирование полученных результатов. Сейчас насчитывается порядка 100 методов прогнозирования. Представляется перспективным использование нейросетевого моделирования для установления сложных закономерностей, которые не могут быть обнаружены известными линейными методами.

#### Литература

1. Харитонов Л.П. Концептуальные основы измерения и повышения уровня знаний и мотивационные аспекты при формировании профессионального мышления в высшей школе /Известия ВолгГТУ: межвуз. сб. науч. ст. № 8. (Сер. Новые образовательные системы и технологии обучения в вузе. Вып. 1). Волгоград, 2004. С.84 - 86.
2. Пиявский С.А. Математическое моделирование управляемого развития научных способностей. Известия Российской академии наук. Теория и системы управление. 2000. №3. С.100-106.
3. Baranovskaya T.A. Self –Regulation Skills Several Ways of Helping Students Develop Self-Regulated Learning. Journal of Language & Education. Volume 1. Issue1. 2015. p. 37-44.
4. Mezei G. Motivation and self-regulated learning: a case-study of a pre-intermediate and an upper-it-ermediate adult student. Working papers in language pedagogy. 2. 2008. p.79-104.
5. Харитонов Л.П. Об использовании элементов научных исследований процессов различной физической природы, в том числе по теории тепломассообмена и аэродинамики, при преподавании высшей математики. Известия ВГТУ. Новые образовательные системы и технологии обучения в вузе / ВолгГТУ. Волгоград, 2013. Том 10. №13 (116). С.150-152.
6. Харитонов Л.П. К вопросу о математическом моделировании одного процесса. В сборнике: Наука и образование: архитектура, градостроительство и строительство. Материалы Международной конференции, посвященной 80-летию строительного образования и 40-летию архитектурного образования Волгоградской области. 2010. С. 85-87.

7. Бойков И.В. Суздалева И.А. Об одной модели образования // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. № 5. 2006. С. 82 - 86.

#### References

1. Haritonova L.P. Konceptual'nye osnovy izmereniya i povysheniya urovnya znaniy i motivacionnye aspekty pri formirovani professional'nogo myshleniya v vysshej shkole /Izvestiya VolgGTU: mezhvuz.sb. nauch. st. № 8. (Ser. Novye obrazovatel'nye sistemy i tehnologii obuchenija v vuze. Vyp. 1). Volgograd.2004. S.84 - 86.
2. Pijavskij S.A. Matematicheskoe modelirovanie upravljaemogo razvitiya nauchnyh sposobnostej. Izvestija Rossijskoj akademii nauk. Teorija i sistemy upravlenie. 2000. №3.S.100-106.
3. Baranovskaya T.A. Self –Regulation Skills Several Ways of Helping Students Develop Self-Regulated Learning. Journal of Language & Education. Volume 1. Issue1. 2015. p. 37-44.
4. Mezei G. Motivation and self-regulated learning: a case-study of a pre-intermediate and an upper-it-ermediate adult student. Working papers in language pedagogy. 2. 2008. p.79-104.
5. Haritonova L.P. Ob ispol'zovanii jelementov nauchnyh issledovaniy processov razlichnoj fizicheskoj prirody, v tom chisle po teorii teplomassoobmena i ajerodinamiji, pri prepodavanii vysshej matematiki. Izvestija VGTU. Novye obrazovatel'nye sistemy i tehnologii obuchenija v vuze / VolgGTU. Volgograd.2013.Tom 10. №13 (116). S.150-152.
6. Haritonova L.P. K voprosu o matematicheskom modelirovanii odnogo processa. V sbornike: Nauka i obrazovanie: arhitektura, gradostroitel'stvo i stroitel'stvo. Materialy Mezhdunarodnoj konferencii, posvjashhennoj 80-letiju stroitel'nogo obrazovaniya i 40-letiju arhitekturnogo obrazovaniya Volgogradskoj oblasti. 2010. S. 85-87.
7. Bojkov I.V. Suzdaleva I.A. Ob odnoj modeli obrazovaniya // Izvestija vysshih uczebnyh zavedenij. Povolzhskij region. № 5. 2006. S. 82 - 86.

### НАУКИ О ЗЕМЛЕ / SCIENCE ABOUT THE EARTH

DOI: 10.18454/IRJ.2016.45.098

Булатов В.В.<sup>1</sup> Владимиров Ю.В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Профессор, Институт проблем механики им А.Ю.Ишлинского РАН,

<sup>2</sup>Кандидат физико-математических наук, Институт проблем механики им.А.Ю.Ишлинского РАН

#### **ДИНАМИКА ИМПУЛЬСОВ В СТРАТИФИЦИРОВАННЫХ СЖИМАЕМЫХ И НЕСЖИМАЕМЫХ СРЕДАХ**

*Аннотация*

*В статье рассмотрены вопросы, связанные с динамикой импульсов внутренних гравитационных волн в несжимаемых и несжимаемых стратифицированных средах. С использованием метода Фурье задача решается в линейном приближении. Обсуждаются основные особенности и отличия динамики импульсов в сжимаемых и несжимаемых средах.*

**Ключевые слова:** импульсы внутренних гравитационных волн, динамика стратифицированной среды.

**Bulatov V.V.<sup>1</sup> Vladimirov Yu.V.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Professor, Institute for Problems in Mechanics RAS;

<sup>2</sup>PhD in Physics and Mathematics, Institute for Problems in Mechanics RAS

#### **INTERNAL WAVES IMPULSES DYNAMICS IN STRATIFIED MEDIUMS**

*Abstract*

*The problems of internal gravity waves dynamics in compressible and incompressible stratified medium are considered. The problem is solved by using linear approximation and Fourier transform. We discuss the main features and differences of pulse dynamics in compressible and incompressible medium.*

**Keywords:** internal gravity waves impulses, stratified medium dynamics.

#### **Введение.**

Теория волновых движений стратифицированной среды — раздел современной гидродинамики, быстро развивающийся в последнее время, весьма интересный в теоретическом отношении и связанный с важнейшими приложениями в технике (гидротехнике, судостроении, мореплавании, энергетике) и в геофизике (океанологии, метеорологии, гидрологии, охране окружающей среды). В настоящее время большинство прикладных задач, посвященных генерации волн различными возмущениями, решаются, как правило, в линейной постановке, т. е. в предположении, что амплитуда волновых движений мала по сравнению с длиной волны. Относительная простота решения линейных уравнений по сравнению с полной нелинейной задачей, современное развитие соответствующего математического аппарата и вычислительной техники позволяют ответить на многие запросы практики. В работе будет изучена волновая динамика импульсов в несжимаемых стратифицированных средах, а также с учетом их сжимаемости. Как известно, волны подобного типа могут генерироваться не только в океане (обтекание подводных орографических препятствий), но при различных атмосферных процессах, они играют значительную роль в динамике атмосферы Земли и других планет, кроме того мощными импульсными источниками этих волн являются промышленные и ядерные взрывы, извержения вулканов и т.д. Учет сжимаемости среды важен и при изучении внутренних волн в океане, так как позволяет разяснить некоторые парадоксы динамики поля внутренних гравитационных волн, кроме того сжимаемой среде внутренние гравитационные волны в определенной степени "похожи" на обычные акустические волны, правда, в сильно анизотропной среде [1-5].

Несколько слов об основных методах решения задач волновой динамики: это преобразования Фурье, затем анализ асимптотик получающихся интегралов методом перевала, а также различные модификации метода

геометрической оптики (пространственно-временного лучевого метода, метода ВКБ). Задачи о распространении импульсов различной физической природы постоянно возникают в различных областях физики в связи с расширением области применения дистанционного зондирования, неразрушающего контроля и т.д. Одна из целей настоящей работы – по возможности единообразно рассмотреть широкий круг вопросов, связанных с волновой динамикой стратифицированных сред. Действительно в подавляющем большинстве реальных сред наблюдается дисперсия распространяющегося в ней сигнала. Исключением является случай однородной безграничной жидкости в пренебрежении потерями, в которой волновые возмущения описываются обычным волновым уравнением. Однако дисперсия появляется, если учесть любой из следующих факторов: границы среды, где распространяются колебания, наличие неоднородности среды, релаксационные свойства среды. Для примера приведем простейшую постановку задачи об импульсе в диспергирующей среде. Пусть поле возмущений на полуоси  $x \geq 0$  описывается уравнением:

$L\varphi(x,t) = 0, x > 0, L$  - линейный оператор. Источник, расположенный в точке  $x = 0$ , создает импульс  $\varphi(0,t) = \varphi_0(t) (\varphi_0(t) \equiv 0, t < 0)$ . Эта задача решается с дополнительными условиями:  $\varphi(x,t) \equiv 0, t < 0$ , то есть до включения источника возмущения отсутствуют, и  $\varphi(x,t) \rightarrow 0, x \rightarrow \infty$ , то есть на бесконечности источники отсутствуют. Для ее решения удобно воспользоваться преобразованием Фурье:

$\tilde{\varphi}(x,\omega) = \int_0^\infty \varphi(x,t) \exp(i\omega t) dt$ . Уравнение для  $\tilde{\varphi}$  принимает вид (для оператора  $L$  второго порядка по  $x$ ):

$\tilde{L}\tilde{\varphi} \equiv \left[ a_0(\omega) + \frac{\partial^2 a_2}{\partial x^2}(\omega) \right] \tilde{\varphi} = 0$ , где  $a_0(\omega), a_2(\omega)$  - некоторые функции частоты, и его решение:

$\tilde{\varphi}(x,\omega) = \tilde{\varphi}_0(\omega) \exp(i\kappa(\omega)x), \kappa(\omega) = (a_1(\omega)/a_2(\omega))^{1/2}$ . Решение исходной задачи в интегральной форме имеет вид

$$\varphi(x,t) = \frac{1}{2\pi} \int_{\Gamma} \tilde{\varphi}_0(\omega) \exp(-i\omega t + i\kappa(\omega)x) d\omega$$

где контур  $\Gamma$  проходит параллельно оси  $\text{Re } \omega$  и лежит выше всех особенностей подынтегральной функции; ветвь корня  $\kappa(\omega)$  выбирается так:  $\text{Im}\kappa(\omega) > 0$  на контуре  $\Gamma$ . В подавляющем большинстве физически интересных случаев этот интеграл не берется. Однако можно найти его асимптотику при  $x, t \rightarrow \infty, V = x/t = \text{const}$ . Для этого используется метод перевала. Приведем основную схему рассуждений, опуская подробности. Рассмотрим аналитическое продолжение фазовой функции:  $\Psi(\omega) = \kappa(\omega)x - \omega t$  в нижнюю полуплоскость. Обычно она имеет несколько точек ветвления, из которых проведем разрезы вертикально вниз (для удобства исследования асимптотики). На листе с этими разрезами функция  $\Psi(\omega)$  однозначна. Довольно тонким вопросом является отбор тех точек перевала, т.е. решений уравнения  $\Psi'(\omega) = 0$ , которые лежат на рассматриваемом листе, и изучение их движения при изменении параметра  $V$ . Наконец, нужно найти топологически корректную деформацию контура  $\Gamma$ , чтобы он "повис" на некоторых точках перевала и точках ветвления и проходил вблизи них по путям наискорейшего спуска. Если при деформировании контур пересекает полюса функции  $\tilde{\varphi}_0(\omega)$ , то к "вкладам" точек ветвления и перевала добавятся вычеты в этих полюсах

**Импульсы в стратифицированных несжимаемых средах.**

В большинстве задач волновой динамики стратифицированных сред можно пренебрегать сжимаемостью среды, а также использовать приближение Буссинеска. Хотя формулы для поля источника бесконечно малых размеров можно получить предельным переходом  $C \rightarrow \infty$  ( $C$  - скорость звука), стоит более подробно остановиться на этом важном случае, на котором можно наглядно показать как аналогии, так и принципиальные отличия импульсов внутренних и акустических волн. При этом также можно оценить, например, на какие характеристики волнового поля влияет учет конечных размеров источника. Поскольку задача решается с помощью преобразования Фурье, начнем с гармонического источника. Рассмотрим аналогию гармонических полей внутренних волн с импульсами акустических волн. В приближении Буссинеска для несжимаемой стратифицированной среды с постоянным распределением частоты Брента-Вайсяля  $N(z) = \text{const}$  уравнение для гармонических внутренних волн  $w = \exp(i\omega t)W(x, y, z)$  имеет вид [1-5]

$$\frac{\partial^2 W}{\partial z^2} - (N^2/\omega^2 - 1) \left( \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} \right) W = 0$$

Для действительных значений  $\omega$  это уравнение относится при  $\omega > N$  к эллиптическому, при  $\omega < N$  - к гиперболическому типам. Соответственно, характер его решений в первом и втором случаях существенно различный.

При  $\omega > N$  возмущения, создаваемые локализованным источником, при удалении от него быстро усредняются по направлениям, перпендикулярным направлению на источник, а мелкие детали ближнего поля "замазываются". При  $\omega < N$  это уравнение - волновое уравнение, роль "времени" для него играет вертикальная координата  $z$ . Форма возмущения, сформировавшаяся в ближнем поле, сохраняется при удалении от источника. Например, в случае

плоской задачи колебания описываются одномерным волновым уравнением:  $\frac{\partial^2 W}{\partial z^2} - s^2 \frac{\partial^2 W}{\partial x^2} = 0$ , общее решение

которого имеет вид:  $W = f_1(x - sz) + f_2(x + sz)$ , где  $f_{1,2}$  - произвольные функции,  $s = (N^2/\omega^2 - 1)^{1/2} = \text{ctg} \theta_\omega$  ( $\theta_\omega = \arcsin(\omega/N)$ ). Если частота Брента-Вяйсяля  $N$  зависит от  $x$  и  $z$ , то изучение поля внутренних волн сводится к задаче о распространении импульса в длинной линии, параметры которой меняются в пространстве и во времени. В большинстве реальных сред (океане, атмосфере) преобладает зависимость  $N$  от  $z$ . Тогда в качестве временной координаты удобно взять  $x$  и использовать аналогию с задачей о распространении импульса в длинной линии с не зависящими от  $t$  параметрами и скоростью звука  $s(z)$ .

В качестве примера рассмотрим далее задачи для бесконечно протяженного и однородного вдоль  $y$  источника. Первая задача - медленное изменение  $N(z)$ . Пусть источник, расположенный при  $x < 0, z < 0$  сформировал на полуоси  $x > 0, z = 0$  возмущение  $W_0(z)$  (это соответствует заданию временной формы импульса на входе длинной линии). Рассчитаем форму "импульса"  $W(x, z)$  при  $z > 0$ . Для этого проведем одностороннее преобразование Фурье по  $x$ , спектральные компоненты  $\tilde{W}(\xi, z)$  удовлетворяют дифференциальному уравнению:

$$\frac{\partial^2 \tilde{W}}{\partial z^2} + \xi^2 s^{-2}(z) \tilde{W} = 0. \text{ При } \xi \rightarrow \infty \text{ это уравнение имеет ВКБ асимптотику: } \tilde{W} = \chi^{-1/2} \exp(-i\xi \int \chi dz),$$

$\chi(z) = s^{-1}(z)$ . Произведя обратное преобразование Фурье, получаем, что импульс движется с переменной скоростью  $s^{-1}$ , сохраняя свою форму и несколько меняя амплитуду:  $W(x, z) = s^{1/2} W_0[x - x_1(z)]$ ,

$x_1(z) = \int s^{-1} dz$ . Слой  $z > 0$  траектория движения импульса пересекает под углом  $\theta_\omega = \arcsin(\omega/N(z))$ .

Для того, чтобы проявилась дисперсия импульса, учтем следующие поправки метода ВКБ. Для  $\chi$  получаем уравнение:

$$\chi^2 = s^{-2} - \chi'' / (2\chi\xi^2) + (3/4)(\chi')^2 / (\chi\xi^2). \text{ Откуда получаем:}$$

$$\chi^2 \approx s^{-2} (1 + \xi^{-2} 2f + O(\xi^{-4})), \quad f(z) = [(1/4)s''s - (7/4)(s')^2]^{1/2}. \text{ Выпишем локальное "волновое}$$

число":  $\kappa(\xi, z) = \xi\chi \approx s(z)(1 + 2\xi^{-2} f(z))^{1/2}$  и локальную "групповую скорость":

$$c_{gr}(\xi, z) = (d\kappa/d\xi)^{-1} \approx s(z)(1 + 2\xi^{-2} f(z))^{1/2}. \text{ Эти формулы можно упростить, если } N(z) \text{ меняется}$$

достаточно медленно, так что для гармоник, формирующих возмущение  $W_0(x)$ :  $\xi^{-2} f(z) = I$ . В этом случае

запишем волновое число в виде:  $\kappa \approx \xi s^{-1} + \xi^{-1} f(z) s^{-1}$ , и, произведя обратное преобразование Фурье, получим следующее выражение для импульса

$$W(x, z) = W_0(x - x_1(z)) * G(x, z), G(x, z) \approx \frac{s^{1/2}}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \exp(-i\xi x + iB/\xi) d\xi = \\ = s^{1/2} [\delta(x) - \sqrt{B/x} J_1(2\sqrt{x}B)] \theta(x \text{ sign } B) \text{ sign } B, \quad B = -\int_0^z f(z) s^{-1}(z) dz$$

Ядро  $G(x, z)$  описывает "высокочастотный максимум" при трансформации  $\delta$ -образного импульса, такие же формулы описывают распространение импульса в неоднородной длинной линии.

Вторая задача - отражение от скачка  $N$  и плотности  $\rho$ . Пусть в слое  $z = 0$  частота Брента-Вяйсяля и плотность испытывают скачок, причем  $N$  постоянна в обоих полупространствах и равна  $N_1$  при  $z > 0$ ,  $N_2$  при  $z < 0$ , т.е. плотность экспоненциально меняется в каждом полупространстве и  $\rho(-0) = \rho_1, \rho(+0) = \rho_2$ . Если источник, расположенный при  $z < 0$ , сформировал возмущение  $W_0(x - z/s_1)$ , то появятся "отраженное"  $W_R(x + z/s_1)$  и "преломленное"  $W_Q(x - z/s_2)$  поля ( $s_{1,2} = (N_{1,2}^2/\omega^2 - 1)^{1/2}$ ), которые мы найдем из условий "сшивки" в слое  $z = 0$  и нельзя использовать приближение Буссинеска):

$$[W]_b = 0, \quad \frac{\partial}{\partial t} \left[ \frac{\partial}{\partial z} \rho W \right]_0 + \frac{\partial^2}{\partial x^2} W g[\rho]_b = 0. \text{ Как обычно, задача решается методом Фурье. Для}$$

соответствующих спектров получаем соотношения:  $\tilde{W}_R = \tilde{R} \tilde{W}_0, \tilde{W}_Q = \tilde{Q} \tilde{W}_0, \tilde{R}(\xi) = \frac{R_0 - i\xi/\lambda}{1 + i\xi/\lambda},$

$$\tilde{Q} = 1 - \tilde{R}, R_0 = \frac{\rho_1/s_1 - \rho_2/s_2}{\rho_1/s_1 + \rho_2/s_2}, \quad \lambda = \frac{\omega^2}{g} \left( \frac{\rho_1/s_1 + \rho_2/s_2}{\rho_1 - \rho_2} \right). \text{ В частном случае, когда стратификации вне скачка}$$

нет, т.е.  $N_1 = N_2 = 0$ , получаем  $s_{1/2} = i$ :  $\lambda = -i \frac{\omega^2}{g} \frac{\rho_1 + \rho_2}{\rho_1 - \rho_2} = -i \kappa_{in}$ . Отсюда видно, что форма импульса

при отражении и преломлении не меняется в следующих случаях ( $\tilde{R}$  и  $\tilde{Q}$  не зависят от  $\xi$ ):  $[\rho]_0 = 0$  - испытывает скачок только частота Брента-Вяйсяля, тогда

$$W(x, z) = \begin{cases} W_0(x - z/s_1) + RW_0(x + z/s_1) & (z < 0) \\ QW_0(x + z/s_2) & (z > 0) \end{cases}$$

где  $R = (s_2 - s_1)/(s_2 + s_1)$  - коэффициент отражения, точно такой же, как, например, от скачка скорости для акустического импульса; длинноволновые возмущения:  $\lambda \xi \ll 1$ . Тогда  $\tilde{R} \approx R_0$  (коэффициент отражения от скачка  $C$  и  $\rho$  в акустическом случае, в котором  $\rho c$  заменяется на  $\rho/s$ ); коротковолновые возмущения:  $\lambda \xi \gg 1$  - полное отражение, т.е.  $R = -1$ ,  $Q = 0$ . Если  $\xi \sim \lambda$ , то "импульс" при отражении изменяет свою форму. А именно, вычисляя обратное преобразование Фурье, получим:  $W_R(x) = W_0(x) * G_R(x)$

$$G_R(x) = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{R_0 - i\xi\lambda}{1 + i\xi\lambda} \exp(-i\xi x) d\xi = -\delta(x) + (R_0 - 1) \exp(x/\lambda) \lambda^{-1} \theta(-x).$$

Рассмотрим частные случаи, когда среда абсолютно жесткая ( $\rho_2 = \infty$ ) или абсолютно мягкая ( $\rho_2 = 0$ ). В первом случае  $R = R_0 = -1$ , т.е. любой импульс отражается без изменения формы. Во втором случае  $R_0 = 1$ , однако параметр  $\lambda = g/\omega^2 s_1 \gg 1$  (для океана  $\lambda = 100$  км), поэтому для реальных возмущений  $\xi\lambda \gg 1$  и  $R \approx -1$ , как и в случае жесткой крышки. Таким образом, различие между жестким и мягким полупространствами проявится лишь при  $\xi \leq \omega^2 s_1 / g$ , для возмущений меньших масштабов эти случаи неразличимы.

**Импульсы в стратифицированных несжимаемых средах.**

Изложим далее задачу о мгновенном точечном источнике акустико-гравитационных волн в неограниченной среде с экспоненциальной стратификацией и постоянной скоростью звука. Будем исходить из линеаризованной системы уравнений гидродинамики стратифицированной сжимаемой среды [1-5]

$$\rho \frac{\partial U_1}{\partial t} + \frac{\partial p}{\partial x} = f_x, \quad \rho \frac{\partial U_2}{\partial t} + \frac{\partial p}{\partial y} = f_y, \quad \rho \frac{\partial W}{\partial t} + \frac{\partial p}{\partial z} + g\delta = f_z$$

$$\frac{\partial}{\partial t} \delta + \frac{\partial W}{\partial z} \rho + \rho \left( \frac{\partial U_1}{\partial x} + \frac{\partial U_2}{\partial y} + \frac{\partial W}{\partial z} \right) = \partial \delta_0$$

$$c^{-2} \left( \frac{\partial}{\partial t} p - \rho g W \right) + \rho \left( \frac{\partial U_1}{\partial x} + \frac{\partial U_2}{\partial y} + \frac{\partial W}{\partial z} \right) = \rho \Omega$$

где  $\rho(z)$  - невозмущенная плотность,  $c(z)$  - скорость звука,  $p$  - возмущение давления,  $\delta$  - возмущение плотности,  $(U_1, U_2, W)$  - компоненты скорости,  $g$  - ускорение свободного падения,  $f_x, f_y, f_z$  - компоненты внешней объемной силы,  $\delta_0$  - источник возмущений плотности,  $\Omega$  - источник объемной скорости. Характер источника определяется физической постановкой задачи. Систему (1) можно свести к одному уравнению, например, относительно вертикальной компоненты скорости  $W$

$$L_1 W = \Pi., L_1 = \frac{\partial^2}{\partial t^2} \left( c^{-2} \frac{\partial^2}{\partial t^2} - \mu \frac{\partial}{\partial z} - \frac{\partial^2}{\partial z^2} \right) - \left( \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} \right) \left( \frac{\partial^2}{\partial t^2} + \mu g - g^2 c^{-2} \right)$$

$$\Pi. = \rho^{-1} \left[ c^{-2} \frac{\partial^2}{\partial t^2} - \left( \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} \right) \left( \frac{\partial}{\partial t} f_z - g \left( \frac{\partial}{\partial t} \delta_0 - \rho \Omega \right) \right) - \left( \frac{\partial}{\partial z} + g c^{-2} \right) \left( \rho \frac{\partial^2}{\partial t^2} \Omega - \frac{\partial}{\partial t} \left( \frac{\partial}{\partial y} f_y + \frac{\partial}{\partial x} f_x \right) \right) \right] \quad (2)$$

где величина  $\mu = -\rho \frac{\partial}{\partial z} \rho$  характеризует скорость изменения невозмущенной плотности с высотой. Величина

$N = (\mu g - g^2/c^2)^{1/2}$  называется частотой Брента-Вяйсяля в сжимаемой стратифицированной среде [1-5]. При изучении внутренних волн традиционным является приближение Буссинеска, то есть в системе уравнений (2)

пренебрегают градиентом плотности в тех членах, которые не умножаются на значение  $g$ . В этом случае оператор  $L_1$  сводится к оператору

$$L_2 = \frac{\partial^2}{\partial t^2} - \left( c^{-2} \frac{\partial^2}{\partial t^2} - \frac{\partial^2}{\partial z^2} \right) - \left( \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} \right) \left( \frac{\partial^2}{\partial t^2} + \mu g - g^2 c^{-2} \right) \quad (3)$$

Если в (2) формально устремить скорость звука  $c$  к бесконечности, то получится оператор внутренних волн в несжимаемой жидкости [4]  $L_3 = -\frac{\partial^2}{\partial t^2} \left( \mu \frac{\partial}{\partial z} + \frac{\partial^2}{\partial z^2} \right) - \left( \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} \right) \left( \frac{\partial^2}{\partial t^2} + \mu g \right)$

Если использовать приближение Буссинеска для несжимаемой среды, то оператор  $L_3$  принимает вид

$$L_4 = - \left[ \frac{\partial^2}{\partial t^2} \left( \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2} \right) - \mu g \left( \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} \right) \right]$$

Если среда однородная, но сжимаемая, то в однородном поле тяжести она обязательно имеет экспоненциальную стратификацию. Эта естественная стратификация имеет параметр  $\mu_0 = g/c^2$ . При  $0 < \mu < \mu_0$  среда оказывается неустойчивой, несмотря на убывание плотности с высотой. Действительно,  $N^2 g(\mu - \mu_0)$ , откуда видно, что появляются экспоненциально растущие со временем решения. Волновой оператор для "естественно стратифицированной" среды имеет вид

$$L_5 = \frac{\partial^2}{\partial t^2} \left( \frac{\partial^2}{c^2 \partial t^2} - \frac{\partial^2}{\partial x^2} - \frac{\partial^2}{\partial y^2} - \frac{\partial^2}{\partial z^2} - g c^{-2} \frac{\partial^2}{\partial z^2} \right)$$

Наконец, в пренебрежении гравитационным полем ( $g = 0$ ) оператор  $L_1$ , превращается в дважды продифференцированный волновой оператор

$$L_6 = \frac{\partial^2}{\partial t^2} \left( \frac{\partial^2}{c^2 \partial t^2} - \frac{\partial^2}{\partial x^2} - \frac{\partial^2}{\partial y^2} - \frac{\partial^2}{\partial z^2} \right)$$

Рассмотрим далее среду с экспоненциальной стратификацией  $\rho = \rho_0 \exp(-\mu z)$  ( $\mu = const$ ) и постоянной скоростью звука, в этом случае оператор  $L_1$  имеет постоянные коэффициенты, его фундаментальное решение  $G$  удовлетворяет уравнению:  $L_1 G = \delta(x) \delta(y) \delta(z) \delta(t)$ . Тогда решение задачи с конкретным источником  $(f_x, f_y, f_z, \delta_0, \Omega)$  выражается в виде свертки  $G$  с функцией  $\Pi$  из (2). В частности, в случае точечного мгновенного источника объемной скорости имеем:  $\Pi = \delta''(t) \delta(x) \delta(y) \delta'(z)$ , то есть вертикальная компонента скорости  $W$  выражается через функцию  $G$  следующим образом:  $W = \frac{\partial^3}{\partial t^2 \partial z} G$ . С помощью

подходящей замены переменных удобно избавиться от нечетной производной  $\frac{\partial}{\partial z}$  в (2). Действительно, имеем

$$L_1 = L_7 \exp(-\mu z / 2) \quad L_7 = \frac{\partial^2}{\partial t^2} \left( c^{-2} \frac{\partial^2}{\partial t^2} + \mu^2 / 4 - \frac{\partial^2}{\partial z^2} \right) - \left( \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} \right) \left( \frac{\partial^2}{\partial t^2} + N^2 \right)$$

где  $\exp(-\mu z / 2)$  - оператор умножения на функцию. Проведем одностороннее преобразование Фурье. Спектр фундаментального решения  $\tilde{G}$  запишем в виде:  $\tilde{G}(\omega, x, y, z) = \exp(\mu z / 2) \tilde{G}'(\omega, x, y, z)$ , где  $\tilde{G}'(\omega, x, y, z)$  - фундаментальное решение оператора Гельмгольца в анизотропной среде

$$L_8 \tilde{G}' = -\delta(x) \delta(y) \delta(z),$$

$$L_8 = (\omega^2 - N^2) \left( \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} \right) + \omega^2 \frac{\partial^2}{\partial z^2} + \omega^4 c^{-2} - \omega^2 \mu^2 / 4$$

В координатах  $x_1 = x, \quad y_1 = y, \quad z_1 = \omega (\omega^2 - N^2)^{-1/2} z$  это уравнение принимает вид

$$\left[ \Delta_1 + \omega^2 (\omega^2 - N^2)^{-1/2} (\omega^2 c^{-2} - \mu^2 / 4) \right] \tilde{G}' =$$

$$= -\omega^{-1}(\omega^2 - N^2)^{-1/2} \delta(x_1) \delta(y_1) \delta(z_1), \quad A_1 = \frac{\partial^2}{\partial x_1^2} + \frac{\partial^2}{\partial y_1^2} + \frac{\partial^2}{\partial z_1^2} \quad (4)$$

Используя известное фундаментальное решение обычного оператора Гельмгольца, из (4) получаем

$$\tilde{G}' = -(4\pi\omega)^{-1}(\omega^2 - N^2)^{-1/2} R_1^{-1} \exp(i\kappa_1 R_1), \quad \kappa_1^2 = \omega^2(\omega^2 - N^2)^{-1}(\omega^2 c^{-2} - \mu^2/4)$$

$$R_1 = R(1 - N^2 \omega^{-2} \sin^2 \theta)^{1/2}, \quad R = (x^2 + y^2 + z^2)^{1/2}, \quad \sin \theta = z/R$$

Таким образом, имеем

$$\tilde{G}(\omega, x, y, z) = A_\theta(\omega) R^{-1} \exp[i\kappa_\theta(\omega) R + \mu z/2], \quad A_\theta(\omega) = \frac{(4\pi)^{-1}}{\sqrt{(\omega^2 - N^2)(\omega^2 - N_\theta^2)}} \\ \kappa_\theta(\omega) = c^{-1} \sqrt{\frac{(\omega^2 - N_A^2)(\omega^2 - N_\theta^2)}{\omega^2 - N^2}}, \quad N_A^2 = \mu^2 c^2/4, \quad N_\theta^2 = N^2 \sin^2 \theta \quad (5)$$

Формулы (5) описывает поле гармонического источника в сжимаемой стратифицированной среде. Обсудим физический смысл входящих в нее величин. Функция  $\kappa_\theta(\omega)$  - волновое число плоской акустико-гравитационной волны, распространяющейся под углом  $\theta$  к горизонту. Действительно, поле плоской волны:  $W' = \exp[-i\omega t + i\kappa_\theta(\omega)(x \cos \theta + z \sin \theta)]$  удовлетворяет уравнению  $L_7 W' = 0$ . Зависимость волнового числа  $\kappa_\theta(\omega)$  от угла  $\theta$  обусловлена анизотропией среды. Акустико-гравитационные волны обладают

дисперсией, их фазовая скорость  $c_{ph} = \frac{\omega}{\kappa_\theta(\omega)} = \frac{\omega}{c} \sqrt{\frac{\omega^2 - N^2}{(\omega^2 - N^2)(\omega^2 - N_\theta^2)}}$  зависит от частоты.

Получаемые дисперсионные кривые имеют две ветви. Фазовые и групповые скорости одной кривой, называемой акустической ветвью, стремятся к скорости звука  $c$  при  $\omega \rightarrow \infty$ . С ростом  $\omega$  волны, описываемые этой ветвью, переходят в обычные звуковые. Нижней критической частотой этих волн является  $N_A$  - наименьшая частота распространения акустических волн. В диапазоне  $(N, N_A)$ , называемом верхним диапазоном запираания, волновое число  $\kappa_\theta(\omega)$  чисто мнимое. В этом диапазоне нет распространяющихся плоских волн, а только экспоненциально затухающие при удалении от источника. Другая кривая описывает гравитационную ветвь акустико-гравитационных волн, при этом верхняя критическая частота этой ветви равна  $N$ , а нижняя зависит от угла  $\theta$ . Если волна распространяется строго горизонтально ( $\theta = 0$ ), то нижняя критическая частота отсутствует. Фазовая и групповая скорости горизонтально распространяющейся волны при  $\omega \rightarrow 0$  стремятся к значению  $c_0 = Nc/N_A < c$ . Если  $\theta \neq 0$ , то групповая скорость имеет максимум  $c_* = c_{gr}(\omega_*(\theta))$  на частоте, отличной от нуля, которую обозначим  $\omega_*(\theta)$ . Картины волновых фронтов поля, возбуждаемого гармоническим источником, сильно различаются в случаях  $\omega > N_A$  и  $\omega < N$  (при  $N < \omega < N_A$  поле синфазно и экспоненциально убывает при удалении от источника). При  $\omega > N_A$  фронты имеют вид эллипсоидов вращения, причем с ростом частоты их эксцентриситет убывает, а в пределе при  $\omega \rightarrow \infty$  они превращаются в сферы, как для обычных звуковых волн. При  $\omega \rightarrow N_A$  эллипсы становятся все более сплюснутыми в вертикальном направлении. При  $\omega < N$  фронты представляют собой семейство однополостных гиперboloидов вращения с общей асимптотой под углом  $\theta_\omega = \arcsin(\omega/N)$ , зависящим от частоты). При  $|\theta| > \theta_\omega$ , поле синфазно и экспоненциально убывает при удалении от источника. Внутри конуса - при  $|\theta| < \theta_\omega$  - поле осциллирующее, гребни волн "удаляются" от конуса  $|\theta| = \theta_\omega$ . На конусе поле

гармонического точечного источника имеет корневую особенность:  $A_\theta(\omega) = \frac{(4\pi)^{-1}}{NR \sqrt{(\omega^2 - N^2)(\sin^2 \theta_\omega - \sin^2 \theta)}}$ .

Если источник имеет конечные размеры, то особенность не возникает, но поле в основном сосредоточено в узкой области вблизи этого конуса, имеющей поперечные размеры порядка размеров источника.

Обсудим физический смысл величин  $N_\theta, N, N_A$ . Частота  $N_A$  определяется произведением малого параметра  $\mu$  на большой параметр  $c$ . Оценки показывают, что как для океана, так и для атмосферы частота  $N_A$  близка к частоте Брента-Вьяйсяля  $N$ : для атмосферы  $N \approx 1,9 \cdot 10^{-2} c^{-1}$ ,  $N_A \approx 2,1 \cdot 10^{-2} c^{-1}$ , для океана  $N \sim 10^{-2} c^{-1}$

,  $N_A \sim 1,5 \cdot 10^{-2} c^{-1}$ . Из этих оценок видно, что при анализе дисперсии  $\kappa_\theta(\omega)$  на частотах, близких к  $N$ , необходимо учитывать сжимаемость среды. Отметим, что всегда  $N_A \geq N$ :  $N_A^2 - N^2 = (\mu c/2 - g/c)^2 = c^2(\mu - 2\mu_0)^2/4$ , где  $\mu_0 = g/c^2$  - естественная стратификация однородной среды в поле тяжести. Таким образом, только при  $\mu = 2\mu_0$  отсутствует верхний диапазон запираения и получается единая дисперсионная кривая. При  $\mu = \mu_0$  частота Брента-Вайсяля обращается в нуль и пропадает одна ветвь дисперсионной кривой, в отличие от предыдущего случая эта кривая не зависит от  $\theta$  (изотропия). При рассмотрении низкочастотных волн в атмосфере обычно учитывают вращение Земли. Можно показать, в частности, что учет вращения Земли приводит лишь к изменению одного параметра в (5), а именно значения  $N_\theta$ :  $N_\theta^2 = N^2 \sin^2 \theta + J_z^2 \cos^2 \theta$ , где  $J_z$  - z-компонента вектора угловой скорости вращения Земли. Очевидно, что вращение Земли заметно сказывается на поле внутренних волн лишь при очень малых  $\theta$ :  $\theta \leq J_z/N < 10^{-3}$  рад. Влияние вращения Земли приводит к тому, что зависимость поля акустико-гравитационных волн от  $R$  и  $t$  на горизонтальной плоскости и вблизи нее такая же, как для поля на конусе с углом  $\theta \approx J_z/N$ , рассчитанном без учета вращения. Поэтому, как правило, пренебрегается вращением Земли, так как его влияние его всегда можно учесть, изменив угловую зависимость  $N_\theta$ .

Обсудим далее, как меняется вид дисперсионных кривых в упомянутых выше упрощенных моделях. Сначала рассмотрим приближение несжимаемой среды. В пределе  $c \rightarrow \infty$  для  $\kappa_\theta(\omega)$  получаем выражение:

$$\kappa_\theta(\omega) = \frac{\mu}{2} \sqrt{\frac{\omega^2 - N_\theta^2}{N^2 - \omega^2}}. \text{ При таком законе дисперсии пропадает акустическая ветвь дисперсионной кривой, а}$$

гравитационная ветвь с критическими частотами  $N_\theta$  и  $N$  качественно (при  $\omega \ll N$  - количественно) не меняется. Физически абсурдным является приближение Буссинеска в сжимаемой среде. В этом случае  $N_A = 0$  и, следовательно,  $N_A < N$ , что невозможно в устойчивых средах. Дисперсионная кривая имеет две ветви, качественно похожа на дисперсионную кривую, описанную выше, однако верхняя и нижняя границы диапазона запираения искажены. Поверхности равных фаз при  $\omega < N$  принимают форму двухполостных гиперboloидов вращения. Отметим, что в сжимаемой среде ( $\mu = \mu_0$ ) волновое число  $\kappa_\theta$  не зависит от угла  $\theta$  (изотропный случай):

$$\kappa_\theta(\omega) = c^{-1} \sqrt{\omega^2 - N_A^2}, \quad N_A = g/2c, \text{ и поэтому анизотропия среды проявляется лишь в появлении множителя}$$

$\exp(gz/2c^2)$  в (5). Как уже отмечалось, при изучении внутренних гравитационных волн в океане обычно используется модель несжимаемой среды и приближение Буссинеска [1-5]. В этом приближении уравнение (4) "сводится" не к уравнению Гельмгольца, а к уравнению Лапласа, так что волнового распространения нет, и среда движется синфазно, как при колебании тел в несжимаемой однородной среде. Однако при  $\omega < N$  между областями  $\theta_\omega$  и  $|\theta| > \theta_\omega$  наблюдается сдвиг фаз на  $\pi/2$ . Другое отличие от случая нестратифицированной жидкости - корневая особенность амплитуды на границе между областями ( $\theta = \theta_\omega$ ). Итак, для перехода к несжимаемой среде в приближении Буссинеска достаточно в (5) положить  $\kappa_\theta(\omega) = 0$ . Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ (проект 14-01-00466).

#### Литература

1. Bulatov V.V., Vladimirov Yu.V. Internal gravity waves: theory and applications. Moscow: Nauka Publishers, 2007, 304 p.
2. Булатов В.В., Владимиров Ю.В. Динамика негармонических волных пакетов в стратифицированных средах. М.: Наука, 2010, 470 с.
3. Bulatov V.V., Vladimirov Yu.V. Wave dynamics of stratified mediums. Moscow: Nauka Publishers, 2012, 584 p.
4. Булатов В.В., Владимиров Ю.В. Волны в стратифицированных средах. М.: Наука, 2015, 735 с.
5. Sutherland B.R. Internal gravity waves. Cambridge: Cambridge University Press, 2010, 394 p.

## References

1. Bulatov V.V., Vladimirov Yu.V. Internal gravity waves: theory and applications. Moscow: Nauka Publishers, 2007, 304 p.
2. Bulatov V.V., Vladimirov Ju.V. Dinamika negarmonicheskikh volnoh paketov v stratificirovannyh sredah. M.: Nauka, 2010, 470 s.
3. Bulatov V.V., Vladimirov Yu.V. Wave dynamics of stratified mediums. Moscow: Nauka Publishers, 2012, 584 p.
4. Bulatov V.V., Vladimirov Ju.V. Volny v stratificirovannyh sredah. M.: Nauka, 2015, 735 s.
5. Sutherland B.R. Internal gravity waves. Cambridge: Cambridge University Press, 2010, 394 p.

DOI: 10.18454/IRJ.2016.45.054

Денисова Е.В.

ORCID: 0000-0003-1885-2095, кандидат географических наук,

Волгоградский государственный аграрный университет

### РЕКУЛЬТИВАЦИЯ ЗЕМЕЛЬ – ОСНОВА СОХРАНЕНИЯ И ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПОЧВЕННОГО ПЛОДОРОДИЯ

*Аннотация*

*Вопросы использования земельных ресурсов остаются наиболее острыми, особенно в условиях развития технического процесса. Обустройство территории непременно влечет за собой и изменения почвенного покрова, приводящие к деградации и разрушению. Для предотвращения негативных процессов необходимо своевременное проведение работ по рекультивации и восстановлению нарушенных земель, которые обеспечат защиту окружающей среды. Такой вид работ направлен на восстановление почвенных и земельных ресурсов, а также на защиту собственников.*

**Ключевые слова:** земельные ресурсы, нарушенные земли, рекультивация.

Denisova E.V.

ORCID: 0000-0003-1885-2095, PhD in Geography, Volgograd state agricultural University

### RECLAMATION OF LAND – THE BASIS FOR THE CONSERVATION AND RESTORATION OF SOIL FERTILITY

*Abstract*

*The use of land resources remains the most acute, especially in the development of the technical process. Development necessarily entails change and soil leading to degradation and destruction. To prevent negative processes it is necessary to timely execution of works for reclamation and rehabilitation of mined lands that will ensure the protection of the environment. This activity is aimed at restoring soil and land resources, and to protect the owners.*

**Keywords:** land resources, abandoned land, reclamation.

Проведение рекультивации – это сложный и многосторонний процесс, который вызывает нарушение земель, утрату их первоначальной ценности. В связи с этим необходимо при разработке проекта подобного вида всестороннее учитывать природные особенности конкретных землевладельцев и землепользователей и их экономические интересы.

Целью данной работы является изучение процесса проведения рекультивации, вызванной нарушениями, одного из химических предприятий г. Волгограда, при реконструкции трубопроводов на землях сельскохозяйственного назначения.

Перед началом разработки проекта, необходима тщательная характеристика площадки проведения рекультивации.

Земельный участок, затрагиваемый данным видом работ, располагается на территории ОАО «Каустик» и ООО «МагМайн», в границах г. Волгограда и Светлоярского муниципального района Волгоградской области.

Данный участок (полоса отвода), по которым проходит трасса трубопроводов, проходит по 5 земельным участкам: 34:26:090202:38 земли поселений (населённых пунктов)-5800 м.кв. 34:26:000000:1492 земли с/х назначения – 151370 м<sup>2</sup>, 34:26:070103:66 земли с/х назначения – 100500 м<sup>2</sup>, 34:26:070103:80 земли населённых пунктов – 3480 м<sup>2</sup>, 34:26:070103:79 земли населённых пунктов – 11850 м<sup>2</sup>.

Размер земельного участка, необходимого для размещения проектируемого линейного объекта, выбирался на основании необходимой потребности строительно-монтажных процессов в площади для их размещения. Ширина полосы отвода определена совокупностью определённых размеров участков и составила 30 м. Почвенный покров исследуемой территории относится к подтипу светло-каштановых солонцеватых.

Протяженность полосы отвода для прокладки проектируемых трубопроводов определена техническими условиями и составляет 9100м. Общая площадь рекультивируемой территории 131950 м<sup>2</sup>.

Проектом предусмотрено два варианта размещения трубопроводов.

Для выбора оптимального варианта размещения трассы трубопроводов определяется площадь трассы трубопроводов, которая позволит выделить второй вариант размещения, как наиболее оптимальный, поскольку данное размещение захватывает наименьшую площадь земель сельскохозяйственного назначения, следовательно, является наиболее экономически выгодным. По первому варианту – 30,96 га, по второму – 27,3 га.

После выбора оптимального размещения трассы трубопровода возникает необходимость в проведении работ по рекультивации земель.

Рекультивационные работы осуществляют в два этапа: технический, включающий подготовку земель для последующего целевого использования в народном хозяйстве и биологический, включающий мероприятия по восстановлению плодородия земель, осуществляемые после технической рекультивации.

Срезка плодородного слоя почвы производится бульдозером с полосы шириной 6 м и перемещается к месту временного хранения на расстояние 11 м до середины отвала. Складирование снимаемого плодородного слоя осуществляется по краю полосы отвода на участке шириной 5 м.

Биологической рекультивации подлежит не только площадь, где снимался плодородный слой грунта, но и участки, которые предназначены для монтажа труб и для проезда строительной техники. Таким образом, площадь для посева многолетних трав на данном этапе рекультивации составит 131950 кв.м.

Основные показатели, затрагиваемой территории приведен в таблице 1.

Таблица 1 – Техничко-экономические показатели рекультивируемой территории

№ п/п	Наименование	Ед. изм.	Кол-во
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
1	Общая площадь нарушенных земель	м <sup>2</sup>	131950
2	Площадь нарушенных земель сельскохозяйственного назначения (к.н. 34:26:000000:1492, 34:26:070103:66)	м <sup>2</sup>	120041,6
3	Площадь нарушенных земель населенных пунктов (к.н. 34:26:070103:79, 34:26:070103:80, 34:26:090202:38)	м <sup>2</sup>	11908,4
4	Мощность снимаемого плодородного слоя почвы	м <sup>2</sup>	0,3
5	Площадь полосы снятия плодородного слоя почвы	м <sup>2</sup>	54600,0
6	Общий объем земляных работ	м <sup>3</sup>	16380,0
7	Объем земляных работ на землях сельскохозяйственного назначения (к.н. 34:26:000000:1492, 34:26:070103:66)	м <sup>3</sup>	14901,7
8	Объем земляных работ на землях населенных пунктов (к.н. 34:26:070103:79, 34:26:070103:80, 34:26:090202:38)	м <sup>3</sup>	1478,3

И в заключении необходимо сказать, что почва была и остается главным условием жизнеобеспечения человечества в целом. Сохранение и улучшение почвенного покрова, а, следовательно, и основных жизненных ресурсов, возможно только при хорошо налаженном контроле за использованием всех видов почвенных и земельных ресурсов.

Именно поэтому, рекультивация земель - одна из самых важных задач в деле экологической защиты окружающей среды. Глобально - это сохранение природы для будущих поколений. А конкретно - обеспечение продовольственной безопасности страны.

#### Литература

1. Земельный Кодекс Российской Федерации (с изм., от 7.10.2015 N 136-ФЗ) [Текст] // Консультант Плюс. – Режим доступа: <http://www.consultant.ru/popular/earth/>
2. Голованов, А.И. Рекультивация нарушенных земель / А.И. Голованов. – М.: КолосС, 2009
3. Моторина, Л. Биологическая рекультивация и мониторинг нарушенных промышленностью земель / Л. Моторина – Уральский государственный университет, 2008

#### References

1. Zemel'nyj Kodeks Rossijskoj Federacii (s izm., ot 7.10.2015 N 136-FZ) [Tekst] // Konsul'tant Pljus. – Rezhim dostupa: <http://www.consultant.ru/popular/earth/>
2. Golovanov, A.I. Rekul'tivacija narushennyh zemel' / A.I. Golovanov. – M.: KolosS, 2009
3. Motorina, L. Biologicheskaja rekul'tivacija i monitoring narushennyh promyshlennost'ju zemel' / L. Motorina – Ural'skij gosudarstvennyj universitet, 2008

DOI: 10.18454/IRJ.2016.45.076

Королев М.И.<sup>1</sup>, Рогачев М.К.<sup>2</sup><sup>1</sup>Аспирант, <sup>2</sup>профессор, доктор технических наук, Национальный минерально-сырьевой университет «Горный»**АНАЛИЗ ОПЫТА ПРИМЕНЕНИЯ КОМПОЗИЦИЙ НА ОСНОВЕ ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ НЕФТЕОТДАЧИ ТЕРРИГЕННЫХ КОЛЛЕКТОРОВ УРАЛО-ПОВОЛЖЬЯ***Аннотация*

*В статье рассмотрено текущее состояние запасов и стратегия развития нефтегазовой отрасли России. Основным направлением развития отрасли является оптимизация текущей разработки месторождений нефти в Урало-Поволжском регионе, путем повышения нефтеотдачи. Предлагается осуществлять поставленные задачи альтернативными физико-химическими методами, основанными на закачке в пласт водных растворов смесей поверхностно-активных веществ.*

**Ключевые слова:** заводнение, методы увеличения нефтеотдачи, поверхностно-активные вещества, ПАВ-полимерное заводнение, альтернативные методы.

Korolev M.I.<sup>1</sup>, Rogachev M.K.<sup>2</sup><sup>1</sup>Postgraduate student, <sup>2</sup>Professor, PhD in Engineering, National Mineral Resources University (Mining University)**ANALYSIS OF THE SURFACTANT APPLICATION FOR ENHANCED OIL RECOVERY OF TERRIGENOUS RESERVOIRS OF THE URAL-VOLGA REGION***Abstract*

*The article considers the current state of stocks and strategy of the development the oil and gas industry of Russia. The main direction of development of the industry is to optimize the current oil fields development of the Ural-Volga region, by enhanced oil recovery. It is proposed to carry out posed problems of alternative physical and chemical methods of enhanced oil recovery based on injection of water solutions with mixtures of surfactants into formations.*

**Keywords:** water flooding, EOR, surfactants, surfactant-polymer flooding, alternative methods.

**В** настоящее время значительная доля нефтяных месторождений России, большая часть которых расположена в Урало-Поволжье, вступила в завершающую стадию разработки и характеризуется падением добычи. Это обусловлено истощением активных запасов нефти, и как следствие увеличением доли остаточной нефти, заключенной в зонах, не охваченных заводнением, и физически или химически связанной с породой нефти. Дополнительным фактором является ввод в разработку новых залежей с трудноизвлекаемыми (ТИЗ) запасами, рост обводненности сложнопостроенных терригенных коллекторов и их высокая расчлененность.

В энергетической стратегии России на период до 2030 года сформулированы основные проблемы развития современного нефтяного комплекса страны, к первой относят нерациональное недропользование (низкий коэффициент извлечения нефти) и отсутствие комплексных технологий добычи и экономически эффективной утилизации углеводородов (сжигание попутного нефтяного газа). Требуется решить задачи для достижения поставленных стратегических целей, одной из которых является совершенствование технологий добычи нефти, за счет использования современных методов увеличения нефтеотдачи [1]. На основе энергетической стратегии правительством были выработаны приоритетные направления развития науки, технологий и техники Российской Федерации, к которым относят рациональное природопользование, а к критическим технологиям Российской Федерации – технологии поиска, разведки и разработки месторождений полезных ископаемых [2], в связи с чем существует необходимость совершенствования современных технологий, позволяющих увеличить нефтеотдачу уже разрабатываемых пластов.

Рассматриваемые в данной статье запасы нефти относятся, в основном, к Волго-Уральской нефтегазоносной провинции, расположенной в пределах Пермской, Свердловской, Кировской, Ульяновской, Самарской, Оренбургской, Саратовской, Волгоградской областей РФ, республики Татарстан, Башкортостан и Удмуртии. Месторождения на этой территории разрабатываются с 30-х – 40-х годов и сейчас находятся на завершающей стадии разработки. Наиболее крупными нефтяными месторождениями являются Ромашкинское, Новоелховское, Арланское, Туймазинское, Бавлинское, Мухановское, Покровское, Кулешовское, Соколовогорское, Бобровское, Осиновское [3].

Разработка данных залежей осуществляется, как правило, с поддержанием пластового давления средством «холодного» заводнения. Несмотря на освоенность и относительно невысокую стоимость, оно имеет свои ограничения. Главными причинами не достижения полного вытеснения нефти водой выделяют различие вязкостей нефти и вытесняющего агента, их несмешиваемость и гидрофобизация пород-коллекторов [4].

Все методы увеличения нефтеотдачи (МУН), применяемые на высокообводненных месторождениях с ТИЗ, направлены на доизвлечение остаточной нефти и достижение проектного коэффициента извлечения нефти (КИН), путем оптимизации системы заводнения и модернизации агентов заводнения.

Достигнуть проектируемого КИН можно за счет увеличения коэффициента вытеснения нефти из пласта, путем улучшения отмывающих способностей воды (агента вытеснения), или за счет увеличения коэффициента охвата пласта заводнением.

В нефтедобыче широко применяют большое количество химических реагентов (поверхностно-активные вещества (ПАВ), щелочи, кислоты и др.), основное действие которых направлено на увеличение коэффициента вытеснения нефти.

Использование полимеров, полимер-дисперсных систем (ПДС), коллоидно-дисперсионных систем (КДС) позволяет добиться увеличения объема дренирования пласта путем повышения фильтрационных сопротивлений в обводненных зонах нефтенасыщенного коллектора. При этом вода стремится пройти в зоны, до этого не охваченные заводнением.

По мнению ученых, с целью увеличения охвата пласта заводнением и одновременно увеличения коэффициента вытеснения наиболее эффективным является комплексное воздействие на коллектор с совместной закачкой обеих групп химических реагентов в виде ПДС с добавкой ПАВ или мицеллярных систем.

Промысловыми экспериментами и лабораторными исследованиями было установлено, что одними из наиболее эффективных МУН являются физико-химические методы, базирующиеся на закачке в пласт воды с добавлением ПАВ или их смесей [5,6]. Интерес исследователей к изучению физико-химических свойств композиций на основе ПАВ вызван синергетическими эффектами (увеличение поверхностной активности, понижение ККМ, изменение реологии раствора) наблюдаемыми при проведении лабораторных исследований и их высокой технологической эффективностью при внедрении на месторождении.

Разработкой новых агентов и композиций для заводнения, получением теоретических зависимостей их свойств от условий применения и опробованием на месторождениях в различное время занимались Л.К.Алтунина, Г.А.Бабаян, В.Е.Гавура, А.Ш.Газизов, В.В.Девликамов, Р.Н.Дияшев, Ю.П.Желтов, С.А.Жданов, И.Л.Мархасин, М.Л.Сургучев, М.Н.Саттаров, А.Б.Тумасян и многие другие исследователи.

Вопросом создания новых способов увеличения эффективности заводнения и повышения конечной нефтеотдачи пластов начали заниматься в СССР с 50-х годов. С целью повышения эффективности системы разработки первый прямой метод воздействия, который был применен на месторождениях Урало-Поволжья был основан на принципах изменения схемы размещения водоагнетательных и добывающих скважин, оптимизации давления нагнетания воды.

Начиная с 60-х годов, многие научно-исследовательские институты, в особенности БашНИПИнефть, ТатНИПИнефть, ПермНИПИнефть и ВНИИнефть, в связи с малой эффективностью применяемых прямых МУН начали проводить исследования методов, которые должны были увеличить нефтевытесняющую способность воды. Для достижения поставленной цели требовалось разработать новые методы и составы для заводнения, путем добавления различных активных агентов, таких как ПАВ, полимеры, щелочи и др. Данные методы могли бы позволить за счет снижения межфазного натяжения на границе нефть-вода, добыть дополнительно нефть, удерживаемую в порах заводненного пласта силами адгезии и капиллярными силами.

Положительный результат показали многочисленные лабораторные исследования физико-химических, реологических свойств ионогенных и неионогенных ПАВ совместно с фильтрационными исследованиями [6-8].

Подтверждение лабораторных исследований было получено при опытно-промышленных работах на месторождениях Башкирии и Татарии [6-8].

Так, на пример, на опытном участке, включающем 13 нагнетательных и 72 добывающих скважин, Ашитовской площади Арланского месторождения был проведен эксперимент по закачке водного раствора ПАВ (типа ОП-10) при обводнении добываемой продукции на 60-80% (т.е. данный участок находился на поздней стадии разработки). Закачка ПАВ проводилась в течение 2-х лет, за это время было закачено 1005 тыс.м<sup>3</sup> раствора со средней концентрацией 0,051%. По техническим причинам оценить влияние ПАВ на доотмыв оказалось невозможным. Но был оценен охват пласта заводнением по мощности, при закачке воды до начала эксперимента составлял 37%, после закачки раствора ПАВ вырос до 62%.

Оценить степень довытеснения нефти из пласта получилось при проведении опытно-промышленных испытаниях неионогенных ПАВ на Зеленогорской, Чишминской, Холмовской площадях Ромашкинского месторождения. На Чишминском участке прирост добычи нефти составил 18 тыс.т, или 14% по сравнению с прогнозируемой добычей. На Зеленогорском участке после 4-х лет закачки 0,025% раствора ПАВ по двум участкам прирост составил 42,8 тыс.т нефти, или 73 т нефти на 1 т закаченного ПАВ.

Но эффективность описанных выше технологий снижается с ростом обводненности извлекаемой скважинной продукции. Поэтому объемы их применения в 90-е годы сократились, т.к. рассматриваемые месторождения вступили в этот период в завершающие стадии разработки. Данная стадия разработки характеризуется замедленными темпами падения добычи нефти и ростом обводненности добываемой продукции скважин до 95-98% (предел рентабельности эксплуатации скважины).

Современные исследования ориентированы на нахождение более эффективных ПАВ или их композиций [9-13], а также на оптимизацию методов закачки химических реагентов в пласт, т.е. на применение новых комплексных технологий (ПАВ-полимерное, ПАВ-полимерно-щелочное заводнение, мицеллярное заводнение и др.) [14-18].

Анализ литературных источников, содержащих данные о лабораторных исследованиях, и опыта промысловых испытаний новых композиций и составов, показывает, что для месторождений с длительным периодом воздействия на залежь закачкой воды наиболее перспективными методами увеличения нефтеотдачи пластов будут являться физико-химические или новые комбинированные методы на базе химических МУН. Закачка ПАВ-полимерных смесей, микроэмульсий или мицеллярных растворов позволит решить проблемы, возникающие на поздней стадии разработки высокообводненных месторождений. И главной целью применения комплексных технологий физико-химического воздействия на залежь является достижение проектного КИН за счет одновременного повышения коэффициента вытеснения нефти и увеличения коэффициента охвата пласта воздействием.

#### Литература

1. Энергетическая стратегия России на период до 2030 года (Утвержден распоряжением Правительства Российской Федерации от 13 ноября 2009 г.) // 2009. - № 1715;
2. Указ Президента России от 07 июля 2011 г. N 899 "Об утверждении приоритетных направлений развития науки, технологий и техники в Российской Федерации и перечня критических технологий Российской Федерации"
3. Максимов С. П. и др. Нефтяные и газовые месторождения СССР, Справочник, В 2 кн. Кн. 1 Европейская часть СССР. // М.: Недра, 1987. 358 с.
4. Желтов Ю.П. Разработка нефтяных месторождений: Учебник для вузов. // М.: Недра, 1998. 365 с.
5. Ибатуллин Р.Р., Ибрагимов Н.Г., Тахаутдинов Ш.Ф., Хисамов Р.С. Увеличение нефтеотдачи на поздней стадии разработки месторождений. Теория. Методы. Практика. // М.: ООО «Недра – Бизнесцентр», 2004. – 292с.
6. Бабаян Г. А. и др. Разработка нефтяных месторождений с применением поверхностно-активных веществ // М.: Недра. – 1983. 216 с.
7. Сургучев М. Л. Вторичные и третичные методы увеличения нефтеотдачи пластов // М.: Недра, 1985. 308 с.

8. Ибрагимов Г. З., Сорокин В. А., Хисамутдинов Н. И. Химические реагенты для добычи нефти: справочник рабочего // М.: Недра. – 1986. 240 с.
9. Силин М.А. Исследование поверхностно-активных веществ (ПАВ) различного типа, применяемых в составе технологических жидкостей / М.А. Силин, Л.А. Магадова, Е.Г. Гаевой, М.С. Подзорова, М.М. Мухин// Территория НЕФТЕГАЗ, 2011. № 8. С. 50 – 55.
10. Кудашева Ф.Х., Бадикова А.Д., Мусина А.М., Муталлов И.Ю. Составы для нефтевытеснения на основе отходов нефтехимии // Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело». 2010. №1. С.. URL: [http://ogbus.ru/authors/Kudasheva/Kudasheva\\_1.pdf](http://ogbus.ru/authors/Kudasheva/Kudasheva_1.pdf)
11. Семихина Л.П., Штыков С.В., Карелин Е.А. Отбор реагентов для ASP-технологии повышения нефтеотдачи пластов // Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело». 2015. №4. С.53-71. URL: <http://goo.gl/yzK42x>
12. Семихина Л.П., Штыков С.В., Карелин Е.А. Исследование пригодности реагентов для химических методов заводнения по их способности отмывать пленки нефти // Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело». 2015. №5. С.236-256. URL: [http://ogbus.ru/issues/5\\_2015/ogbus\\_5\\_2015\\_p236-256\\_SemihinaLP\\_ru.pdf](http://ogbus.ru/issues/5_2015/ogbus_5_2015_p236-256_SemihinaLP_ru.pdf)
13. Никитина А.А., Беляева А.С., Кунакова Р.В. Кислый гудрон как перспективное сырье для получения нефтепромысловых реагентов // Экспозиция нефть-газ, 2012. № 7. С. 19 - 21.
14. Алтунина Л. К., Кувшинов В. А. Физико-химические методы увеличения нефтеотдачи пластов нефтяных месторождений // Успехи химии, 2007. Т. 76. №. 10. – С. 1034-1052.
15. Магадова Л.А. Методические основы проведения лабораторных исследований составов для ASP-заводнения / Л.А. Магадова, М.С. Подзорова, В.Б. Губанов, В.Р. Магадов// Территория НЕФТЕГАЗ, 2013. № 6. С. 48 – 52.
16. Кузнецов С.А., Кольцов Н.И. Определение гидрофильно-липофильного баланса ПАВ на основе растительных масел и полиэтиленгликолей // Вестник Чувашского университета, 2006. №. 2.
17. Никитина А.А, Салым Петролеум: технология АСП как решение проблемы истощения традиционных запасов // Нефтегазовая вертикаль, 2014. № 10. С. 24 – 26.
18. Волокитин Я. и др. Исследование адсорбционных процессов при АСП-заводнении для условий Западно-Салымского месторождения // Российская техническая нефтегазовая конференция и выставка SPE по разведке и добычи. – Society of Petroleum Engineers, 2012.

#### References

1. Jenergeticheskaja strategija Rossii na period do 2030 goda (Utverzhdjen rasporyzheniem Pravitel'stva Rossijskoj Federacii ot 13 nojabrja 2009 g.) // 2009. - № 1715;
2. Ukaz Prezidenta Rossii ot 07 ijulja 2011 g. N 899 "Ob utverzhdenii prioritetnyh napravlenij razvitija nauki, tehnologij i tehniki v Rossijskoj Federacii i perechnja kriticheskikh tehnologij Rossijskoj Federacii"
3. Maksimov S. P. i dr. Neftjanye i gazovye mestorozhdenija SSSR, Spravochnik, V 2 kn. Kn. 1 Evropejskaja chast' SSSR. // М.: Nedra, 1987. 358 s.
4. Zheltov Ju.P. Razrabotka neftjanyh mestorozhdenij: Uchebnik dlja vuzov. // М.: Nedra, 1998. 365 s.
5. Ibatullin R.R., Ibragimov N.G., Tahautdinov Sh.F., Hisamov R.S. Uvelichenie nefteotdachina pozdnej stadii razrabotki mestorozhdenij. Teorija. Metody. Praktika. // М.: ООО «Nedra – Biznescentr», 2004. – 292s.
6. Babaljan G. A. i dr. Razrabotka neftjanyh mestorozhdenij s primeneniem poverhnostno-aktivnyh veshhestv // М.: Nedra. – 1983. 216 s.
7. Surguchev M. L. Vtorichnye i tretichnye metody uvelichenija nefteotdachi plastov // М.: Nedra, 1985. 308 s.
8. Ibragimov G. Z., Sorokin V. A., Hisamutdinov N. I. Himicheskie reagenty dlja dobychi nefiti: spravochnik rabocheho // М.: Nedra. – 1986. 240 s.
9. Silin M.A. Issledovanie paverhnostno-aktivnyh veshhestv (PAV) razlichnogo tipa, primenjaemyh v sostave tehnologicheskikh zhidkostej / M.A. Silin, L.A. Magadova, E.G. Gaevoj, M.S. Podzorova, M.M. Muhin// Territorija NEFTEGAZ, 2011. № 8. S. 50 – 55.
10. Kudasheva F.H., Badikova A.D., Musina A.M., Mutallov I.Ju. Sostavy dlja neftevytesnenija na osnove othodov neftehimii // Jelektronnyj nauchnyj zhurnal «Neftegazovoe delo». 2010. №1. S.. URL: [http://ogbus.ru/authors/Kudasheva/Kudasheva\\_1.pdf](http://ogbus.ru/authors/Kudasheva/Kudasheva_1.pdf)
11. Semihina L.P., Shtykov S.V., Karelin E.A. Otbor reagentov dlja ASP-tehnologii povyshenija nefteotdachi plastov // Jelektronnyj nauchnyj zhurnal «Neftegazovoe delo». 2015. №4. S.53-71. URL: <http://goo.gl/yzK42x>
12. Semihina L.P., Shtykov S.V., Karelin E.A. Issledovanie prigodnosti reagentov dlja himicheskikh metodov zavodnenija po ih sposobnosti otmyvat' plenki nefiti // Jelektronnyj nauchnyj zhurnal «Neftegazovoe delo». 2015. №5. S.236-256. URL: [http://ogbus.ru/issues/5\\_2015/ogbus\\_5\\_2015\\_p236-256\\_SemihinaLP\\_ru.pdf](http://ogbus.ru/issues/5_2015/ogbus_5_2015_p236-256_SemihinaLP_ru.pdf)
13. Nikitina A. A., Beljaeva A. S., Kunakova R. V. Kislyj gudron kak perspektivnoe syr'e dlja poluchenija neftepromyslovyh reagentov // Jekspozicija neft'-gaz, 2012. № 7. С. 19 - 21.
14. Altunina L. K., Kuvshinov V. A. Fiziko-himicheskie metody uvelichenija nefteotdachi plastov neftjanyh mestorozhdenij //Uspehi himii, 2007. Т. 76. №. 10. – S. 1034-1052.
15. Magadova L.A. Metodicheskie osnovy provedenija laboratornyh issledovanij sostavov dlja ASP-zavodnenija / L.A. Magadova, M.S. Podzorova, V.B. Gubanov, V.R. Magadov// Territorija NEFTEGAZ, 2013. № 6. S. 48 – 52.
16. Kuznecov S. A., Kol'cov N. I. Opredelenie gidrofil'no-lipofil'nogo balansa PAV na osnove rastitel'nyh masel i polijetilenglikolej //Vestnik Chuvashskogo universiteta, 2006. №. 2.
17. Nikitina A.A, Salym Petroleum: tehnologija ASP kak reshenie problemy istoshhenija tradicionnyh zasposov // Neftegazovaja vertikal', 2014. № 10. S. 24–26.
18. Volokitin Ja. i dr. Issledovanie adsorbcionnyh processov pri ASP-zavodnenii dlja uslovij Zapadno-Salym'skogo mestorozhdenija // Rossijskaja tehničeskaja neftegazovaja konferencija i vystavka SPE po razvedke i dobychi. – Society of Petroleum Engineers, 2012.

DOI: 10.18454/IRJ.2016.45.085

Махотлова М.Ш.<sup>1</sup>, Темботов З.М.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Кандидат биологических наук, <sup>2</sup>кандидат сельскохозяйственных наук,  
Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет имени В.М. Кокова, г.Нальчик

### ВЛИЯНИЕ НЕФТЯНЫХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

*Аннотация*

*В статье рассматривается негативное воздействие разлитой нефти на окружающую среду, характер и длительность последствий разливов нефти: количество и вид разлитой нефти, окружающие условия и физические характеристики в месте разлива нефти, фактор времени, преобладающие погодные условия, биологический состав пострадавшей от загрязнения среды, экологическая значимость входящих в него видов и их восприимчивость к нефтяному загрязнению.*

**Ключевые слова:** нефтяные разливы, экологическая катастрофа, экологический ущерб, окружающая среда.

Makhotlova M.SH.<sup>1</sup>, Tembotov Z.M.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>PhD in Biology, <sup>2</sup>PhD in Agricultural Sciences,  
Kabardino-Balkarian state agrarian University named after V.M. Kokov, Nalchik

### THE IMPACT OF OIL POLLUTION ON THE ENVIRONMENT

*Abstract*

*The article discusses the negative impact of spilled oil on the environment, the nature and duration of the effects of oil spills: the amount and type of oil spilled, environmental conditions and physical characteristics at the site of the spill, the time factor, prevailing weather conditions, biological structure affected by pollution, the environmental significance of its constituent species and their susceptibility to oil pollution.*

**Keywords:** oil spill, environmental disaster, environmental damage, environment.

Воздействие разлитой нефти на среду носит самый различный характер. Как правило, в средствах массовой информации эти события называют «экологическими катастрофами», сообщая о неблагоприятных прогнозах для выживания животных и растений. Крупная авария может оказать серьезное краткосрочное воздействие на окружающую среду и стать тяжелым бедствием для экосистемы.

Исследования последствий нефтяных разливов проводятся уже несколько десятилетий и нашли отражение в научной и технической литературе. Научная оценка типичных последствий нефтяного разлива показывает, что, хотя на уровне отдельных живых организмов наносимый вред может быть достаточно весомым, для популяций в целом характерна более высокая устойчивость. В результате работы естественных процессов восстановления вред нейтрализуется и биологическая система возвращается к нормальной жизнедеятельности. Лишь в редких случаях имеет место долгосрочный ущерб, в основном, даже после обширных нефтяных разливов можно предполагать, что загрязненные места обитания живых организмов восстанавливаются в течение нескольких сезонных циклов.

Характер и длительность последствий разливов нефти зависит от многих факторов: количества и вида разлитой нефти, окружающие условия и физические характеристики в месте разлива нефти, фактор времени, преобладающие погодные условия, биологический состав пострадавшей от загрязнения среды, экологическая значимость входящих в него видов и их восприимчивость к нефтяному загрязнению.

Возможные последствия разлива нефти зависят от скорости растворения и рассеивания загрязняющего вещества в воде в результате естественных процессов. Эти параметры являются определяющими территорию распространения загрязнения и вероятность длительного воздействия повышенных концентраций нефти или ее токсичных компонентов на уязвимые природные ресурсы [1].

К восприимчивым относятся организмы, сильнее других страдающие при контакте с нефтью или ее химическими компонентами. Менее восприимчивые организмы с большей вероятностью могут выдержать кратковременное воздействие нефтяного загрязнения.

С целью определения масштабов ущерба необходимо знать характеристики разлитой нефти. Разлив большого объема стойкой нефти, может нанести значительный ущерб, заключающийся в удушье организмов. Тяжелая топливная нефть, которая отличается низкой растворимостью в воде, оказывает менее выраженное токсическое воздействие в связи с низкой биологической доступностью своих химических компонентов.

Химические компоненты легкой нефти отличает более высокая биологическая доступность, следовательно, они с большей вероятностью могут причинять токсические повреждения. Нефть этого вида достаточно быстро рассеивается в результате испарения и дисперсии, а значит, может нанести меньше вреда при условии, что уязвимые природные ресурсы в достаточной мере удалены от места разлива [2].

Самые существенные и продолжительные последствия вероятны при обстоятельствах, когда растворение нефти замедлено. Даже если интенсивность воздействия ниже уровня, вызывающего гибель организмов, наличие токсичных компонентов может привести к состоянию, близкому к смертельному.

Экологические системы, все без исключения, достаточно сложные и естественные колебания видового состава, численности популяций и их распространение в пространстве и времени – это базовые показатели ее нормальной жизнедеятельности. Животные и растения обладают естественной устойчивостью различной степени к изменениям в пределах своей среды обитания. Естественное приспособление организмов к воздействию окружающей среды, пути и стратегии размножения очень важны для выживания при ежедневных и сезонных изменениях окружающих условий. Врожденная устойчивость говорит о том, что некоторые растения и животные могут выдержать определенный уровень нефтяного загрязнения.

Кроме того, получило широкое распространение чрезмерное использование природных ресурсов, хроническое загрязнение окружающей среды в городах, промышленное загрязнение окружающей среды. Все вышеперечисленное

значительно повышает изменчивость в рамках экологических систем. На фоне высокой естественной изменчивости становится сложнее обнаружить более слабовыраженный ущерб от разлива нефти. Способность среды восстанавливаться после серьезных нарушений связана с ее сложностью и устойчивостью. Восстановление после разрушительных природных событий демонстрирует, что с течением времени экологические системы восстанавливаются даже после серьезного урона, сопровождающегося масштабной гибелью организмов.

В результате естественной изменчивости экологических систем возврат к тому же состоянию, в котором система пребывала до разлива нефти, является маловероятным.

Разлив нефти может непосредственно воздействовать на организмы, обитающие в экологической системе, либо приводить к потере среды обитания в долгосрочной перспективе. Естественное восстановление сложной экологической системы может занимать длительное время, следовательно, внимание уделяется принятию реабилитационных мер для ускорения процесса.

Эффективные операции по очистке включают в себя удаление разлитой нефти в целях сокращения участка ее распространения и сокращения длительности ущерба от загрязнения, и, следовательно, ускорения начала процесса восстановления. Вместе с тем, агрессивные методы очистки могут нанести дополнительный ущерб, при этом более предпочтительны естественные процессы очистки. Со временем происходит снижение токсичности нефти под действием ряда факторов, и на загрязненном грунте может нормально расти и развиваться растительность. Например, происходит вымывание нефти дождями, летучие фракции испаряются по мере выветривания, что снижает токсичность остаточной нефти.

Благодаря способности среды к восстановлению естественным путем воздействия разлива нефти является локальным и проходящим. Долгосрочный ущерб зафиксирован всего в нескольких случаях. Вместе с тем, в некоторых обстоятельствах последствия ущерба могут быть более стойкими, а нарушения в экологической системе могут носить более длительный характер, чем обычно ожидается.

Обстоятельства, влекущие за собой стойкий долгосрочный ущерб, связаны со стойкостью нефти, особенно если нефть занесена в почвенную толщу и не подвергается естественным процессам выветривания. При смешивании с мелкозернистым грунтом происходит оседание нефти и ее распад замедляется ввиду отсутствия кислорода. Нефтепродукты, обладающие большей плотностью, оседают и могут оставаться в неизменном состоянии в течение неопределенного времени, вызывая удушье организмов.

Согласно существующему положению исследования последствий загрязнения нефтью проводятся по каждой крупной аварии. В результате этих исследований накоплены обширные знания о возможных последствиях разливов для окружающей среды. Изучение последствий каждого разлива не является необходимым и уместным. Вместе с тем исследования такого рода необходимы для определения масштаба, характера и длительности последствий в конкретных обстоятельствах после разлива [3].

В большинстве своем последствия загрязнения нефтью хорошо изучены и предсказуемы, следовательно, необходимо направить усилия на оценку ущерба. Демонстрируемая окружающей средой изменчивость означает, что изучение широкого спектра потенциальных последствий может привести к неопределенным результатам.

Нефть и нефтепродукты нарушают экологическое состояние почвенных покровов и в целом деформируют структуру биоценозов. Почвенные бактерии, а также беспозвоночные почвенные микроорганизмы и животные не в состоянии качественно выполнять свои важнейшие функции в результате интоксикации легкими фракциями нефти.

Методы химического анализа загрязняющих веществ постоянно совершенствуются. Концентрацию потенциально токсичных компонентов нефти можно определить с достаточно высокой точностью.

Природовосстановление представляет собой процесс принятия мер по восстановлению пострадавшей окружающей среды до состояния нормальной жизнедеятельности в короткие сроки. В рамках Международного режима меры по реабилитации должны обоснованно повлечь существенное ускорение естественного процесса восстановления при условии отсутствия неблагоприятных последствий для различных ресурсов, как физических, так и экономических.

Меры должны быть пропорциональны масштабу и длительности ущерба и достигнутым в перспективе преимуществам. Под ущербом в данном случае понимается нарушение окружающей среды, нарушение в данном контексте рассматривается как нарушение жизнедеятельности или исчезновение организмов в биологическом сообществе вследствие разлива.

Сложность экологических систем означает, что ряд возможностей по искусственному восстановлению нанесенного экологического ущерба ограничен. В большинстве случаев естественное восстановление протекает достаточно быстро.

Таким образом, можно сделать следующие выводы:

---экологическая система обладает значительной способностью к восстановлению естественным путем после серьезных бедствий, вызванных как природными явлениями, так и разливами нефти;

---эффективное планирование и реализация операций по ликвидации разливов нефти способствуют смягчению последствий;

---тщательно подготовленные реабилитационные меры могут при определенных условиях ускорить естественные процессы восстановления.

#### Литература

1. Михайленко Е.М. Правовое регулирование ликвидации последствий техногенных аварий на примере разливов нефти // Административное право и процесс. - 2008. - №3. - С.44-59.
2. Доньи Д. А. Воздействие нефтедобычи на окружающую среду // Молодой ученый. — 2014. — №19. — С. 298-299.
3. Махотлова М. Ш. Охрана подземных и поверхностных вод и вод Мирового океана // Молодой ученый. — 2015. — №18. — С. 97 – 101.

## References

1. Mikhaylenko E. M. Legal regulation of liquidation of consequences of technogenic accidents on the example of oil spills // Administrative law and process. – 2008. - №3. – S. 44 – 59.
2. Donji D. A. the Impact of oil extraction on the environment // a Young scientist. — 2014. — №19. — S. 298 – 299.
3. Makhotlova M.SH. Protection of underground and surface waters and waters of the World ocean // Young scientist. – 2015. – №18. – S. 97 – 101.

DOI: 10.18454/IRJ.2016.45.077

Пушкин А.А.<sup>1</sup>, Римкевич В.С.<sup>2</sup><sup>1</sup>Кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник Института геологии и природопользования Дальневосточного отделения Российской академии наук<sup>2</sup>кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник, заведующий лабораторией Института геологии и природопользования Дальневосточного отделения Российской академии наук**ВЛИЯНИЕ ГАЛАКТИК МЕСТНОЙ ГРУППЫ И СОЛНЦА НА ТЕКТОНИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ НА ЗЕМЛЕ***Аннотация*

В статье сравниваются силы, которые действуют на Землю и Солнце со стороны ближайших галактик, а также со стороны планет Солнечной системы. Сделан вывод, что галактики Местной группы обуславливают продолжительность эпох тектогенеза порядка сотен миллионов лет. Свое воздействие на Землю они осуществляют через посредство Солнца, так как сила его действия на Землю превосходит действие всех других сил. Кроме того, выявлено, что Юпитер определяет 11-летнюю периодичность в сейсмической активности на Земле.

**Ключевые слова:** ядро и мантия Земли, циклы Чижевского, галактики Местной группы, тектогенез, гравитационное поле.

Pushkin A.A.<sup>1</sup>, Rimkevich V.S.<sup>2</sup><sup>1</sup>PhD in Physics and Mathematics, senior stuff of Institute of geology and nature management of Far Eastern Branch of RAS<sup>2</sup>PhD in Geology and Mineralogy, senior stuff, head of department of Institute of geology and nature management of Far Eastern Branch of RAS**THE INFLUENCE OF THE LOCAL CROUP GALAXIES AND OF THE SUN ON THE TECTONICAL PROCESSES IN THE EARTH***Abstract*

The forces those effect on the Earth and on the Sun from nearest galaxies and from the Solar system planets are compared in this paper. It is concluded that Local Group galaxies determine the longitudes of tectogenesis stages about hundreds of millions years. They realize their influence on the Earth by the Sun because his influence on the Earth is greater than every force. Besides of that it is revealed that Jupiter determines 11-years periodicity of seismic activity on the Earth.

**Keywords:** nucleus and mantle of the Earth, Chizhevsky cycles, galaxies of Local Group, tectogenesis, gravitational field.

Известно [1], что периоды тектогенеза на Земле имеют продолжительности порядка сотен миллионов лет, что по порядку величины совпадает с периодом обращения галактики Млечный путь (МП). В работе [2] делается вывод, что периодичность этих эпох связана с воздействием на Землю гравитационных полей галактик Местной группы: семейства Туманности Андромеды (ТА) и Магеллановых Облаков (МО).

Однако, величина сил (табл. 1, данные для расчета взяты в [3]), которые создают эти галактики на Земле, мала. И казалось, воздействие этих галактик можно было бы не учитывать. Но дело в том, что Земля находится в тесной гравитационной связи с Солнцем (сила гравитационного притяжения Солнца на Земле превосходит все другие силы кроме собственного поля Земли), все изменения движения которого отражаются на Земле. Таким образом, эти галактики (ТА и МО) воздействуют на Землю не прямо, а через влияние Солнца, масса которого в  $3,3 \cdot 10^5$  раз больше, чем масса Земли, и, следовательно, во столько же раз больше и действующие на него со стороны этих галактик силы. Эти силы вызывают отклонения в движении Солнца, а отклик на эти отклонения на Земле становится заметным.

Таблица 1 – Силы, создаваемые в центре Земли наиболее крупными и наиболее близкими к Земле космическими объектами

Космический объект	Масса объекта, $10^{24}$ кг	Расстояние до объекта, $10^{11}$ м	Напряженность гравитационного поля, создаваемая на Земле, $10^{-8}$ м/с <sup>2</sup>	Сила, действующая со стороны объекта на Землю, $10^{16}$ Н
ТА	$8 \cdot 10^{18}$	$2,38 \cdot 10^{11}$	$8 \cdot 10^{-5}$	$3,3 \cdot 10^{-4}$
МО	$3,8 \cdot 10^{16}$	$1,8 \cdot 10^{10}$	$1,0 \cdot 10^{-4}$	$1,8 \cdot 10^{-3}$
МП	$6 \cdot 10^{18}$	$2,45 \cdot 10^9$	$2,8 \cdot 10^{-2}$	0,11
Солнце	$2 \cdot 10^6$	1,5	$6 \cdot 10^6$	$3,6 \cdot 10^5$
Луна	$7,3 \cdot 10^2$	$3,8 \cdot 10^{-2}$	$3,3 \cdot 10^3$	$2,0 \cdot 10^4$
Юпитер	$1,9 \cdot 10^3$	6,3	72	$4,3 \cdot 10^2$
Венера	4,9	0,42	42	$2,5 \cdot 10^2$
Сатурн	$5,7 \cdot 10^2$	12,8	5,2	31
Марс	3,2	0,78	1,6	9,8

Известно, что гелиоцентрическая система является инерциальной системой отсчета. В системе отсчета, связанной с Солнцем, движение Земли и других планет происходит по эллипсам, близким к окружностям. Однако, движение Солнца с планетами испытывает влияние галактик ТА и МО, которые вынуждают Солнечную систему испытывать отклонения от прямолинейного движения. В частности, движение Солнечной системы нельзя считать плоским. В работе [4] указывается, что Солнечная система примерно два или три раза за оборот вокруг центра галактики пересекает плоскость галактики. Такие отклонения от плоского движения могут вызывать ТА, которая находится выше плоскости галактики МП, и МО, которые находятся в настоящее время ниже плоскости галактики.

Отклонения движения Солнца от прямолинейного вызывают также планеты, особенно, такие крупные как Юпитер. В таблице 2 приведены расчетные значения сил, действующих на Солнце. Из таблицы 2 следует, что самое сильное воздействие на Солнце оказывает Юпитер. Юпитер является единственной планетой, для которой центр масс в системе Солнце – планета находится за пределами Солнца. Т.е. при обороте Юпитера вокруг Солнца Солнце также вращается и замечает тороидальную поверхность.

Таблица 2 – Силы, действующие на Солнце, со стороны различных космических объектов

Космический объект	Масса объекта, $10^{24}$ кг	Расстояние до объекта, $10^{11}$ м	Напряженность гравитационного поля, создаваемая на Солнце, $10^8 \text{ м/с}^2$	Сила, действующая со стороны объекта на Солнце, $10^{22}$ Н
ТА	$8 \cdot 10^{18}$	$2,38 \cdot 10^{11}$	$8 \cdot 10^{-5}$	$1,1 \cdot 10^{-4}$
МО	$3,8 \cdot 10^{16}$	$1,8 \cdot 10^{10}$	$1,0 \cdot 10^{-4}$	$6,0 \cdot 10^{-4}$
МП	$6 \cdot 10^{18}$	$2,45 \cdot 10^9$	$2,8 \cdot 10^{-2}$	$3,6 \cdot 10^{-2}$
Юпитер	1900	5,2	21	42
Венера	4,9	1,1	2,8	5,6
Сатурн	570	14,3	1,9	3,7
Земля	6	1,5	1,8	3,6

Период оборота Юпитера вокруг Солнца около 12 лет. Поскольку Земля за это время делает один оборот вокруг Солнца, противостояния Юпитера и Земли происходят примерно через каждые 11 лет. Это напоминает известные 11-летние циклы Чижевского, с которыми меняется Солнечная активность и сейсмическая активность на Земле. Поэтому возможной причиной 11-летней периодичности является движение Юпитера.

Периодичность же периодов тектогенеза в сотни миллионов лет может быть связана только с тяготением галактик Местной группы.

Примерная схема движения Солнечной системы в плоскости МП, а также расположение двух ближайших галактик в проекции на плоскость МП изображена на рис. 1. Галактики ТА и МП вращаются вокруг общего центра, расположенного на линии, их соединяющей, приблизительно посередине. Период их обращения столь велик, что за время существования этих галактик они не совершили ни одного оборота. Галактика МО движется с угловой скоростью примерно на порядок меньшей угловой скорости обращения Солнечной системы вокруг Млечного пути, периоды соотносятся как 2000–2300 млн. лет и 200–250 млн. лет. Гравитационное поле галактик МО и ТА модулирует силу гравитационного притяжения Солнцем Земли.



DOI: 10.18454/IRJ.2016.45.119

Рязанов А.В.<sup>1</sup>, Завершинский А.Н.<sup>2</sup>, Можаров А.В.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Доцент, кандидат химических наук, Тамбовский государственный университет имени Г.Р. Державина;

<sup>2</sup>доцент, кандидат химических наук, Тамбовский государственный университет имени Г.Р. Державина;

<sup>3</sup>доцент, кандидат химических наук, Тамбовский государственный университет имени Г.Р. Державина.

### АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ПРЕДПРИЯТИЯ ПО СОРТИРОВКЕ И УТИЛИЗАЦИИ ТВЕРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ

*Аннотация*

*Рассмотрены способы обращения с твердыми бытовыми и промышленными отходами на региональном предприятии, занимающемся сортировкой и захоронением отходов. Описаны применяемые способы разделения и сортировки. Проанализирована динамика переработки и захоронения отходов в период с 2010 по 2015 год и на основании доли извлекаемых отходов показана недостаточная эффективность данного мусоросортировочного комплекса. Описаны перспективы развития деятельности по сортировке и захоронению отходов на территории региона.*

**Ключевые слова:** твердые бытовые отходы, мусоросортировочный завод, полигон захоронения отходов.

Ryazanov A.V.<sup>1</sup>, Zavershinskiy A.N.<sup>2</sup>, Mozharov A.V.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>PhD of Chemistry, associate professor, Tambov State University named after G.R. Derzhavin; <sup>2</sup>PhD of Chemistry, associate professor, Tambov State University named after G.R. Derzhavin; <sup>3</sup>PhD of Chemistry, associate professor Tambov State University named after G.R. Derzhavin.

### ANALYSIS OF THE EFFICIENCY OF ENTERPRISES BY SORTING AND RECYCLING MUNICIPAL SOLID WASTE

*Abstract*

*The methods of solid household and industrial waste at the regional enterprises engaged in sorting and disposal of waste. Describes used methods for separating and sorting. The dynamics processing and disposal of waste in the period from 2010 to 2015 and on the basis of the share of recoverable waste is a lack of effectiveness of waste sorting complex. We describe the prospects for the development of activities for sorting and disposal of waste in the region.*

**Keywords:** municipal solid waste, sorting plant, landfill.

Проблема сбора и транспортировки твердых бытовых отходов (ТБО) является актуальной, поскольку ее решение связано с необходимостью обеспечения нормальной жизнедеятельности населения, санитарной очистки городов, охраны окружающей среды и ресурсосбережения. В мировой практике, до настоящего времени, подавляющее количество бытовых отходов все еще продолжают вывозить на свалки (полигоны): в России на свалки вывозят 97% образующихся ТБО, в США – 73%, в Великобритании – 90%, в Германии – 70%, в Швейцарии – 25%, в Японии – около 30%. В ряде случаев при отсутствии надлежащих мер по сбору и утилизации отходов образующихся у населения возможно образование несанкционированных свалок наносящих существенный ущерб природным комплексам [1,2].

Сортировкой и утилизацией отходов в городе Тамбове с мая 2008 года занимается ООО «КомЭк». Предприятие представляет собой комплекс по сортировке и утилизации отходов, в состав которого входят мусоросортировочный завод, предназначенный для приема и первичной переработки отходов, а также полигон захоронения. Для утилизации принимаются твердые бытовые отходы жилого сектора и отходы предприятий и организаций города Тамбова и частично Тамбовского района, близкие по составу к твердым бытовым отходам, не обладающие токсичными и радиоактивными свойствами IV, V классов опасности [3].

Отходы первоначально поступают на участок предварительной сортировки, где производится отбор крупногабаритных отходов (мебель, холодильники и пр.) и их разборка с последующим использованием в качестве вторичного сырья на соответствующих предприятиях.

Далее на конвейере производится ручная сортировка по различным фракциям, которые после этого попадают в бункерные желоба. На конвейере организовано 24 рабочих места, задачей каждого является отбор конкретной фракции. Однако, перечень извлекаемого вторсырья не всегда постоянен и зависит от конъюнктуры рынка. Отобранные фракции прессуются в плотные брикеты и для временного хранения отправляются в складское помещение или под навес, расположенные неподалеку от мусоросортировочного завода.

Оставшиеся на конвейере пищевые отходы, отсев, а также не утилизируемая часть ТБО собираются и далее вывозятся на полигон для захоронения. Весь грузооборот комплекса выполняется специализированным автотранспортом.

На диаграмме (Рис. 1) представлена динамика переработки и размещения отходов ООО «КомЭк» в 2010-2015 годах.

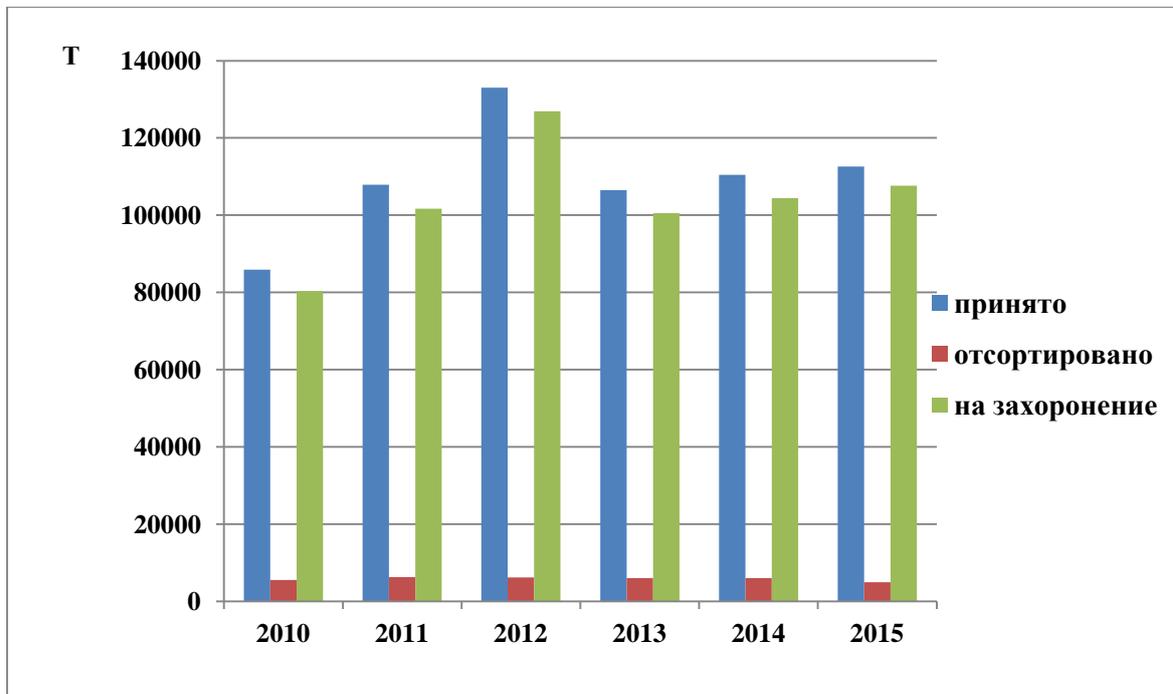


Рис. 1 – Динамика размещения отходов в период с 2010 по 2015 годы.

Из диаграммы видно, что минимум количества поступивших отходов приходится на 2010 год (85862,1 тонн), максимум на 2012 год (133045,5 тонн). В 2011, 2013-15 годах количество принятых отходов было примерно одинаковым и находилось на уровне 110000 тонн. Таким образом, в период с 2010 по 2012 год происходило увеличение количества принимаемых отходов, а в 2013 году произошел существенный спад, который может быть объяснен лишь перераспределением отходов, подлежащих захоронению, по другим полигонам, находящимся на территории области.

Несмотря на колебания количества принимаемых отходов, доля перерабатываемых в течение рассмотренного периода находилось, примерно, на одном уровне - порядка 6000 тонн в год. С учетом возрастания общего количества, процент перерабатываемых твердых отходов снижался в период с 2010 по 2012 год и незначительно увеличился в 2013 году. Количество отходов направляемых на захоронение в данный период составляло 94-95 процентов от общей массы поступающих отходов. Данные факты свидетельствуют о невысокой эффективности действующего на предприятии мусоросортировочного комплекса.

Кроме того, количество перерабатываемых и сортируемых отходов не зависит от количества поступивших и, вероятнее всего, ограничено возможностями ручной сортировки. Исправить ситуацию могло бы введение механической сортировки перерабатываемых отходов. Однако подобная механизация требует существенных капиталовложений и экономически нецелесообразно, в первую очередь, из-за низкой стоимости отделяемых фракций, используемых в качестве вторичного сырья.

При существующих объемах переработки, выделение нескольких наименований отходов не может существенно сказаться на экологической ситуации. С другой стороны номенклатура извлекаемых на предприятии компонентов, а это, в первую очередь, фракции не подверженные биоразложению (бой стекла и различные полимерные материалы), позволяет сделать предположение, что функционирование предприятия, может, хотя и в незначительной мере, улучшить экологическую обстановку и способствовать более быстрому разложению отходов поступающих на полигон.

Полигон, находящийся вблизи мусоросортировочного завода, в настоящее время заполнен примерно на половину и может эксплуатироваться еще в течение нескольких лет. Кроме того в настоящее время на территории области введены в эксплуатацию еще три полигона, предназначенные преимущественно для захоронения отходов, хотя в планах предприятия имеется налаживание на них частичной сортировки поступающих отходов.

#### Литература

1. Коробко В.И. Твердые бытовые отходы. Экономика. Экология. Предпринимательство. М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2012. 133 с.
2. Сметанин В.И. Защита окружающей среды от отходов производства и потребления. М.: Колос, 2000. 232 с.
3. Рязанов А.В. Экологические аспекты обращения с твердыми отходами некоторых транспортных предприятий в свете перехода на ноосферный путь развития. // Вестник Тамбовского университета. Серия: Естественные и технические науки. - 2013. Т.18. Вып. 3. - С. 902-905.

#### References

1. Korobko V.I. Tverdye bytovye othody. Jekonomika. Jekologijaj. Predprinimatel'stvo. M.: JuNITI-DANA, 2012. 133 s.
2. Smetanin V.I. Zashhita okruzhajushhej sredy ot othodov proizvodstva i potreblenija. M.: Kolos, 2000. 232 s.
3. Rjzanov A.V. Jekologicheskie aspekty obrashhenija s tverdymi othodami nekotoryh transportnyh predpriyatij v svete perehoda na noosfernyj put' razvitija. // Vestnik Tambovskogo universiteta. Serija Estestvennye i tehnicheckie nauki. - 2013. T. 18. Vyp.3. - S.902-905.

DOI: 10.18454/IRJ.2016.45.073

Тягунов Д.С.<sup>1</sup>, Рыбаков Е.Н.<sup>1</sup>, Гусева В.П.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Кандидат технических наук, Институт геофизики Уральского отделения Российской академии наук

<sup>2</sup>Кандидат биологических наук, Институт экологии растений и животных

Уральского отделения Российской академии наук

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАГРЯЗНЕННОСТИ ТЕХНОГЕННЫМИ РАДИОНУКЛИДАМИ ДОННЫХ И ПОЙМЕННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ОЗЕР УРАЛЬСКОГО РЕГИОНА

*Аннотация*

*В статье представлены результаты исследования загрязненности искусственными радионуклидами пойм и донных отложений озер Челябинской, Курганской и Свердловской областей. Описана аппаратура и методика измерений. По результатам гамма-спектрометрических и радиохимических измерений выделены озера с максимальной удельной активностью изотопов цезия-137 и стронция-90.*

**Ключевые слова:** донные отложения, цезий-137, стронций-90, удельная активность, озера.

Tyagunov D.S.<sup>1</sup>, Rybakov E.N.<sup>1</sup>, Guseva V.P.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>PhD in Engineering, Institute of Geophysics of the Ural branch of the Russian Academy of Sciences

<sup>2</sup>PhD in Biology, Institute of ecology of plants and animals of the Ural branch of the Russian Academy of Sciences

## RESEARCH OF POLLUTION BY MAN-MADE RADIONUCLIDES IN BOTTOM AND BANKS SEDIMENTS OF LAKES OF THE URAL REGION

*Abstract*

*The article contains results of artificial radionuclides contamination with banks and bottom sediments of the lakes of the Chelyabinsk, Kurgan and Sverdlovsk regions. The measurement equipment and technique are described. According to the results of gamma-spectrometric and radiochemical measurements allocated lake with a maximum specific activity of the isotopes cesium-137 and strontium-90.*

**Keywords:** bottom sediments, cesium-137, strontium-90, specific activity, lake.

На территории Уральского региона сосредоточено большое количество ядерно радиационно-опасных промышленных объектов – Белоярская атомная электростанция (БАЭС), производственное объединение «Маяк», хранилища радиоактивных веществ. Проводились подземные ядерные взрывы в промышленных целях, наземные и подземные испытания ядерного оружия и другие действия, связанные с использованием ядерной энергии.

Уже на начальных этапах развития атомной промышленности, водные объекты широко использовались как элементы внутренней технологической цепочки или как конечный резервуар для сброса и хранения радиоактивных веществ. В результате были загрязнены пойменные ландшафты рек Теча, Пышма, Исеть.

Кроме этого, негативный вклад в радиационную обстановку на Урале внесли: испытания ядерного оружия на Семипалатинском (1953 г.) и Тоцком (1954 г.) полигонах; радиоактивное загрязнение от аварии на ПО «Маяк» (1957 г.), Чернобыльской АЭС (1986 г.) и загрязнения от ветровой эрозии радиоактивной пыли с оголенной от засухи береговой полосы озера Карачай (1967 г.) [1, 2, 3]. В результате, за счет смыва радионуклидов с поверхности почвы, произошло загрязнение рек и озер.

Большое практическое значение для решения проблем радиоэкологии представляют донные отложения. Как активные аккумуляторы радионуклидов, поступающие с водосборов в течение длительного промежутка времени, они являются индикатором экологического состояния территории, своеобразным интегральным показателем уровня загрязненности. Исследование донных отложений озер позволяет проследить распространение и переотложение радиоактивных загрязнений, изучить динамику накопления загрязнений за длительный период времени, а также выделить временные интервалы наиболее интенсивного поступления радионуклидов.

Спустя более 50 лет после радиоактивного загрязнения короткоживущие радионуклиды распались, а из долгоживущих радиологически значимых радионуклидов остались: цезий-137 (с периодом полураспада 30.17 лет), стронций-90 (28.6 лет) и тритий-3 (12 лет).

В связи с вышесказанным, за период 2012 – 2014 гг. сотрудниками Института геофизики УрО РАН совместно с Институтом экологии растений и животных УрО РАН, были проведены исследования загрязненности искусственными радионуклидами (цезием-137 и стронцием-90) пойм и донных отложений озер Челябинской, Курганской и Свердловской областей. Работы проводились с целью определения величины загрязнения открытых непроточных водоемов за счет миграции данных радионуклидов с водосборной территории.

### Аппаратура, методика и предмет исследований

С течением времени радиоактивное поверхностное загрязнение в результате смыва дождевыми и талыми водами переносится ручьями и протоками в водоемы, где может аккумулировать в донных отложениях. В устьях этих проток осуществлялся выбор места отбора проб.

Сами водоемы (озера) выбирались из расчета загрязненности территории за счет, предположительно, прохождения в северо-западном направлении одной из частей образовавшегося пылевого облака в результате последствия испытания на Семипалатинском полигоне, которое могло осесть на восточном склоне системы Уральских гор; аварии на ПО «Маяк» и Чернобыльской АЭС; ветровой эрозии радиоактивной пыли с озера Карачай (за исключением озер, попадающих в группу Восточно-Уральского радиоактивного следа, а также следа с прибрежной зоны озера Карачай, которые были уже исследованы другими авторами). В связи с этим, для исследования было выбрано три маршрута.

Первый маршрут отбора проб проходил с восточной стороны хребта Уральских гор от г. Чебаркуль до г. Касли Челябинской области. Там же в августе 1953 года располагался геофизический отряд поисковой партии Горно-геологического Института УФАИ, который проводил гамма-съёмку в районе горы Егоза, что в 3 км от разьезда

Кувалжиха Южно-Уральской железной дороги. Уровень гамма-фона тогда превышал естественный в 10-100 раз<sup>1</sup>. Второй маршрут проходил от пос. Урефты Челябинской области до пос. Новопетропавловского Курганской области и, третий – от г. Касли Челябинской области до г. Екатеринбурга Свердловской области через Далматовский район Курганской области.

По маршруту Чебаркуль-Касли исследовались семь озер: Аргазинское водохранилище, Большой Сунукуль, Иртяш, Кундравинское, Малое Миассово, Увильды, Чебаркуль. По маршруту Урефты-Новопетропавловское восемь озер: Агашкуль, Брюхово, Лебяжье, Песковское, Пуктыш, Угловое, Узункуль, Урефты. По маршруту Касли-Далматовский р-н-Екатеринбург восемь озер: Беляковское, Большой Атяж, Большое Кривское, Верхнемакаровское водохранилище, Волчихинское водохранилище, Иткуль, Могильное, Сунгуль.

Кроме цезия-137 в пробах донных отложений озер третьего маршрута исследовался стронций-90.

Для сравнения, помимо донных отложений всех исследуемых озер отбирались пробы с пойменных участков. Из-за неоднородности морфологии прибрежной части на каждом озере с разных берегов отбиралось несколько проб, каждая весом не менее 1 кг. В зависимости от типа грунта отбор образцов производился до глубины 20 см, так как сообщает [4] коэффициент накопления радионуклида различными типами грунта повышается в ряду: песчаный грунт – затопленная почва – илистый сапропель.

Сам отбор проб осуществлялся с помощью пробоотборника, представляющего собой небольшой цилиндрический резервуар с отверстиями на дне для просачивания воды. Пробоотборник позволяет отбирать пробы ила с глубины до 4 м. С помощью GPS-60 Garmin на месте отбора каждой пробы определялись географические координаты. Для контроля общего гамма-фона на берегу озер с помощью контрольно-измерительного сцинтилляционного радиометрического прибора СРП-88 определялась мощность экспозиционной дозы.

Подготовка отобранных образцов к измерениям проводилась по следующей методике: проба ила высушивалась в муфельной печи при температуре 105 °С. Для обнаружения цезия-137, высушенная проба измельчалась, взвешивалась и насыпалась в сосуд Маринелли. Гамма-спектрометрические измерения проводились с помощью спектрометра «Гамма 1С» с блоком детектирования УДС-Г-63×63-USB в камере низкого фона. В качестве защиты от внешнего излучения использовался экран из Pb = 45 мм; Cd = 3 мм; Cu = 0.5 мм. Минимальная измеряемая активность по цезию-137 – 1.5 Бк/кг.

Определение в пробах стронция-90 осуществлялось радиохимическим методом, основанном на выщелачивании химических элементов 6Н соляной кислотой с последующим осаждением оксалатов щелочноземельных элементов и выделением из раствора стронция-90 в виде карбонатов. Содержание стронция-90 определяли по дочернему продукту иттрия-90 после их разделения безугольным аммиаком [5].

#### Результаты и их обсуждение

По результатам гамма-спектрометрических измерений изотоп цезия-137 был обнаружен в пойме и илах всех исследуемых озер. В пойме озер величина удельной активности цезия-137 составила от 7 Бк/кг до 126 Бк/кг, в илах – от 4 Бк/кг до 57 Бк/кг. В илах озер Большой Атяж и Верхнемакаровское водохранилище цезий-137 обнаружен не был (таб. 1).

Таблица 1 – Результаты исследования цезия-137 и стронция-90 в озерах Уральского региона, Бк/кг сухой массы

Название озер	GPS-координаты с.ш. и в.д.	Мощность экспозицион-ной дозы (мкР/ч)	Cs-137 в пойме	Cs-137 в илах	Sr-90 в пойме
Маршрут Чебаркуль-Касли					
Аргазинское водохранилище	N 55.31546 E 60.38457	10	37	12	-
Большой Сунукуль	N 55.07020 E 60.40740	5.5	12	5	-
Иртяш	N 55.86670 E 60.70066	5	24	9	-
Кундравинское	N 54.83852 E 60.24684	9	7	6	-
Малое Миассово	N 55.15248 E 60.38692	5	27	6	-
Увильды	N 55.54704 E 60.53877	17.5	62	22	-
Чебаркуль	N 54.94650 E 60.34479	7.5	21	6	-

<sup>1</sup> Булашевич Ю.П. Аномальный фон гамма-излучения на Урале в августе и в последующие месяцы 1953 года. – Свердловск. Фонд библиотеки ИГФ УрО РАН. 1954. С. 7-8.

Окончание табл. 1 – Результаты исследования цезия-137 и стронция-90 в озерах Уральского региона, Бк/кг сухой массы

Название озер	GPS-координаты с.ш. и в.д.	Мощность экспозицион-ной дозы (мкР/ч)	Cs-137 в пойме	Cs-137 в илах	Sr-90 в пойме
Маршрут Урефты-Новопетропавловское					
Агашкуль	N 55.47152 E 61.35860	16	26	17	-
Брюхово	N 56.01317 E 63.06248	6.75	13	4	-
Лебяжье	N 55.77338 E 63.08111	5.75	3.4	9	-
Песковское	N 56.11278 E 63.88659	7.75	24	6.8	-
Пуктыш	N 55.47422 E 62.68294	5.75	17	5.5	-
Угловое	N 55.62757 E 63.14359	8.25	7	11	-
Узункуль	N 55.44281 E 61.32367	17	40	22	-
Урефты	N 55.42196 E 61.40129	13	62	40	-
Маршрут Касли-Далматовский р-н-Екатеринбург					
Беляковское	N 56.56123 E 63.53896	4	34.7	5	21
Большой Атяж	N 56.41857 E 63.36196	8	64.3	не обна- ружен	15.0
Большое Кривское	N 56.35017 E 63.35817	6	27.5	24.2	11.1
Верхнемака-ровское водохранилище	N 56.37470 E 60.22124	-	31.4	не обна- ружен	-
Волчихинское водохранилище	N 56.82102 E 60.10299	5	126	57	12.8
Иткуль	N 56.16371 E 60.47408	10	20	6,5	39.3
Могильное	N 56.22192 E 63.57224	7	30.3	9	19.3
Сунгуль	N 55.98234 E 60.70485	13	31.5	19.4	22.6

Также было установлено, что удельная активность по цезию-137 большинства проб с пойменных участков этих озер превышает удельную активность иловых отложений, а в некоторых пробах в несколько раз. Предположительно, такая особенность вызвана отложениями радионуклида в пойменных образованиях (наличие органики с большой сорбционной способностью) и прибойной активностью прибрежных частей озер.

По результатам радиохимических измерений удельные активности изотопа стронция-90 были обнаружены в пойме всех исследуемых озер маршрута Касли-Далматовский р-н-Екатеринбург за исключением Верхнемакаровского водохранилища, в пойме которого измерения на стронций-90 не проводились. Величина удельной активности проб по стронцию-90 составила от 11.1 Бк/кг до 39.3 Бк/кг (см. таб. 1). Надо заметить, что обнаруженная удельная активность по цезию-137 в пойме озер данного маршрута выше в сравнении с удельной активностью по стронцию-90, за исключением озера Иткуль. Это объясняется различием в степени поглощения радионуклидов разными типами грунта (отложений) в точках отбора проб, поскольку эти радионуклиды характеризуются разной сорбционной способностью накапливаться глинистыми минералами и природными органическими образованиями (торфом, сапропелями, и др.).

На рис. 1 показано, что удельная активность цезия-137 в южной части профиля возрастает по мере приближения к территории ПО «Маяк». В северо-восточном направлении наличие радионуклидов цезия-137 и стронция-90 может быть вызвано их миграцией из-за преобладающего направления ветра во время аварии на «Маяке». Со стороны Екатеринбурга повышенные удельные активности изотопов связаны, предположительно, с наложением выпадения радиоактивных осадков вследствие Чернобыльской аварии [6], что отразилось повышением активностей в пойме и илах Волчихинского и Макаровского водохранилищ.



7. Егоров Ю.А., Суздаева А.Л. Радионуклиды в природно-техногенной системе «АЭС-водоём-охладитель»: Материалы науч. семинара «Проблемы региональной геоэкологии», Тверь: Тверск. ун-т, 2000. С. 91-92.

#### References

1. Dovgusha V.V., Tixonov M.M., Reshetov V.V., Kiselev M.F., VI, 2000. Radiation situation in the Ural region of Russia. Sankt-Petersburg: Balt-Nord, 103 s.
2. Litovskiy V.V., 2001. Natural-history description of environmental research in the Urals. Ekaterinburg: Uralskiy Universitet, 476 s.
3. Outkin V.I., Chebotina M.Ya., Evstigneev A.V., Lyubashevskiy N.M., 2004. Features of the radiation situation in the Urals. Ekaterinburg: UB RAS, 150 s.
4. Trapeznikov A.V., Chebotina M.Ya., Trapeznikova V.N., Guseva V.P., Nikolin O.A., 2008. The impact of the NPP on the radiological condition of the reservoir-cooler). Ekaterinburg: Akademnauka, 400 s.
5. Silant'ev A.N., 1969. A collection of methods for the determination of environmental radioactivity. Moscow: Gidrometeoizdat, 183 s.
6. Chyursin A.V., Evstigneev A.V., 1997. The impact of the Chernobyl accident on the territory of Sverdlovsk region: Materials of scientific-practical conference, Ekaterinburg, S. 46-48.
7. Egorov Yu.A., Suzdaleva A.L., 2000. Radionuclides in natural-technogenic system «NPP- reservoir-cooler», Tver: Tverskiy Universitet, S. 91-92.

DOI: 10.18454/IRJ.2016.45.050

Фарманзаде А.Р.<sup>1</sup>, Карпунин Н.А.<sup>2</sup>, Хромых Л.Н.<sup>3</sup>, Евсenkova А.О.<sup>4</sup>, Аль-Гоби Г.<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Аспирант, <sup>2</sup>студент, <sup>3</sup>доцент, <sup>4</sup>студент, <sup>5</sup>студент,

<sup>1,2,4,5</sup>Национальный минерально-сырьевой университет «Горный»,

<sup>3</sup>Самарский государственный технический университет

### ИССЛЕДОВАНИЕ РЕОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ВЫСОКОВЯЗКОЙ НЕФТИ ПЕЧЕРСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

*Аннотация*

*В статье изучены реологические свойства тяжелой нефти Печерского месторождения в широком температурном диапазоне. Основное внимание уделено изучению вязкой и упругой компонентам вязкости в зависимости от температуры для обоснования оптимальных условий разработки данного нефтяного месторождения.*

**Ключевые слова:** высоковязкая нефть, битум, упругая компонента вязкости, вязкая компонента вязкости, реологические свойства.

Farmanzade A.R.<sup>1</sup>, Karpunin N.A.<sup>2</sup>, Khromykh L.N.<sup>3</sup>, Evsenkova A.O.<sup>4</sup>, Al-Gobi G.<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Postgraduate student, <sup>2</sup>student, <sup>3</sup>associate professor, <sup>4</sup>student, <sup>5</sup>student,

<sup>1,2,4,5</sup>National Mineral Resources University (University of Mines), <sup>3</sup>Samara State Technical University

### THE INVESTIGATION RHEOLOGICAL PROPERTIES OF HEAVY OIL FIELD PECHORA

*Abstract*

*There is the investigation of the rheological properties of heavy oil field Pechora in a wide temperatures range in this paper. Main attention is given to the study of the loss and storage modulus of the viscosity as a function of temperature for the recommendation of optimal conditions for development of this oil field.*

**Keywords:** heavy oil, bitumen, storage modulus, loss modulus, rheological properties.

На сегодняшний день, в связи с неуклонным истощением запасов легких, маловязких нефтей, все большее значение приобретает необходимость введения в разработку месторождений трудноизвлекаемых запасов, таких как высоковязкие нефти и природные битумы, большая часть которых находится в Канаде, Венесуэле и России. В Российской Федерации более 70% высоковязких нефтей приурочены к 5 регионам: в Пермской области (более 31%), в Татарстане (12,8%), в Самарской области (9,7%), в Башкортостане (8,6%) и Тюменской области (8,3%) [6].

Месторождения нефтей такого типа, как правило, характеризуются небольшими глубинами залегания нефтеносных пластов и, зачастую, низкой пластовой температурой, в то время как залегающие в них нефти или битумы обладают неньютоновскими свойствами [3, 17], обусловленными большим содержанием парафинов асфальтенов и смол [4, 5, 7]. При высоком содержании тяжелых компонентов в составе нефтей проявляются вязкоупругие свойства, которые впервые были обнаружены еще в 1970-х гг. [1].

Высокие значения вязкости таких нефтей в пластовых условиях являются причиной низких дебитов добывающих скважин, а иногда, и полного их отсутствия при попытках разработки месторождения на естественном режиме [2, 7, 8]. В настоящее время термические методы воздействия на продуктивный пласт получили наибольшее распространение при разработке залежей таких углеводородов [13, 15, 16]. Среди этих технологий стоит отметить циклическую (cyclic steam injection) и площадную закачку пара, как наиболее распространенные методы добычи и интенсификации притока в России и парогравитационное дренирование (SAGD – steam assisted gravity drainage), широко применяемое за рубежом [8, 10, 11, 12].

Для изучения свойств высоковязкой нефти, залегающей в сложнопостроенном карбонатном коллекторе, было выбрано Печерское месторождение, располагающееся на берегу реки Волга, у села Печерское. Ранее на данном месторождении добывалась горная порода (известняки и доломиты), насыщенная тяжелой нефтью, для последующего извлечения из нее сырья для производства битумной мастики. Авторами были организованы полевые выходы на

данное месторождение для сбора информации о строении залежи и образцов для изучения реологических свойств нефти и пустотного пространства пласта-коллектора.

В данной работе была изучена реологических свойств нефти от температуры. При этом использовался современный высокоточный ротационный вискозиметр с воздушными подшипниками.

Эксперимент по изучению зависимости динамической вязкости от температуры проводился следующим образом: на разогретую до 70°C площадку вискозиметра помещалась капля нефти объемом 1 мл, затем капля прижималась ротором, и температура повышалась до 110°C. На вискозиметре было задано значение угловой скорости 5 с<sup>-1</sup>, после чего температура плавно опускалась до 50°C. Данная температура была предложена в качестве граничной для предотвращения излишней перегрузки двигателя вискозиметра.

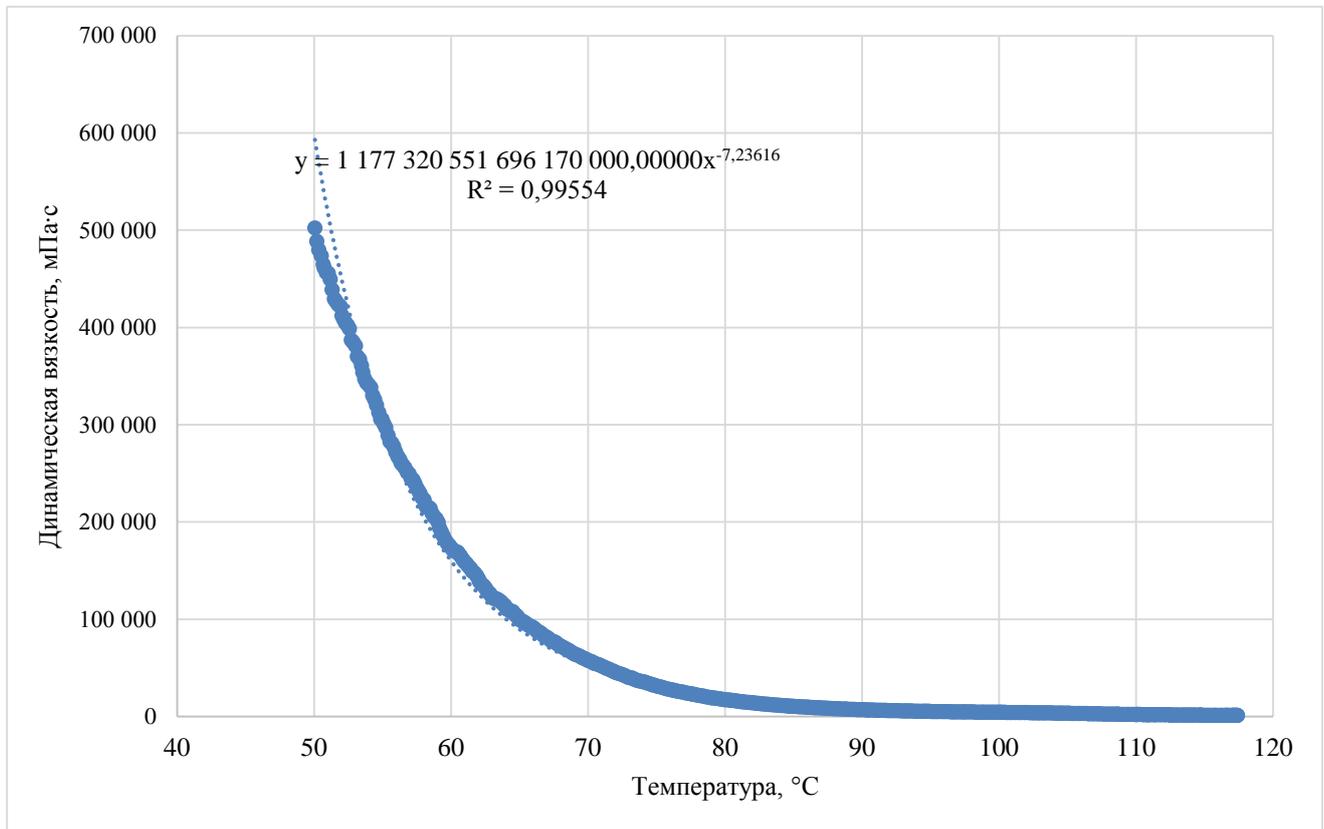


Рис. 1 – Зависимость динамической вязкости высоковязкой нефти от температуры.

На представленном рисунке видно, что динамическая вязкость нефти может быть описана степенной функцией вида  $y=1177320551696170000x^{-7,24}$  с величиной достоверности аппроксимации  $R^2 = 0,99554$ . Нефть на всем интервале представленных температур является высоковязкой (вязкость при 110°C составляет 2003 мПа·с, а при 50°C – 502343 мПа·с). На данном этапе испытаний измерить вязкость нефти при пластовой температуре 20°C не было возможно из-за ограничения возможностей вискозиметра.

Для углубленного изучения реологических свойств данной нефти были проведены дополнительные специализированные динамические испытания по определению упругой и вязкой компонент вязкости. В ходе экспериментов было изучено влияние снижения температуры на упругую компоненту вязкости (динамический модуль сдвига, также называемый storage modulus) и вязкую компоненту вязкости (податливость или loss modulus) [12, 14]. Нефть Печерского месторождения, используемая для проведения исследований, в первом случае охлаждалась в выбранном интервале температур от 90°C до 50°C. Эксперимент проходил следующим образом: на разогретую до 70°C площадку вискозиметра помещалась капля нефти объемом 1 мл, затем капля прижималась ротором, и температура повышалась до 90°C, после чего плавно снижалась до 50°C с записью данных. Динамическая нагрузка была представлена осцилляционным движением ротора с частотой 1 Гц и нагрузкой 100 Па. Результаты представлены на рисунке 2.

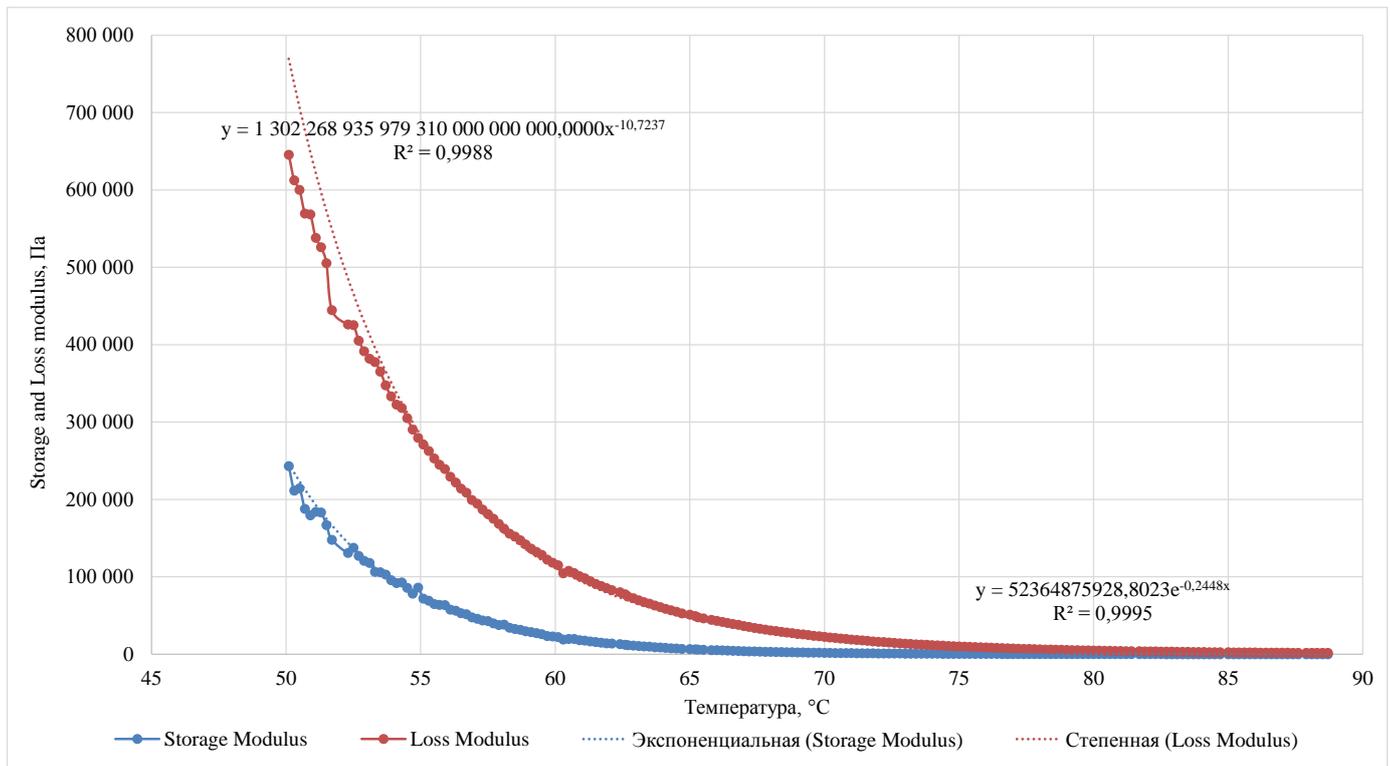


Рис. 2 – Зависимость упругой (storage modulus) и вязкой (loss modulus) компонент вязкости высоковязкой нефти Печерского месторождения от температуры.

Анализируя представленные зависимости, возможно сделать следующие выводы: во-первых, как вязкая, так и упругая компоненты вязкости нефти уменьшаются с увеличением температуры и достигают относительно небольших значений при 80°C, что доказывает необходимость использования тепловой энергии при разработке данного месторождения. Во-вторых, заметно, что на исследованном интервале температур нефть обладает упругими свойствами, которые хоть и уменьшаются при увеличении температуры, но достигают значительных величин: 23,54 Па.

Исходя из результатов проведенных исследований, возможно сделать следующие выводы:

1. Высоковязкая нефть Печерского месторождения характеризуется аномально высокой вязкостью: измеренная динамическая вязкость при 50°C составляет 502343 мПа·с.

2. Исходя из того, что вязкость нефти при повышении температуры от 50 до 110°C снижается с 502343 мПа·с до 2000 мПа·с для извлечения нефти из породы данного месторождения необходимо применение термического воздействия.

3. Изученная нефть обладает сложными реологическими свойствами, обусловленными, вероятно, высоким содержанием асфальтенов и смол, характерным для приповерхностных месторождений Самарской области. Высокие значения вязкой и упругой компонент вязкости наблюдаются на всем интервале температур, при которых проводились динамические испытания, что несомненно окажет негативное влияние на процесс извлечения нефти из пласта-коллектора.

4. Авторами работы запланированы дальнейшие испытания, направленные на обоснование эффективных технологий извлечения таких аномальных нефтей из продуктивных пластов, например, технологии с применением комплексного воздействия тепловыми агентами и растворителями.

#### Литература

1. Девликамов В.В., Хабибуллин З.А., Кабиров М.М. Аномальные нефти. -М.: Недра, 1975. -168 с.
2. Зиновьев А.М., Ковалев А.А., Максимкина Н.М., Ольховская В.А., Рощин П.В., Мардашов Д.В. Обоснование режима разработки залежи аномально вязкой нефти на основе комплексирования исходной геолого-промысловой информации//Вестник ЦКР Роснедра. -2014. -№3. -С. 15-23.
3. Зиновьев А.М., Ольховская В.А., Ковалев А.А. Обоснование аналитической модели псевдоустановившегося притока нелинейно вязкопластичной нефти к вертикальной скважине//Вестник ЦКР Роснедра. -2013. -№2. -С. 40-45.
4. Зиновьев А.М., Ольховская В.А., Максимкина Н.М. Проектирование систем разработки месторождений высоковязкой нефти с использованием модели неньютоновского течения и результатов исследования скважин на приток//Нефтепромысловое дело. -2013. -№1. -С. 4-14.
5. Литвин В.Т., Рощин П.В. Изучение влияния растворителя «Нефрас С2-80/120» на реологические свойства парафинистой высоковязкой нефти Петруховского месторождения//Материалы научной сессии ученых Альметьевского государственного нефтяного института. -2013. -Т.1. -№ 1. -С. 127-130.
6. Полищук Ю.М., Яценко И.Г. Высоковязкие нефти: анализ пространственных и временных изменений физико-химических свойств // Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело». 2005 №1. [Электронный ресурс]: [http://ogbus.ru/authors/PolishukYu/PolishukYu\\_1.pdf](http://ogbus.ru/authors/PolishukYu/PolishukYu_1.pdf) (дата обращения 15.11.2015).
7. Ольховская В.А., Сопронюк Н.Б., Токарев М.Г. Эффективность ввода в эксплуатацию небольших залежей нефти с неньютоновскими свойствами//Разработка, эксплуатация и обустройство нефтяных месторождений/Самара: Сборник научных трудов ООО «СамараНИПИнефть». -2010. -Вып.1. -С. 48-55.

8. Ольховская В.А. Подземная гидромеханика. Фильтрация неньютоновской нефти. -М.: ОАО «ВНИИОЭНГ», 2011. -224 с.
9. Рогачев М.К., Колонских А.В. Исследование вязкоупругих и тиксотропных свойств нефти Усинского месторождения//Нефтегазовое дело. -2009. -Т.7. -№1. -С.37-42.
10. Рошин П.В. Обоснование комплексной технологии обработки призабойной зоны пласта на залежах высоковязких нефтей с трещинно-поровыми коллекторами: дис. канд. техн. наук. -СПб., 2014. -112 с.
11. Рошин П.В., Петухов А.В., Васкес Карденас Л.К., Назаров А.Д., Хромых Л.Н. Исследование реологических свойств высоковязких и высокопарафинистых нефтей месторождений Самарской области. Нефтегазовая геология. Теория и практика. 2013. Т. 8. № 1. С. 12.
12. Рошин П.В., Рогачев М.К., Васкес Карденас Л.К., Кузьмин М.И., Литвин В.Т., Зиновьев А.М. Исследование кернового материала Печерского месторождения природного битума с помощью рентгеновского компьютерного микромографа SkyScan 1174V2. Международный научно-исследовательский журнал. 2013. № 8-2 (15). С. 45-48.
13. Рузин Л.М. Технологические принципы разработки залежей anomalно вязких нефтей и битумов / Л.М. Рузин, И.Ф. Чупров; Под ред. Н.Д. Цахая. Ухта, 2007. 244 с.
14. Petukhov A.V., Kuklin A.I., Petukhov A.A., Vasques Cardenas L.C., Roschin P.V. Origins and integrated exploration of sweet spots in carbonate and shale oil-gas bearing reservoirs of the Timan-Pechora basin. Society of Petroleum Engineers - European Unconventional Resources Conference and Exhibition 2014: Unlocking European Potential 2014. С. 295-305.
15. Pierre C. et al. Composition and heavy oil rheology //Oil & Gas Science and Technology. – 2004. – Т. 59. – №. 5. – С. 489-501.
16. Roschin P. V. et al. Experimental investigation of heavy oil recovery from fractured-porous carbonate core samples by secondary surfactant-added injection//SPE Heavy Oil Conference-Canada. - Society of Petroleum Engineers, 2013.
17. Roschin P.V., Zinoviev A.M., Struchkov I.A., Kalinin E.S., Dziwornu C.K. Solvent selection based on the study of the rheological properties of oil. Международный научно-исследовательский журнал. -2015. -№ 6-1 (37). -С. 120-122.

#### References

1. Devlikamov V.V., Habibullin Z.A., Kabirov M.M. Anomal'nye nefiti. -М.: Nedra, 1975. -168 s.
2. Zinov'ev A.M., Kovalev A.A., Maksimkina N.M., Ol'hovskaja V.A., Roshhin P.V., Mardashov D.V. Obosnovanie rezhima razrabotki zalezhi anomal'no vjazkoj nefiti na osnove kompleksirovaniya ishodnoj geologo-promyslovoj informacii//Vestnik CKR Rosnedra. -2014. -№3. -S. 15-23.
3. Zinov'ev A.M., Ol'hovskaja V.A., Kovalev A.A. Obosnovanie analiticheskoy modeli psevdoustanovivshegosja pritoka nelinejno vjazkoplastichnoj nefiti k vertikal'noj skvazhine//Vestnik CKR Rosnedra. -2013. -№2. -S. 40-45.
4. Zinov'ev A.M., Ol'hovskaja V.A., Maksimkina N.M. Proektirovanie sistem razrabotki mestorozhdenij vysokovjazkoj nefiti s ispol'zovaniem modeli nen'jutonovskogo techenija i rezul'tatov issledovaniya skvazhin na pritok//Neftepromyslovoe delo. -2013. -№1. -S. 4-14.
5. Litvin V.T., Roshhin P.V. Izuchenie vlijaniya rastvoritelja «Nefras S2-80/120» na reologicheskie svojstva parafinistoj vysokovjazkoj nefiti Petruhnovskogo mestorozhdenija//Materialy nauchnoj sessii uchenyh Al'met'evskogo gosudarstvennogo neftejanogo instituta. -2013. -Т.1. -№ 1. -S. 127-130.
6. Polishhuk Ju.M., Jashhenko I.G. Vysokovjazkie nefiti: analiz prostranstvennyh i vremennyh izmenenij fiziko-himicheskikh svojstv // Jelektronnyj nauchnyj zhurnal «Neftegazovoe delo». 2005 №1. [Jelektronnyj resurs]: [http://ogbus.ru/authors/PolishukYu/PolishukYu\\_1.pdf](http://ogbus.ru/authors/PolishukYu/PolishukYu_1.pdf) (data obrashhenija 15.11.2015).
7. Ol'hovskaja V.A., Sopronjuk N.B., Tokarev M.G. Jefferktivnost' vvoda v jekspluataciju nebol'shih zalezhej nefiti s nen'jutonovskimi svojstvami//Razrabotka, jekspluatacija i obustrojstvo neftejanых mestorozhdenij/Samara: Sbornik nauchnyh trudov OOO «SamaraNIPIneft'». -2010. -Vyp.1. -S. 48-55.
8. Ol'hovskaja V.A. Podzemnaja gidromehaniка. Fil'tracija nen'jutonovskoj nefiti. -М.: ОАО «ВНИИОЭНГ», 2011. -224 с.
9. Rogachev M.K., Kolonskih A.V. Issledovanie vjazkouprugih i tиксотропных свойств нефти Усинского месторождения//Нефтегазовое дело. -2009. -Т.7. -№1. -С.37-42.
10. Roshhin P.V. Obosnovanie kompleksnoj tehnologii obrabotki prizabojnoj zony plasta na zalezhah vysokovjazkih neftej s treshhinno-porovymi kolektorami: dis. kand. tehn. nauk. -SPb., 2014. -112 s.
11. Roshhin P.V., Petuhov A.V., Vaskes Kardenas L.K., Nazarov A.D., Hromyh L.N. Issledovanie reologicheskikh svojstv vysokovjazkih i vysokoparafinistyx neftej mestorozhdenij Samarskoj oblasti. Neftegazovaja geologija. Teorija i praktika. 2013. Т. 8. № 1. С. 12.
12. Roshhin P.V., Rogachev M.K., Vaskes Kardenas L.K., Kuz'min M.I., Litvin V.T., Zinov'ev A.M. Issledovanie kernovogo materiala Pecherskogo mestorozhdenija prirodnogo bituma s pomoshh'ju rentgenovskogo komp'juternogo mikrotomografa SkyScan 1174V2. Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal. 2013. № 8-2 (15). С. 45-48.
13. Ruzin L.M. Tehnologicheskie principy razrabotki zalezhej anomal'no vjazkih neftej i bitumov / L.M. Ruzin, I.F. Chuprov; Pod red. N.D. Chadaja. Uhta, 2007. 244 с.
14. Petukhov A.V., Kuklin A.I., Petukhov A.A., Vasques Cardenas L.C., Roschin P.V. Origins and integrated exploration of sweet spots in carbonate and shale oil-gas bearing reservoirs of the Timan-Pechora basin. Society of Petroleum Engineers - European Unconventional Resources Conference and Exhibition 2014: Unlocking European Potential 2014. С. 295-305.
15. Pierre C. et al. Composition and heavy oil rheology //Oil & Gas Science and Technology. – 2004. – Т. 59. – №. 5. – С. 489-501.
16. Roschin P. V. et al. Experimental investigation of heavy oil recovery from fractured-porous carbonate core samples by secondary surfactant-added injection//SPE Heavy Oil Conference-Canada. - Society of Petroleum Engineers, 2013.
17. Roschin P.V., Zinoviev A.M., Struchkov I.A., Kalinin E.S., Dziwornu C.K. Solvent selection based on the study of the rheological properties of oil. Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal. -2015. -№ 6-1 (37). -S. 120-122.

DOI: 10.18454/IRJ.2016.45.168

Шевченко О.Н.<sup>1</sup><sup>1</sup>ORCID: 0000-0003-1805-5969, аспирант,

Самарский государственный технический университет

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗНАЧЕНИЙ КРИТИЧЕСКИХ ГРАДИЕНТОВ ДАВЛЕНИЯ И СКОРОСТИ ФИЛЬТРАЦИИ НЕНЬЮТОНОВСКОЙ ЖИДКОСТИ***Аннотация*

Закон Дарси выполняется в определенном диапазоне скоростей фильтрации. Существуют некоторые предельные градиенты давления, при которых меняется режим фильтрационного течения. Для определения нижней границы линейной фильтрации был рассмотрен общий случай фильтрации нелинейно-вязко-пластичной жидкости. Произведен расчет для определения нижней границы применимости закона Дарси для месторождений, расположенных в пластах каменноугольного возраста.

**Ключевые слова:** предельный градиент давления, критическая скорость фильтрации.

Shevchenko O.N.<sup>1</sup><sup>1</sup>ORCID: 0000-0003-1805-5969, graduate,

Samara State Technical University

**THE DETERMINATION OF THE VALUES OF CRITICAL PRESSURE GRADIENTS AND VELOCITY FILTERING OF NON-NEWTONIAN FLUID***Abstract*

Darcy's law is in a certain range of filtration velocities. There are some marginal pressure gradients, in which change the mode of a filtration flow. A general case of nonlinear filtering-visco-plastic fluid was examined to determine the lower limit of linear filtering.

**Keywords:** maximum pressure gradient, the critical speed of filtration.

Известно, что закон Дарси выполняется при определенных условиях. Существует нижняя граница применимости закона Дарси, которая зависит от физико-химических особенностей взаимодействия жидкости с твердым скелетом, а так же от неньютоновских реологических свойств жидкости [1,2,4].

Классическим примером закона фильтрации для неньютоновской жидкости является закон фильтрации с предельным (начальным) градиентом [3]. Этот закон записывается для вязкопластичной жидкости Бингама-Шведова в виде [5,7]

$$\begin{aligned} \bar{V} &= -\frac{k}{\mu} \left( 1 - \frac{H}{|\text{grad} p|} \right) \text{grad} p \quad \text{нпу} \quad |\text{grad} p| \geq H, \\ \bar{V} &= 0 \quad \text{нпу} \quad |\text{grad} p| \leq H. \end{aligned} \quad (1)$$

Как следует из соотношений (1), фильтрационное течение возможно лишь при градиентах давления, превышающих некоторое значение  $H$ , которое называется предельным градиентом. При меньших значениях градиента давления фильтрационное течение отсутствует. Величина начального градиента зависит от предельного напряжения сдвига жидкости  $\tau_0$  и эффективного диаметра капилляра  $d_{\text{эф}}$ .

Данный закон фильтрации более общего вида, чем соотношение (1) был рассмотрен в работе [5]. Графическое представление данного закона представлено на (рис.1). На данном графике выделяется три участка: ОА - область, где жидкость фильтруется с малой скоростью и наибольшей вязкостью из-за практически неразрушенной структуры, наблюдается явление ползучести; АБ - область, здесь скорость фильтрации резко увеличивается; БВ - область, где жидкость фильтруется с полностью разрушенной структурой и наименьшей вязкостью. Продолжение участка проходит через начало координат, что соответствует о ньютоновском характере течения. На данном графике выделяются два критических градиента давления:  $H_r$  - градиент давления, определяющий границу прочности практически не разрушенной структуры;  $H_T$  - градиент давления предельного разрушения структуры [12].

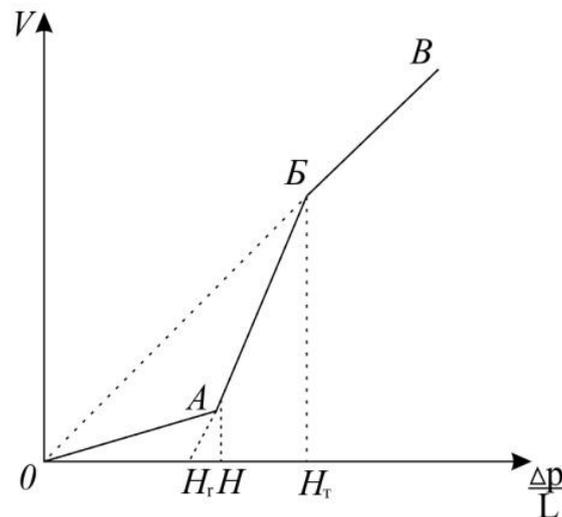


Рис. 1 – Зависимость скорости фильтрации от градиента давления для нелинейной вязкопластичной жидкости

Анализируя данную зависимость можно сделать следующий вывод: существует некоторое значение  $H$  - предельный градиента давления, при котором происходит изменение законов фильтрации жидкости. Этот предельный градиент зависит от свойств фильтрующейся жидкости. Известно, что неньютоновское поведение нефти в основном связано с повышенным содержанием в ней высокомолекулярных компонентов - асфальтенов, смол и парафина. Соответственно, для расчета критических градиентов давления нам необходимо будет знать:  $A$ ,  $C$  - массовое содержание в нефти асфальтенов и смол, % мас.;  $\Gamma_a$ ,  $\Gamma_m$ ,  $\Gamma_s$  - содержание в нефти соответственно растворенного азота, метана и этана  $\text{м}^3/\text{м}^3$ ;  $t$  - температуру нефти в пласте при которой происходит фильтрация,  $^\circ\text{C}$ ,  $k_n$  - нефтепроницаемость коллектора,  $\text{мкм}^2$ . Для расчета критических градиентов давления, воспользуемся эмпирическими зависимостями представленными для нефтей карбона месторождений Татарии, так как в основном большинство залежей располагается именно в пластах каменноугольного возраста [9,7,10,11].

Таблица 1 – Эмпирические зависимости для нефтей карбона месторождений Татарии

Параметр	Расчетная зависимость
Предельное динамическое напряжение сдвига дегазированной нефти, Па	$\theta_0 = a \cdot \frac{A}{C}, a = 0,033$
Предельное динамическое напряжение сдвига нефти с учетом количества и состава растворенного газа, Па	$\theta'_0 = \theta_0 \left[ 1 + 0,286 \left( \frac{A}{C} \right)^{0,9} (1,1\Gamma_a + 0,8\Gamma_m + 0,7\Gamma_s) \right]$
Предельное динамическое напряжение сдвига нефти при заданной температуре, Па	$\theta''_0 = \theta'_0 \left( \frac{22}{t} + 0,12 \right)$
Предельный градиент давления, МПа/м	$H = \frac{0,047}{k_n^{0,56}} \theta''$
Градиент давления предельного разрушения структуры, МПа/м	$H_T = \beta + \alpha H$ , где $\alpha = 1,33 \cong 1,39$ , $\beta = 0,0004(4 - 6) \cdot 10^{-4} \text{ МПа/м}$
Т.к. в нефти часто содержится парафин, то расчетный предельный градиент давления корректируется с помощью зависимости, МПа/м	$H_{кр} = 3,0 \cdot 10^{-4} + 1,81 \cdot H$

Произведем расчет особенностей фильтрации для двух нефтей. Залежь Доброго месторождения Волгоградской области расположена в пределах тиманского возраста, а так же для залежи Авиловского месторождения.

Таблица 2 – Параметры месторождений

Наименование параметра	Значение	
	Доброе месторождение	Авиловское месторождение
Пластовое давление, МПа	70,50	20,88
Пластовая температура, °С	122	56
Массовое содержание в нефти асфальтенов, %	0,04	0,08
Массовое содержание в нефти смол, %	3,36	2,15
Массовое содержание в нефти парафинов, %	2,2	3,89
Содержание в нефти растворенного азота, м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup>	0,729	0,974
Содержание в нефти растворенного метана, м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup>	142,012	45,4
Содержание в нефти растворенного этана, м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup>	29,866	2,202
Плотность пластовой нефти, кг/м <sup>3</sup>	641	698
Динамическая вязкость пластовой нефти, мПа·с.	0,73	0,551
Проницаемость, мкм <sup>2</sup>	217,9·10 <sup>-3</sup>	220·10 <sup>-3</sup>

Результаты расчетов сведем в таблицу 3.

Таблица 3 – Результаты расчетов

Параметр	Расчеты	
	Доброе месторождение	Авиловское месторождение
$\theta_0$ , Па	0,000393	0,001227
$\theta_0'$ , Па	0,001	0,002
$\theta_0''$ , Па	0,0003	0,001
H, МПа/м	0,00033	0,0001
$H_t$ , МПа/м $\alpha = 1,36$ $\beta = 5 \cdot 10^{-4}$ МПа / м	0,0009488,	0,00063
$H_t$ коррект, МПа/м при $H_{кр} = 0,0008973$	0,001720 $H_{кр} = 0,0008973$	0,001154 $H_{кр} = 0,000481$

Соответственно нам известен предельный градиент давления и градиент предельного разрушения структуры. Для залежей тиманского горизонта Доброго месторождения и для Авилковского месторождения, сведем все основные данные в таблицу 4.

Таблица 4 – Основные данные для расчета

Параметры	Доброе месторождение	Авиловское месторождение
Динамическая вязкость пластовой нефти, Па·с	0,73·10 <sup>-3</sup>	0,551·10 <sup>-3</sup>
Проницаемость, м <sup>2</sup>	217,9·10 <sup>-12</sup>	220·10 <sup>-12</sup>
m – пористость среды %	8,7	17,8
Предельный градиент давления МПа/м, при котором происходит нарушение закона Дарси.	0,0008973	0,000481
Градиент давления предельного разрушения структуры, МПа/м	0,001720	0,001154

Таблица 5 – Значение скоростей фильтрации для нижней границы применимости закона Дарси

Параметры	Доброе месторождение	Авиловское месторождение
$\bar{V}_{Hr}$ , м/с (по уравнению Бингама- Шведова)	$0,415 \cdot 10^{-3}$	$0,420 \cdot 10^{-3}$
$\bar{V}_{Hr}$ , м/с (по уравнению Бингама- Шведова)	$0,169 \cdot 10^{-3}$	$0,152 \cdot 10^{-3}$

Вычислим значения скоростей фильтрации по уравнению Бингама-Шведова для нижней границы применимости закона фильтрации Дарси, построим графическую зависимость скорости фильтрации от градиента давления для Доброго и Авилковского месторождений.



Рис. 2 – Графическая зависимость скорости фильтрации от градиента давления для Доброго месторождения



Рис. 3 – Графическая зависимость скорости фильтрации от градиента давления для и Авилковского месторождения.

В результате произведенных расчетов можно описать методику определения нижней границы применимости закона фильтрации Дарси:

1. Определим расчетным методом: предельное давление насыщения дегазированной нефти, Па; предельное давление насыщения нефти с учетом количества и состава растворенного газа, Па; предельное давление насыщения нефти при заданной температуре, Па; предельный градиент давления, МПа/м; градиент давления предельного разрушения структуры, МПа/м.

2. Вычислим значения скоростей фильтрации по уравнению Бингама-Шведова, для нижней границы применимости закона фильтрации Дарси.

3. Для наглядного представления построим зависимость скорости фильтрации от градиента давления.

**Заключение**

Определение нижней границы применимости закона Дарси актуально для средне и высоковязких нефтей, для нефтей как Доброго, так и Авиловского месторождений определение данной границы не актуально, так как получившийся интервал значений весьма мал.

Нефти Авиловского и Доброго месторождений являются линейной-вязкопластичной жидкостью, что наглядно продемонстрировано на рисунках 2 и 3.

#### **Литература**

1. Абдулвагабов А.И. О режимах движения жидкостей и газов в пористой среде // Известия вузов. – 1961. – № 2. – С. 8-13.
2. Басниев К.С., Кочина И.Н., Максимов В.М.. Подземная гидромеханика - М.: Недра,1993. – 416 с.
3. Белолипецкий В.М., Бекежанова В.Б.. Некоторые вопросы теории фильтрации и гидродинамической устойчивости: Учебное пособие по практическим занятиям - Красноярск, 2007. - 55 с
4. Герасимов Д.С. Основные определения и понятия фильтрации жидкостей и газов среды и границы применимости закона Дарси: методическое пособие -Тюмень : ТюмГНГУ, 2013. – 41с
5. Девликамов В.В., Хабибуллин З.А., Кабилов М.М. Аномальные нефти -Москва: Недра, 1975. — 168 с
6. Желтов Ю.П. Разработка нефтяных месторождений.-М:Недра, 1986 г. - 330 с.
7. Каневская Р.Д. Математическое моделирование гидродинамических процессов разработки месторождений углеводородов.- М, 2002 г - 140 с.
8. Коллинз Р. Течение жидкостей через пористые материалы.- Москва, 1964 г- 345 л.
9. Миллионщиков М. Д., Христианович С. А., Гальперин В. Г., Симонов Л. А .Прикладная газовая динамика: В 2-х частях. Часть 1. - М., 1948. — 146 с
10. Ольховская В. А. Подземная гидромеханика. Фильтрация неньютоновской нефти. - Москва: ОАО "ВНИИОЭНГ", 2011. - 221 с.
11. Павловский Н.Н. Курс гидравлики. Часть 1.- Кобуч 1933г. 180 с

#### **References**

1. Abdulvagabov A.I. O rezhimah dvizhenija zhidkostej i gazov v poristoj srede // Izvestija vuzov. – 1961. – № 2. – С. 8-13.
2. Basniev K.S., Kochina I.N., Maksimov V.M.. Podzemnaja gidromehanika - M.: Nedra,1993. – 416 s.
3. Belolipeckij V.M., Bekezhanova V.B.. Nekotorye voprosy teorii fil'tracii i gidrodinamicheskoj ustojchivosti: Uchebnoe posobie po prakticheskim zanjatijam - Krasnojarsk, 2007. - 55 s
4. Gerasimov D.S. Osnovnye opredelenija i ponjatija fil'tracii zhidkostej i gazov sredy i granicy primenjaemosti zakona Darsi: metodicheskoe posobie -Tjumen': TjumGNGU, 2013. – 41s
5. Devlikamov V.V., Habibullin Z.A., Kabirov M.M. Anomal'nye nef'ti -Moskva: Nedra, 1975. — 168 s
6. Zheltov Ju.P. Razrabotka nef'tjanyh mestorozhdenij.-M:Nedra, 1986 g. - 330 s.
7. Kanevskaja R.D. Matematicheskoe modelirovanie gidrodinamicheskix processov razrabotki mestorozhdenij uglevodorodov.- M, 2002 g - 140 s.
8. Kollinz R. Techenie zhidkostej cherez poristye materialy.- Moskva, 1964 g- 345 l.
9. Millionshnikov M. D., Hristianovich S. A., Gal'perin V. G., Simonov L. A .Prikladnaja gazovaja dinamika: V 2-h chastjah. Chast' 1. - M., 1948. — 146 s
10. Ol'hovskaja V. A. Podzemnaja gidromehanika. Fil'tracija nen'jutonovskoj nef'ti. - Moskva: ОАО "VNIIOJeNG", 2011. - 221 s.
11. Pavlovskij N.N. Kurs gidravliki. Chast' 1.- Kobuch 1933g. 180 s

DOI: 10.18454/IRJ.2016.45.104

Ширеторова Н. А.

Аспирант, ФГБОУ ВО «Бурятская ГСХА им.В.Р.Филиппова»

## ОБЗОР ОСНОВНЫХ МЕТОДОВ ОБЕЗВРЕЖИВАНИЯ НЕФТЕСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В РОССИИ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ В РЕСПУБЛИКЕ БУРЯТИЯ

*Аннотация*

*В статье рассмотрены механические, термические, химический, экстракционный, метод сорбции и микробиологические методы обезвреживания нефтесодержащих отходов. Путем проведения опроса предпринимателей Республики Бурятия, специализирующихся на переработке отходов, и анализа собранной информации было выявлено, что в основном ими используются сжигание нефтесодержащих отходов, а также один из наиболее перспективных методов борьбы с нефтяными загрязнениями – интродукция углеводородокисляющих микроорганизмов в загрязненную нефтепродуктами почву.*

**Ключевые слова:** нефтесодержащие отходы, обезвреживание, сжигание, химическая нейтрализация, биологическое обезвреживание.

Shiretorova N.A.

Postgraduate student, FSBEI HE “Buryat State Academy of Agriculture named after V.Philippov”

## MAIN METHODS DISPOSAL OF OILY WASTE USED IN RUSSIA AND THEIR APPLICATION IN THE REPUBLIC BURYATIA

*Abstract*

*The article deals with mechanical, thermal, chemical, extraction, adsorption method and microbiological methods for disposal of oily waste. By conducting a survey of entrepreneurs of the Republic of Buryatia specialized in waste treatment, and analysis of the information gathered revealed that they mainly used the burning of oily waste, as well as one of the most promising methods of combating oil pollution - introduction of hydrocarbon oxidizing microorganisms in soil contaminated with oil products.*

**Keywords:** oily waste, disposal, incineration, chemical neutralization, biological disposal.

Так как нефтесодержащие отходы широко распространены и очень опасны как загрязнители для окружающей среды, проблема их переработки и утилизации, а также ликвидации последствий загрязнения почв, грунтов чрезвычайно актуальна [1].

На протяжении всего жизненного цикла нефтепродуктов происходит их попадание в компоненты окружающей среды [2]. Как оценивают эксперты, в России происходит потери более 25 млн т нефти и 12 млн т нефтепродуктов ежегодно, из которых собирается и перерабатывается менее 10% [3].

Вместе с тем нефтесодержащие отходы – это ценное сырье, содержащее углеводороды в значительных количествах. Поэтому крайне необходимо извлекать и использовать нефтепродукты из нефтесодержащих отходов [4].

Целью настоящего исследования является обзор основных методов обезвреживания нефтесодержащих отходов, применяемых в России, а также анализ распространения данных методов в Республике Бурятия.

На основании изучения и анализа литературы по теме исследования была проведена классификация методов обезвреживания нефтесодержащих отходов. Проанализировав статистические сведения об обращении с отходами производства и потребления, сдаваемые ежегодно хозяйствующими субъектами Республики Бурятия в Управление Росприроднадзора выявлены основные виды нефтесодержащих отходов, образуемых на территории республики.

Путем проведения опроса предпринимателей, специализирующихся на переработке отходов, и анализа собранной информации были выявлены основные используемые ими способы обезвреживания нефтесодержащих отходов.

Результаты исследования и их обсуждение. Сбор и утилизация нефтеотходов, отработанных масел и технических жидкостей являются неотъемлемой частью природоохранной деятельности субъектов Российской Федерации [2]. Законодательство большинства стран мира, в том числе Российской Федерации, заинтересовано в стимулировании вовлечения промышленных отходов в хозяйственный оборот в качестве вторичных ресурсов [5]. Однако, несмотря на принимаемые государственными органами меры, устанавливающие запреты при обращении с нефтесодержащими отходами в целях охраны окружающей среды, многими недобросовестными природопользователями они не соблюдаются.

Проведя обзор методов обезвреживания нефтесодержащих отходов, применяемых в России, методы были условно поделены на следующие группы: механические; термические; физико-химические; микробиологические.

Механические методы предусматривают локализацию объекта загрязнения, обваловку загрязненной территории, сбор разлившегося нефтепродукта, выемку и перемещение нефтеотходов для временного хранения.

Термические методы основаны на сжигании нефтесодержащих отходов. В отечественной и зарубежной практике применяются различные методы термического обезвреживания: каталитическое сжигание, переработка в псевдоожиженном слое; дожигание в специальных высокотемпературных камерах, низкотемпературный крекинг с раздельным восстановлением твердых и жидких фракций, пиролиз и др. [1]. При ликвидации загрязнений нефтью почв, грунтов используется способ термического уничтожения или выжигания нефтепродуктов. Однако данный способ приводит к загрязнению окружающей среды опасными токсичными соединениями, а также увеличивает сроки восстановления почвы. При сжигании нефтесодержащих отходов происходит их термическое разложение, при котором выделяются дымовые газы и сухие твердые озоленные продукты, пригодные для захоронения на полигонах [2].

К физико-химическим методам относятся химический, экстракционный методы и метод сорбции.

Химический метод основан на адсорбции нефтепродуктов специальными препаратами (например, разработанный в России препарат «Эконафт»). С помощью этого метода токсичные углеводороды нефти превращаются в

относительно нетоксичные соединения [6]. При обезвреживании и нейтрализации токсичных отходов препаратом «Эконафт» образуется сухое, стойкое при хранении порошкообразное вещество.

Экстракционный метод основан на извлечении нефтяных углеводородов из нефтесодержащих отходов с помощью специально подобранных экстрагентов. В качестве экстрагентов применяют легкие фракции нефтепродуктов, горячую воду, перегретый водяной пар, моющие средства и т.д. [6].

Сорбционный метод предусматривает использование сорбирующих материалов, самыми распространенными из которых являются песок, опилки, торф. В настоящее время создаются различные сорбционные материалы для сбора нефтепродуктов. При данном методе нефть проникает в полости сорбента при непосредственном контакте и заполняет весь его объем. Нефтепродукт собирается в связанном сорбентом виде. Однако, любые виды сорбентов после однократного или многократного использования нуждаются в утилизации. Это является одной из главных проблем их применения [1].

Микробиологические методы обезвреживания нефтесодержащих отходов основаны на способности некоторых микроорганизмов разлагать углеводородные соединения нефти с получением экологически нейтральных веществ. Имеется два направления применения данных методов: 1) повышение активности естественной микрофлоры почв путем создания для аборигенных микроорганизмов оптимальных условий жизнедеятельности; 2) интродукции (внедрения) в загрязненную почву специально подобранных активных разрушителей нефтепродуктов (деструкторов) [6]. Отечественная промышленность изготавливает биопрепараты на основе активных микроорганизмов-деструкторов: «Бациспектин», «Деворойл», «Экойл», «Путидойл», «Нафтокс», «Центрин» и др. [6].

Основным недостатком биологических методов является тот факт, что зачастую в нефтесодержащих отходах содержатся инертные к биологическому разложению компоненты [2].

Для обезвреживания нефтесодержащих отходов в качестве базовых в основном используются термические и химические методы [7].

На примере предприятий Республики Бурятия рассмотрим, насколько широко распространены вышеперечисленные методы обезвреживания нефтесодержащих отходов.

В республике нефтесодержащие отходы в основном представлены отработанными автомобильными воздушными, масляными, топливными фильтрами, различными отработанными маслами, загрязненной ветошью, песком и опилками, шламом очистки трубопроводов и емкостей от разнородных нефтепродуктов, шламом из нефтеуловителей.

Основная масса нефтесодержащих отходов образуется при проведении ремонта технологического оборудования, обслуживании автотранспортных средств, при зачистке стальных вертикальных и горизонтальных резервуаров, сборе грунта с мест разливов жидких нефтепродуктов.

В Республике Бурятия некоторыми предприятиями для сжигания нефтесодержащих отходов используется сертифицированная мобильная установка «Форсаж-2М». В данной установке сжигаются следующие виды отходов: опилки древесные и обтирочный материал, загрязненные нефтепродуктами; шламы нефти и нефтепродуктов; песок, загрязненный нефтепродуктами; всплывающая пленка из нефтеуловителей (бензиноуловителей); шлам очистки трубопроводов и емкостей от разнородных нефтепродуктов; сальниковая набивка асбесто-графитовая, промасленная; автомобильные масляные, воздушные, топливные фильтры отработанные; отработанные эмульсии и эмульсионные смеси для шлифовки металлов, содержащие нефтепродукты.

В установке «Форсаж-2М» не разрешается сжигать легковоспламеняющиеся вещества (бензин, растворители, лакокрасочные изделия), а также галогеносодержащие отходы и отходы, содержащие тяжелые металлы [8].

Температура горения в установке достигает около 1000 °С. Благодаря этому сводится к минимуму содержание загрязняющих веществ в отходящих газах. При этом происходит практически полное сгорание отходов, остаток в виде золы составляет не более 3-5% от объема загруженного осадка [9].

Водогрейный газогенераторный Котел «ГеККОН-100» широко применяется предприятиями на территории Республики Бурятия для использования отходов синтетических и минеральных масел; отходов жиров (смазок) и парафинов из минеральных масел; шламов минеральных масел; отработанных моторных, авиационных, промышленных, трансмиссионных, трансформаторных, компрессорных, турбинных, гидравлических масел.

Сжигание отработанных нефтепродуктов производится в камере сгорания котла. Сначала в зоне пиролиза котла жидкое топливо разлагается на газы, состоящие из CO+H<sub>2</sub>, затем в зоне дожига происходит окисление этих газов до углекислого газа и воды. Температура горения в котле достигает 1500-1800 °С. Максимальный расход топлива котла (отработанные нефтепродукты) составляет 3-10 л/час.

Топка котла не приспособлена для сжигания легких углеводородов: бензина, растворителей, спиртов и пр.

С позиций экологии менее приемлемым является использование нефтепродуктов и, в частности, отработанных масел в качестве топлива. Но этот вариант в настоящее время наиболее экономически выгоден [2].

Также некоторыми предпринимателями используются и биологические методы очистки нефтесодержащих отходов. Так, к примеру, для очистки загрязненного нефтепродуктами грунта используется биопрепарат «Деворойл». «Деворойл» относится к комплексным препаратам, т.е. состоит из нескольких видов углеводородокисляющих микроорганизмов [1].

Интродукция углеводородокисляющих микроорганизмов в загрязненную нефтепродуктами почву – один из эффективных, наиболее перспективных и экологически чистых методов борьбы с нефтяными загрязнениями [1].

Загрязненную нефтепродуктами поверхность обрабатывают путем распыления рабочей суспензии препарата «Деворойл».

В результате обработки биопрепаратом загрязненной почвы нефть окисляется до экологически чистых нейтральных продуктов [10].

Как указывает производитель, комплекс агротехнических мероприятий таких как рыхление и полив загрязненных почв, внесение минеральных удобрений, а также посев трав с разветвленной корневой системой стимулируют рост микроорганизмов, что в свою очередь ускоряет процесс разложения нефти и нефтепродуктов.

Заключение. Нефтедержащие отходы в настоящее время создают серьезную проблему для всех компонентов окружающей среды. Нефтедержащие отходы, содержащие в своем составе большое количество токсичных веществ, постоянно накапливаются в процессе работы различных предприятий всех сфер промышленности, где есть технологическое оборудование, на автотранспортных предприятиях и в частном автотранспорте.

Несмотря на то, что в настоящее время существует достаточное количество методов, а также их комбинаций для эффективного обезвреживания и утилизации нефтедержащих отходов, на предприятиях Республики Бурятия данные методы находятся только на стадии внедрения. В течение длительного времени предпочтение отдается сжиганию нефтедержащих отходов, которое не всегда является экологически чистым.

#### Литература

1. Черняховский, Э.Р. Управление экологической безопасностью [Текст]: Учебно-практическое пособие / Э.Р. Черняховский. – Москва: Издательство «Альфа-Пресс», 2007. – 248 с.
2. Графкина, М.В. Экология и экологическая безопасность автомобиля [Текст]: учебник / М.В. Графкина, В.А. Михайлов, К.С. Иванов. – Москва: ФОРУМ, 2009. – 320 с.
3. Новые технологические решения для переработки нефтешламов в нефтегазовом секторе России [Текст]/ А.Г. Ишков [и др.] // Экология и промышленность России. – 2012. – №9. – С. 14.
4. Бобович, Б.Б. Комплексная утилизация нефтедержащих отходов [Текст]/ Б.Б. Бобович, Г.Г. Новахов, А.А. Гусев // Экология и промышленность России. – 2013. – №7. – С. 30-33.
5. Установки для утилизации нефтешламов / А.Г. Ишков [и др.] // Экология и промышленность России. – 2012. – №9. – С. 18-23.
6. Основы инженерной экологии [Текст]: учебное пособие / В.В. Денисов [и др.]; под ред. проф. В.В. Денисова. – Ростов-на-Дону: Феникс, 2013. – 623 с.
7. Рудник, М.И. Мобильный автоматизированный комплекс по обезвреживанию и утилизации нефтеотходов [Текст]/ М.И. Рудник, О.В. Кичигин // Экологический вестник России. – 2010. – №6. – С. 26.
8. Установки для сжигания промышленно-бытовых отходов серии «Форсаж» [Электронный ресурс] // ООО «ЭКОсервис-НЕФТЕГАЗ»: [офиц. сайт]. – Режим доступа: [http://www.ecooilgas.ru/ru/catalogue/04/cat\\_04\\_02.php](http://www.ecooilgas.ru/ru/catalogue/04/cat_04_02.php) (дата обращения: 20.01.2016).
9. Афанасьев, О.М. Переработка жидких нефтедержащих отходов в топливный экологический композит [Текст]/ О.М. Афанасьев, А.В. Панин // Экологический вестник России. – 2010. – №10. – С. 26.
10. Биологический препарат Деворойл [Электронный ресурс] // ООО «Сити Строй»: [офиц. сайт]. – Режим доступа: <http://sitistroi.ru/devoroil> (дата обращения: 20.01.2016).

#### References

1. Chernyakhovskii E.R. Upravlenie ekologicheskoi bezopasnost'yu (Management by ecological safety), Moscow, "Al'fa-Press" Publ., 2007, 248 p.
2. Grafkina M.V., Mikhailov V.A., Ivanov K.S. Ekologiya i ekologicheskaya bezopasnost' avtomobilya (Ecology and car environmental safety), Moscow, FORUM Publ., 2009, 320 p.
3. Ishkov A.G., Akopova G.S., Strekalova L.V., Panteleev D.V. Novye tekhnologicheskie resheniya dlya pererabotki nefteshlamov v neftegazovom sektore Rossii (New technological solutions for the processing of sludge in the oil and gas sector in Russia), Ekologiya i promyshlennost' Rossii, 2012, No. 9, p. 14.
4. Bobovich B.B., Novakhov G.G., Gusev A.A. Kompleksnaya utilizatsiya neftesoderzhashchikh otkhodov (Integrated disposal of oily waste), Ekologiya i promyshlennost' Rossii, 2013, No. 7, pp. 30-33.
5. Ishkov A.G., Akopova G.S., Kozlov S.I., Popov P.B., Pyskalov I.N. Ustanovki dlya utilizatsii nefteshlamov (Installations for the disposal of oil sludge), Ekologiya i promyshlennost' Rossii, 2012, No. 9, pp. 18-23.
6. Denisov V.V., Denisova I.A., Gutenev V.V., Fesenko L.N. Osnovy inzhenernoi ekologii (Environmental engineering fundamentals), Rostov-on-Don, Feniks Publ., 2013, 623 p.
7. Rudnik M.I., Kichigin O.V. Mobil'nyi avtomatizirovannyi kompleks po obezvrezhivaniyu i utilizatsii nefteotkhodov (Mobile automated system for the disposal and recycling of oil waste), Ekologicheskii vestnik Rossii, 2010, No. 6, p. 26.
8. Ustanovki dlya szhiganiya promyshlenno-bytovykh otkhodov serii "Forsazh". URL: [http://www.ecooilgas.ru/ru/catalogue/04/cat\\_04\\_02.php](http://www.ecooilgas.ru/ru/catalogue/04/cat_04_02.php) (accessed: 20.01.2016).
9. Afanas'ev O.M., Panin A.V. Pererabotka zhidkikh neftesoderzhashchikh otkhodov v toplivnyi ekologicheskii kompozit (Processing of oily waste in liquid fuel environmental composite), Ekologicheskii vestnik Rossii, 2010, No. 10, p. 26.
10. Biologicheskii preparat Devoroil. URL: <http://sitistroi.ru/devoroil> (accessed: 20.01.2016).