



**НАУЧНЫЙ  
ФОРУМ**  
nauchforum.ru

ISSN: 2541-8394



**№6(25)**

**НАУЧНЫЙ ФОРУМ:  
ТЕХНИЧЕСКИЕ И ФИЗИКО-  
МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ**

МОСКВА, 2019



# НАУЧНЫЙ ФОРУМ: ТЕХНИЧЕСКИЕ И ФИЗИКО- МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

*Сборник статей по материалам XXV международной  
научно-практической конференции*

№ 6 (25)  
Июнь 2019 г.

Издается с декабря 2016 года

Москва  
2019

УДК 51/53+62

ББК 22+3

НЗ4

Председатель редколлегии:

*Лебедева Надежда Анатольевна* – доктор философии в области культурологии, профессор философии Международной кадровой академии, г. Киев, член Евразийской Академии Телевидения и Радио.

Редакционная коллегия:

*Ахмеднабиев Расул Магомедович* – канд. техн. наук, доц. кафедры строительных материалов Полтавского инженерно-строительного института, Украина, г. Полтава;

*Данилов Олег Сергеевич* – канд. техн. наук, научный сотрудник Дальневосточного федерального университета;

*Маршалов Олег Викторович* – канд. техн. наук, начальник учебного отдела филиала ФГАОУ ВО "Южно-Уральский государственный университет" (НИУ), Россия, г. Златоуст.

**НЗ4 Научный форум: Технические и физико-математические науки:** сб. ст. по материалам XXV междунар. науч.-практ. конф. – № 6 (25). – М.: Изд. «МЦНО», 2019. – 46 с.

ISSN 2541-8394

Статьи, принятые к публикации, размещаются на сайте научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU.

ISSN 2541-8394

ББК 22+3

© «МЦНО», 2019

## **Оглавление**

<b>Раздел 1. Технические науки</b>	<b>5</b>
<b>1.1. Информатика, вычислительная техника и управление</b>	<b>5</b>
ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССА ТРАНСПОРТИРОВКИ ЖИДКОГО ЧУГУНА МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРЕДПРИЯТИЯ Виноградов Константин Олегович	5
МНОГОПОДХОДНАЯ МОДЕЛЬ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СПРОСА НА ПРОДУКЦИЮ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ Горчакова Дарья Андреевна	9
ПОВЫШЕНИЕ ВРЕМЕНИ ПРОКАТА УСТАНОВОК ЭЛЕКТРОЦЕНТРОБЕЖНЫХ НАСОСОВ МЕТОДАМИ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ Пилипенко Олег Геннадьевич	14
<b>1.2. Транспорт</b>	<b>19</b>
АНАЛИЗ БЕЗОПАСНОСТИ РАБОТЫ ПРОМЫСЛОВЫХ ТРУБОПРОВОДОВ Агадуллина Диана Ильдаровна	19
<b>1.3. Энергетика</b>	<b>23</b>
ВЕТРОЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ СТАНЦИЯ В СОСТАВЕ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ КАЗАХСТАНА Шингисов Нурсултан Нуралбаевич Ильясов Рамиль Махмудович	23
<b>Физико-математические науки</b>	<b>30</b>
<b>Раздел 2. Физика</b>	<b>30</b>
<b>2.1. Приборы и методы экспериментальной физики</b>	<b>30</b>
ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ ГАЗОВОЙ СМЕСИ В ОТКРЫТЫХ ТРУБАХ Алексеев Максим Михайлович Семенов Олег Юрьевич	30
ОПТИЧЕСКИЙ ДАТЧИК ТЕМПЕРАТУРЫ НА ОСНОВЕ ПОЛЯРИЗАЦИОННОГО ЭФФЕКТА Заводовский Александр Геннаьевич	37

<b>2.2. Физика конденсированного состояния</b>	<b>41</b>
ИНЕРЦИОННАЯ ПОЛЯРИЗАЦИЯ ДИЭЛЕКТРИКА ПРИ ЕГО ВРАЩЕНИИ	41
Заводовский Александр Геннаьевич	

## ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

### РАЗДЕЛ 1.

## ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

### 1.1. ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

#### ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССА ТРАНСПОРТИРОВКИ ЖИДКОГО ЧУГУНА МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

*Виноградов Константин Олегович*

*аспирант,  
Череповецкий государственный университет,  
РФ, г. Череповец*

#### FEATURES OF THE PROCESS OF TRANSPORTING LIQUID IRON OF A METALLURGICAL PLANT

*Konstantin Vinogradov*

*Post-graduate student,  
Cherepovets State University,  
Russia, Cherepovets*

**Аннотация.** В статье рассматривается задача транспортировки жидкого чугуна в чугуновозных ковшах и миксерах-чугуновозах на металлургических предприятиях. В результате анализа было выявлено, что наибольшее влияние на качественную транспортировку жидкого чугуна оказывает ручное управление движением и вводом данных о количестве перевозок каждого ковша или миксера.

**Abstract.** The article deals with the problem of transporting molten iron in iron-sculpted ladles and mixer-chugunovoz at metallurgical enterprises. As a result of the analysis, it was found that manual control of the movement and input of data on the number of shipments of each bucket or mixer has the greatest impact on the quality transport of liquid iron.

**Ключевые слова:** жидкий чугун; миксер; логистика; методы оптимизации.

**Keywords:** molten iron; mixer; logistics; optimization methods.

Конвертерный цех любого металлургического завода самым тесным образом связан с цехами, которые поставляют ему шихтовые, добавочные и вспомогательные материалы, окислительные, восстановительные и нейтральные (инертные) газы, материалы не прямого назначения. Тесно связан он и с прокатными цехами, которые получают непрерывным потоком стальные полосы (в частности – слябы). Но особое внимание обращено на доменный цех [2, с. 32].

Не смотря на множественные исследования по созданию автоматизированных систем контроля положения миксеров, на практике отслеживание введётся операторами визуально, с последующим ручным управлением движения и вводом данных о количестве перевозок каждого ковша или миксера. Таким образом, актуальна задача разработки нового алгоритма процесса движения миксеров, с целью сокращения межоперационных простоев технологического процесса транспортирования для обеспечения нормального ритма основного производства.

Цикличность плавов и выпусков доменных печей не совпадают, это несовпадение сглаживается оперативным запасом чугуна в миксере, и чугуном который находится в процессе транспортирования. Характерной особенностью материального потока жидкого чугуна является отсутствие фазы промежуточного складирования на стадии его зарождения (непосредственный слив чугуна из доменной печи в транспортное средство) и весьма ограниченные возможности «складирования» на стадии его погашения (миксер конвертерного цеха).

Количество локомотивов и миксеров зависящие от длительности операций и особенно межоперационных простоев технологического процесса транспортирования чугуна не всегда обеспечивают нормальный ритм основного производства. Это приводит к значительным производственным потерям и свидетельствует о необходимости повышения качества принимаемых управленческих решений и использования для этого имитационных моделей рассматриваемого процесса, более точно отражающих существующее положение с учетом интересов всех участников потокового процесса.

В настоящее время существует большое количество методов оптимизации движения миксеров и их различных модификаций. В этой статье не ставится цель детально исследовать эти методы и привести их очередную классификацию, а предлагается кратко рассмотреть лишь примеры их реализации, которые применяются для решения логистической задачи транспортировки чугуна на современных металлургических предприятиях

В статье «Информационная технология процесса контроля перевозки жидкого чугуна» Н.Ю. Емельянова в качестве метода решения предлагают использование информационной технологии контроля перевозки жидкого чугуна, которая осуществляется с помощью инструментального средства информационной технологии – программного обеспечения. Инструментальное средство разработано по типу клиент-серверной архитектуры, с помощью среды C++ Builder. Специализированное программное обеспечение осуществляет обработку полученных данных и на их основании осуществляет вычисления точной массы жидкого чугуна, а также рекомендации по выбору оптимального режима эксплуатации миксера (режим ремонта, обслуживания, дополнительного осмотра и т. д.). Вычисленные данные поступают в базу данных для хранения и дальнейшего накопления опыта для экспертной системы. После операций обработки и вычисления полученная информация направляется в цеха для ее визуализации, на компьютеры операторов [2].

В статье «An Improved Artificial Bee Colony Algorithm for Solving Hybrid Flexible Flowshop With Dynamic Operation Skipping» Jun-qing Li, рассматривает задачу планирования и транспортировки жидкого чугуна на металлургический комплекс «Baosteel» (Шанхай). В качестве решения предлагается усовершенствованный алгоритм дискретной искусственной пчелиной колонии. Решение представлено на основе двух векторов, а также разработан механизм динамического кодирования.

Su L. «Integrated batch planning optimization based on fuzzy genetic and constraint satisfaction for steel production». В статье автор рассматривает проблему эффективности планирования сталеплавильного производства. В качестве решения разработан улучшенный алгоритм, основанный на методах нечёткой логики. Затем проведён численный анализ полученных результатов до и после использования разработанного алгоритма. В качестве среды моделирования использовался пакет Matlab. Результаты численного исследования показывают, что предлагаемый улучшенный нечеткий генетический алгоритм может значительно улучшить производительность предприятия.



Гусев Ю.В., Гусев Д.Ю. «Математическая модель процесса транспортирования чугуна в конвертерный цех». В статье автор поднимает проблему не совпадения цикличность плавков конвертерного цеха и выпусков доменных печей, несовпадение сглаживается оперативным запасом чугуна в миксере, и чугуном который находится в процессе транспортирования [1].

Для решения проблемы перебоев поставок чугуна автор проводит исследование с целью разработать принципы построения модели, учитывающей технологические параметры производственного и транспортного процессов, характеристики и количество оборудования и подвижного состава. Результатом исследования автора является математическая модель транспортирования чугуна, представленная в общем виде.

Bin Ge, Kai Wang, Yue Han « A design for simulation model and algorithm of rail transport of molten iron in steel enterprise». В качестве решения задачи транспортировки жидкого чугуна автор предлагает использовать алгоритм «оптимизации подражанием муравьиной колонии» (ant colony optimization, ACO). Суть подхода заключается в анализе и использовании модели поведения муравьёв, ищущих пути от колонии к источнику питания и представляет собой мета эвристическую оптимизацию. В статье авторы выводят собственный алгоритм, основанный на методе ACO. Основными характеристиками являются: численность колонии, состоящей из  $N$  муравьёв (миксеры), пространство  $S$  (железнодорожные пути) и точки  $x_i$  (местоположение  $i$ -го муравья в пространстве  $S$ ). Полученный алгоритм компилируется в среде MatLab 7.0, в качестве исходных данных взяты характеристики реально существующего предприятия (какого именно не уточняется). Согласно выводам авторов статьи результаты свидетельствуют о полном исключении вероятности столкновения локомотивов и существенном уменьшении простоев.

Проблема оптимизации транспортировки жидкого чугуна из доменного цеха в конвертерный актуальна для многих металлургических предприятий. Наиболее популярными методами решения рассмотренной задачи являются алгоритмы, основанные на нечёткой логике, математическое моделирование, имитационное моделирование. Решение данной задачи позволит: уменьшить риски, связанные с возможностью возникновения аварийных ситуаций во время транспортировки жидкого чугуна, уменьшить время простоев сталеразливочного оборудования; увеличить срок полезного использования оборудования.

### Список литературы:

1. Гусев Ю.В. Математическая модель процесса транспортирования чугуна в конвертерный цех // СПб: Питер, 2007. С. 287–293.

2. Емельянова Н.Ю. Информационная технология процесса контроля перевозки жидкого чугуна // Системы обработки информации. 2010 № 9(90) С. 32–36.
3. Bin Ge. A design for simulation model and algorithm of rail transport of molten iron in steel enterprise // Computer modelling & new technologies. 2014 № 11(18) С. 1056-1061.
4. Jun-qing Li. An Improved Artificial Bee Colony Algorithm for Solving Hybrid Flexible Flowshop With Dynamic Operation Skipping. IEEE transactions on cybernetics. 2016 № 6(46) С. 1311–1324.
5. Su.L. Integrated batch planning optimization based on fuzzy genetic and constraint satisfaction for steel production // School of Electronics and Information Engineering, Xi'an Jiaotong University. 2016 С. 133–143.

## **МНОГОПОДХОДНАЯ МОДЕЛЬ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СПРОСА НА ПРОДУКЦИЮ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ**

*Горчакова Дарья Андреевна*

*аспирант,*

*Череповецкий государственный университет,*

*РФ, г. Череповец*

## **MULTI-APPROACH MODEL FORECASTING DEMAND FOR METALLURGICAL PRODUCTS**

*Darya Gorchakova*

*postgraduate student,*

*Cherepovets State University,*

*Russia, Cherepovets*

**Аннотация.** В данной статье рассматривается проблема прогнозирования спроса на продукцию металлургической отрасли. Рассмотрены применяемые методы прогнозирования и выявлены их недостатки. Предложена многоподходная модель прогнозирования, включающая в себя: агентное моделирование, нечёткую регрессионную модель и дискретно-событийное моделирование. Предложенный метод прогнозирования позволяет комплексно учесть факторы и события, влияющие на поведение спроса в металлургии и повышает точность прогнозирования.

**Abstract.** This article deals with the problem of forecasting demand for the products of the metallurgical industry. The applied forecasting methods are considered and their shortcomings are revealed. A multi-approach prediction model is proposed and it includes: agent-based modeling, a fuzzy regression model, and discrete-event modeling. The proposed method of forecasting allows you to comprehensively take into account factors and events that affect the behavior of demand in the metallurgy and improves the accuracy of forecasting.

**Ключевые слова:** прогнозирование; регрессионный анализ; металлургия; агентное моделирование; дискретно-событийное моделирование.

**Keywords:** forecasting; regression analysis; metallurgy; agent modeling; discrete-event modeling.

Успех коммерческого предприятия в условиях современного рынка зависит от подробного знания рынка товара, способности анализировать и прогнозировать результаты модификации каких-либо его параметров и показателей. Особенностью металлургической отрасли является специфика продукции, используемого сырья и технологий. Необходимость в прогнозировании поставок металлургической отрасли напрямую связана с объёмом продаж. Предприятию требуется проводить анализ их производственных возможностей с целью выявления необходимого объёма производства, сравнивая с показателями спроса потенциальных покупателей (для этого производят прогнозирование поставок (спроса) на продукцию на будущие периоды) [3].

Особое значение в металлургической отрасли имеет долгосрочное прогнозирование спроса. Наличие долгосрочного плана спроса в чёрной металлургии, базируется на понимании тенденций рынка. В настоящее время при прогнозировании спроса применяются методы математического моделирования, такие как:

- декомпозиция временного ряда спроса: выделение трендовой, сезонной, автокорреляционной и случайной составляющих;
- факторный подход, основанный на регрессионной модели: выделение существенных факторов спроса, количественная оценка их влияния на основе регрессии, построение прогноза экзогенных факторов и спроса.

В металлургической отрасли наблюдается дефицит исследований в области применения аппаратов прогнозирования спроса. Отчасти это обусловлено высокой монополизацией рынка. Процесс информатизации и глобализации общества изменяют действующие социально-экономические системы. Как следствие – металлургические предприятия

вынуждены начать поиск оптимальных путей внедрения процесса планирования в свою деятельность.

Исследованиям проблемы прогнозирования поставок посвящены труды многих ученых. Среди зарубежных специалистов заслуженным авторитетом пользуются такие авторы как М. Портер, И. Ансофф, Дж. Хикс, Ж.-Ж. Ламбен, Р. Баззел, Е. Мансфилд, М. Басс. Среди отечественных исследователей наиболее существенен вклад Л.И. Абалкина, А.Г. Гранберга, А.И. Анчишкина, Ю.В. Яременко, С.С. Шаталина, В.В. Ивантера, В.В. Денискина, В.В. Гусева, В.Б. Дасковского, А.Н. Жигалова, М.Д. Магомедова и многих других [1, 2, 5, 7, 9, 10].

Исследование прогнозирования спроса в чёрной металлургии с помощью факторного анализа проведено в работе З.М. Магруповой [8] (доктор экономических наук, профессор ФГБОУ ВО ЧГУ). Тема: «Анализ и прогнозирование конъюнктуры рынка металлопродукции». В работе рассмотрен анализ спроса на отраслевом рынке, процесс прогнозирования, оценка ёмкости рынка ПАО «Северсталь», ОАО НЛМК и ОАО ММК.

Примером комплексного применения анализа временных рядов и факторного анализа служит исследование О.Н. Кононовой [6]. В работе предложено использовать в качестве основного фактора спроса на сталь коэффициент загрузки производственных мощностей. В процессе разработки были учтены автокорреляционные зависимости в динамике цены с помощью модели ARIMA.

Между тем при очевидной ценности имеющихся разработок, существующие методы оценки спроса исследуют, на наш взгляд, не все аспекты взаимосвязи факторов, определяющих его величину. В настоящее время нерешённым является вопрос о прогнозировании спроса, позволяющем учитывать в себе не только экономические переменные, но и производственные параметры и портрет потребителя.

Математические методы позволяют выявить зависимости объекта прогнозирования (плана спроса) от факторных переменных. Ключевым является то, что данные параметры должны быть выражены в виде числовых переменных либо качественных (которые должны быть преобразованы в числовые): курс доллара, цены на сырьё, значение НДС, цена и т. д.

Недостаток применения традиционных в среде практиков металлургической отрасли методов математического прогнозирования состоит в том, что данные модели не учитывают:

- портрет потребителя;
- поведение потребителя;
- производственные возможности предприятия и др.

При экономическом анализе с применением математических моделей фактор неопределённости часто игнорируется и решение принимается на основании анализа детерминированных моделей, в предположении, что все факторы, влияющие на экономическую ситуацию, известны точно. В результате решения, принятые на основании таких моделей, приводят к значительным экономическим потерям. При проведении исследований, цель которых заключается в экономическом прогнозе на несколько лет, необходимо учитывать фактор неопределённости, который неизбежно сопутствует такого рода прогнозам и усложняет анализ.

Процесс прогнозирования спроса оптимально разбивать на составные части и описывать, применяя разные методы. Невозможно достоверно передать сложный процесс и его внутренние и внешние связи, используя один подход – некоторые элементы приходится исключать или искать обходные пути при моделировании [4]. Оптимальным является использование многоподходного процесса прогнозирования с применением следующих методов (рис. 1):

1. Агентное моделирование для визуализации множества индивидуальных объектов (покупателей) и присвоения им характеристик.
2. Нечёткая регрессионная модель для прогнозирования спроса на будущие периоды с применением факторных переменных.
3. Дискретно-событийное моделирование для визуализации производства заказов клиента, производственного процесса и ограничений производственных возможностей предприятия.



**Рисунок 1. Модель многоподходного имитационного моделирования**

В предлагаемой многоподходной имитационной модели прогнозирования спроса предлагается комплексное использование агентного, дискретно-событийного моделирования и системной динамики. Предложенный метод прогнозирования позволяет комплексно учесть факторы и события, влияющие на поведение спроса в металлургии. Простота использования модели прогнозирования позволяет быстро произвести настройку входных параметров, расчёт экономических предпосылок и стратегического плана производства крупной металлургической компании.

### Список литературы:

1. Абалкин Л.И. Эволюционная экономика в системе переосмысления базовых основ обществоведения [Текст] // М.: Наука. – 2000. – С. 7-14.
2. Ансофф И. Стратегическое управление: Учебник [Текст] – М.: Экономика, 2010. – 303 с.
3. Баззел Р.Д. Информация и риск в маркетинге: Учебник [Текст] – М.: Финстатинформ, 2013. – 414 с.
4. Горчакова Д.А. Многоподходное имитационное моделирование как средство анализа и прогнозирования спроса на продукцию металлургической отрасли [Текст] / В.А. Шабалов // М.: череповецкие научные чтения – 2017 (21-22 ноября 2017 г.): Материалы Всероссийской науч.-практ. конференции (Часть 3). Череповец. – 2018. – С. 59-62.
5. Гранберг А.Г. Статистическое моделирование и прогнозирование: Учебник [Текст] – М.: Финансы и статистика, 2000. – 383 с.
6. Кононова О.Н. Планирование спроса [Текст] // М.: Северсталь. – 2014. – № 2. – С. 3-5.
7. Ламбен Ж.-Ж. Менеджмент, ориентированный на рынок: Учебник [Текст] – М.: Питер, 2014. – 721 с.
8. Магруппова З.М. Анализ и прогнозирование конъюнктуры рынка металлопродукции: Учебное пособие [Текст] – М.: ГОУ ВПО ЧГУ, 2013. – 215 с.
9. Портер М. Международная конкуренция: Учебник [Текст] / Пер. с англ. / Под ред. и с предисл. В.Д. Щетинина. – М.: Международные отношения, 2003. — 896 с.
10. Хикс Дж. Р. Четыре излишка потребителя. // Вехи экономической мысли. Том 1. Теория потребления и спроса: Учебник [Текст] / Пер. с англ. / Под ред. В.М. Гальперина. – М.: СПб: Экономическая школа, 2000. – 345 с.

## **ПОВЫШЕНИЕ ВРЕМЕНИ ПРОКАТА УСТАНОВОК ЭЛЕКТРОЦЕНТРОБЕЖНЫХ НАСОСОВ МЕТОДАМИ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ**

*Пилипенко Олег Геннадьевич*

*соискатель*

*Московский Физико-Технический Институт (НИЦ)*

*РФ, г. Москва*

## **IMPROVING THE PRODUCTION OF ELECTRIC CENTRIFUGAL PUMP BY MACHINE LEARNING METHODS**

*Oleg Pilipenko*

*aspirant*

*Moscow Physic and Technique Institute*

*Russia, Moscow*

В статье рассматриваются методы машинного обучения, как средство анализа данных, получаемых оператором с целью выявления аномалий и повышения эффективности работы насосного оборудования электроцентробежного типа. Современное нефтегазодобывающее предприятие способно вырабатывать около 1 Тб данных в день, однако использование накопленного ресурса происходит не оптимальным образом. Как правило, данные складываются в базу данных и по запросу компании-добытчика происходит выгрузка для НИИ, с целью анализа. Предлагается подход предиктивного предсказания возможности возникновения аварийной ситуации в режиме реального времени.

Статистка аварий установок электроцентробежного насоса (УЭЦН) говорит о том, что среднее время проката насоса составляет около двух лет. Причем гарантийными случаями считается, если насос не проработал года. Этот факт, а также то, что количество установок УЭЦН в России постоянно растет с темпом 10 тысяч в год данная проблема предполагает возникновение проблемной ситуации комплексного характера.

В статье не описываются конструкционные особенности УЭЦН, а рассматриваются типы аварий, наиболее важные параметры, влияющие на срок службы насоса и результаты применения методов машинного обучения к данным оператора для предсказания поломки.

Среди всех типов аварий УЭЦН можно выделить семь основных [2]:

1. Отказы по причине солеотложения. Эта проблема стала более актуальной ввиду прогрессирующего роста обводнённости нефти в последние годы на месторождениях России.

2. Отказы из-за высокой концентрации взвешенных частиц. Большое количество частиц приводит к уменьшению сечения насосно-компрессорных труб.

3. Повреждение кабельной линии. Бывают двух типов 1 – механические, 2 – коррозионные.

4. Отказ НКТ.

5. Проблема отказа погружного электродвигателя (ПЭД) и гидрозащитой. Проблема заключается в том, что при срыве подачи ПЭД перегревается и иногда при этом прорывается диафрагма.

6. Замерзание обратного клапана.

7. Влияние газа на добычу.

Среди всех типов наиболее частыми являются 1, 4 и 5, которые, как показала практика применения методов машинного обучения, можно предиктивно предсказывать. Как правило причины возникновения аварии очень сильно коррелируют с следующими параметрами:

1. Давление на приеме насоса

2. Обводненность и газовый фактор

3. Температура нефти

4. Частота вращения ПЭД

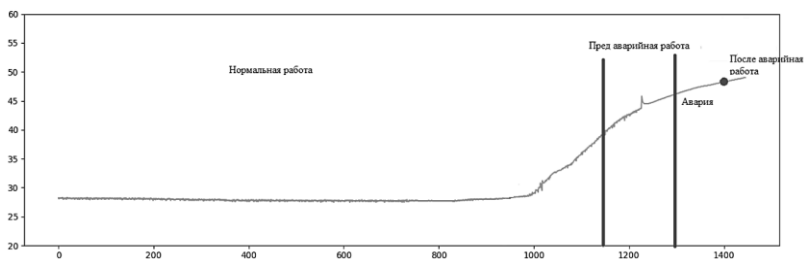
5. Вибрации ПЭД

6. Ток, напряжение и температура ПЭД

Для формирования методической базы формирования предлагаемого предиктивного подхода опробованы следующие методы машинного обучения: сверточная нейронная сеть (Convolutional Neural Network), Метод опорных векторов для одного класса (One Class SVM) [3], Метод главных компонент и анализ единичного спектра (PCA, SSA), Энергетическая генеративная нейронная сеть (EB-GAN). Однако наибольшее количество верных предсказаний смог сделать метод сверточных нейронных сетей. Все методы применены для предиктивного контроля поломок УЭЦН при этом использовалась практика подобная эвристическому прикладному подходу, рассмотренному в [1]. За основу нейросети взята архитектура Res-NET50. Концепция построения архитектуры Res-NET50 основана на идее обучения предсказания отклонения текущих слоев от предыдущих. Реализуется идея за счет добавления «identity» слоя в нейросеть на разных этапах обучения. Нейросеть данного типа выиграла соревнование Imagenet Recognition Challenge 2015 и стала стандартом де-факто при распознавании изображений.

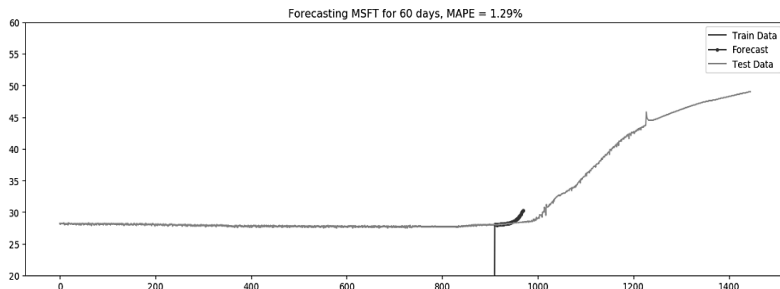


В нашем случае данные для обучения получены с реальных месторождений от разных нефтедобывающих компаний. Общее количество аварий 48. Временные ряды насчитывают от 1000 до 100000 отсчетов следующих параметров: давление на приеме насоса, частота вращения, сдвиг фаз напряжений, величина тока на обмотке мотора, температура мотора насоса, вибрации. Согласно классификации, определенной в [1] данные параметры, относятся к эксплуатационным данным и являются наиболее информативными. Заявленное количество аварий является слишком маленьким для того, чтобы было возможно обучить на них нейросеть, поэтому был сформирован дополнительный прикладной метод создания датасета, который позволяет сформировать из 50 поломок бесконечно большое количество данных ввиду того, что временной ряд имеет большую длину до аварии. Метод заключается в том, чтобы разделить каждый файл с информационным массивом данных на временные отрезки: нормальная работа, предаварийная работа, авария, после аварийная работа (рисунок 1).



**Рисунок 1. Информационный массив данных (временные отрезки)**

Рисунок 1 отражает логику сверточной нейросети которая использует случайное число во времени отсчета для попадания в один из классов. Далее происходит создание картинку как +100 временных отсчетов до сгенерированной точки и -100 после сгенерированной точки. На следующем этапе происходит отрисовка картинку и ее сохранение с присвоением класса, которому принадлежит сгенерированная центральная точка. В итоге получаются разные случаи формирования данных в каждом из классов и прежде всего в классе аварий.



**Рисунок 2. Результат предсказания алгоритма**

На рисунке 2 представлен результат работы алгоритма распознавания после обучения сверточной нейросети с архитектурой Res-NET50. Работа алгоритма строится так, чтобы окном определённого размера (в случае на картинке - 100 минут) и со сдвигом в 30 секунд, передвигаться по значениям ряда и строить изображение окна для нейронной сети. Далее сеть предсказывает на 100 минут вперед развитие тренда. Данное окно и горизонт предсказания можно увеличивать.

Обучение сверточной нейросети происходило в течение 100 эпох. Оценка точности работы алгоритма производилась посредством F-меры с параметром  $\beta=3$ , так как в нашем случае наиболее важна точность, а не полнота. Итоговый результат после 100 эпох обучения равен 97 % распознавания аномального поведения перед аварией. Результаты всех рассмотренных методов приведены в таблице 1.

**Таблица 1.**

**Сравнение работы методов машинного обучения  
на данных диспетчерских служб**

	Время обучения	Скорость работы	Точность работы
Convolutional NN	3,5 часа	<5 секунд	97%
One Class SVM	2 часа	3 секунды	93%
SSA, PCA	30 минут	<1 секунды	88%
Energy based GAN	5 часов	<1 секунды	91%

Полученные результаты показали, что некоторые из методов машинного обучения способны выявлять аномалии в данных и предсказывать их появление за несколько часов до аварии, однако для многих нефтедобывающих компаний такое высокое качество за три часа до аварии является неприемлемым, поэтому необходимо увеличить время предсказания минимум до 1 дня, чтобы решение могло бы принести для производителей нефти реальную ценность.

### **Список литературы:**

1. Hangqi Zhao, Jian Wang, Peng Gao: «A deep learning approach for condition-based monitoring and fault diagnosis of rod pump system», Services Transactions on Internet of Things, Vol. 01, Jun. 2017 (32-42).
2. S. Gupta, L. Sapitelli: «Applying Big Data Analytics to detect, diagnose and prevent impending failures in electric submersible pumps», Society of Petroleum Engineers, 2016.
3. M. Pennel, J. Hsiung: «Detecting failures and optimizing performance in artificial lift using machine learning models», SPE, 2018.

## 1.2. ТРАНСПОРТ

### АНАЛИЗ БЕЗОПАСНОСТИ РАБОТЫ ПРОМЫСЛОВЫХ ТРУБОПРОВОДОВ

*Агадуллина Диана Ильдаровна*  
магистрант, Пермский национальный  
исследовательский политехнический университет  
РФ, г. Пермь

### SAFETY ANALYSIS OF WORK OF THE FIELD PIPELINES

*Diana Agadullina*  
master's degree  
Perm National Research Polytechnic University  
Russia, Perm

**Аннотация.** В работе выполнен анализ безопасности эксплуатации промысловых трубопроводов. Выделены основные факторы, влияющие на показатели риска аварий. Предложен перечень основных мер, направленных на уменьшение риска аварий и ущерба.

**Abstract.** The article discusses safety analysis of process at field pipeline. The main factors influencing the risk indicators of accidents are highlighted. A list of basic measures aimed at reducing the risk of accidents is proposed.

**Ключевые слова:** промысловые трубопроводы; анализ безопасности; риск аварий.

**Keywords:** field pipelines; safety analysis; risk of accidents.

Трубопроводный транспорт остается на сегодняшний день важнейшей составляющей частью системы снабжения промышленности, энергетики, транспорта и населения топливом и сырьем. Транспортировка газа, нефти и нефтепродуктов трубопроводным транспортом – это сложный технологический процесс, вызывающий необходимость в обеспечении надежной работы данных систем [1, с. 36].

В зависимости от задач, выполняемых трубопроводами их можно разделить на различные группы [2, с. 166] К одной из них относятся промышленные трубопроводы (ПТ). Промышленные трубопроводы — это капитальные инженерные сооружения, рассчитанные на длительный срок эксплуатации и предназначенные для бесперебойной транспортировки природного газа, нефти, нефтепродуктов, воды и их смесей от мест их добычи (начальная точка трубопровода до установок комплексной подготовки и далее к местам врезки в магистральный трубопровод или для подачи на другой вид транспорта — железнодорожный, речной, морской [3].

Одна из главных проблем, с которой сталкиваются при эксплуатации трубопроводов – это их изношенность, неудовлетворительное состояние, как следствие – многочисленные отказы и аварии.

Проблемы (негативные риск образующие события), сопровождающие эксплуатацию промышленных трубопроводов в т. ч. отказ, полная или частичная потеря работоспособности могут происходить в процессе эксплуатации, и связаны с несколькими факторами [4]:

- потеря проектных характеристик;
- ошибки при проектировании;
- эксплуатация ПТ, не соответствующая проектным решениям;
- негативные воздействия третьих лиц или ошибки обслуживающего персонала;
- отказ систем, единиц оборудования в т. ч. резервных из-за которых в будущем может произойти полная остановка ПТ;
- утечка, разгерметизация элементов ПТ;
- отказ вспомогательных систем, обеспечивающих обнаружение неисправностей, отказов и снижения последствий отказов в т. ч. системы КИПиА, пожаротушения и сигнализации;
- прочее.

Вероятность нарушения целостности следует считать основным риск-образующим событием для промышленных трубопроводов.

К наиболее значимым факторам, оказывающие влияние на показатели риска относятся:

- Наличие в трубопроводах большого количества пожаровзрывоопасных веществ (нефти, газа);
- Высокое давление, при котором проходят технологические процессы, способствует тому, что любые повреждения оборудования могут стать причиной разгерметизации оборудования с выбросом опасных веществ, образованием топливно-воздушных смесей, взрывами топливно-воздушных смесей, пожарами разлития, факельным горением;

- Человеческий фактор при эксплуатации, техническом обслуживании и диагностике оборудования;
  - Некачественная диагностика и не выявление дефектов во время эксплуатации;
  - Возможность механического повреждения трубопроводов, оборудования в результате ведения ремонтных или строительных работ.
- Предлагается перечень основных мер, направленных на уменьшение риска аварий:

1) Для уменьшения вероятности разгерметизации оборудования:

- строгое соблюдение параметров ведения технологического процесса, указанных в технологическом регламенте;
- периодическое техническое обслуживание, диагностика;
- контроль изоляции трубопроводов;
- качественное выполнение строительно-монтажных работ (в процессе проведения работ);
- ремонт и замена устаревшего оборудования (ежегодно – согласно плану реконструкции и капитального ремонта, планово-предупредительного ремонта);
- периодические проверки (с составлением акта) систем контроля параметров технологического процесса (ежемесячно);
- борьба с противоправными действиями 3-х лиц (техническая защита трубопроводов, патрулирование, взаимодействие с правоохранительными органами) (ежедневно).

2) Для уменьшения масштаба ущерба от аварий необходимо:

- осмотр трубопроводов с целью своевременного обнаружения разлития продуктов перекачки;
- систематическое обучение обслуживающего персонала четким действиям по ликвидации возможных аварий, проведение учебных тренировок по ПЛА и ПЛРН с отработкой практических действий в случае аварии;
- проведение периодических проверок (с составлением актов) наличия и исправности средств индивидуальной защиты, систем пожаротушения, технических средств ликвидации возможных аварий с их обновлением по мере необходимости (ежемесячно);
- совершенствование системы связи пунктов управления с подразделениями объекта, пожарной частью;
- совершенствование систем оповещения при авариях;
- подготовка персонала объекта к действиям в условиях возникновения аварии или ЧС.

### **Список литературы:**

1. Гунькина Т.А., Полтавская М.Д. Эксплуатация магистральных нефтепроводов и нефтехранилищ: практикум. Ставрополь: Издательство СКФУ, 2016. – 144 с.
2. Земенков Ю.Д., Васильев Г.Г., Дудин С.М. Справочник инженера по эксплуатации нефтегазопроводов и продуктопроводов. Москва: Инфра-Инженерия, 2006. — 928 с.
3. Студенческая библиотека. URL: <https://students-library.com/library/read/49425-promyslovye-truboprovody> (Дата обращения 13.05.2019).
4. СП 366.1325800.2017 Промысловые трубопроводы. Оценка технических решений на основе анализа риска [Электронный ресурс]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/550965735> (Дата обращения 13.05.2019).

### 1.3. ЭНЕРГЕТИКА

#### ВЕТРОЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ СТАНЦИЯ В СОСТАВЕ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ КАЗАХСТАНА

*Шингисов Нурсултан Нуралбаевич*

*магистрант,  
Южно-Казахстанский государственный университет,  
Республика Казахстан, г. Шымкент*

*Ильясов Рамиль Махмудович*

*канд. техн. наук, доцент,  
Южно-Казахстанский государственный университет  
Республика Казахстан, г. Шымкент*

**Аннотация.** Топливо-энергетический комплекс Казахстана является энергодефицитным. Для снижения энергодефицита в работе предлагается строительство крупной ВЭС в районе озера Капчагай суммарной мощностью 40 МВт. В работе приводится: обоснование выбора площадки под строительство ВЭС по данным предварительно рассчитанных ветроэнергетических ресурсов южной части Казахстана на высоте 10 м; выбор модели ВЭУ и их количества в составе ВЭС.

**Abstract.** The fuel and energy complex of Kazakhstan is energy-deficient. To reduce the energy deficit, it is proposed to build a large wind farm in the area of lake Kapchagay with a total capacity of 40 MW. The paper presents: the rationale for the choice of site for the construction of wind farms according to the pre-calculated wind resources of the southern part of Kazakhstan at an altitude of 10 m; the choice of the model of wind farms and their number in the wind farm.

**Ключевые слова:** ветроэлектрическая станция; вертикальный профиль ветра; коэффициент Хеллмана; энергия ветра; энергоэффективность.

**Keywords:** wind power plant; vertical wind profile; Hellman coefficient; wind energy; energy efficiency.

Для выбора перспективных площадок под строительство ВЭС в Казахстане был проведен расчет ветроэнергетического потенциала по многолетним рядам наблюдений (с 1999 г. по н. в.) за скоростью



(на высоте 10 м) и направлениями ветра на площадках 46-и наземных метеостанций (МС) с сайта «Погода России» [2].

Были рассчитаны следующие основные энергетические характеристики ветра: среднемноголетняя скорость ветра  $V_0$ , удельная валовая мощность  $N_{уд}$ , коэффициент вариации  $C_V$ . По территории южной части Казахстана они меняются в широком диапазоне:  $V_0$  от 0,2 м/с (МС Лепсинск) до 4,5 м/с (МС Екпинди);  $N_{уд}$ : 2-300 Вт/м<sup>2</sup>. На основе результатов расчета были построена карта с распределением среднемноголетней скорости ветра на высоте 10 м, Анализ ветровых ресурсов по территории южной части Казахстана выявил, что оптимальной зоной для размещения ВЭС является Алматинская область. В этой области относительно высокие ветра на высоте 10 метров.

Проанализировав эти данные, были предложены следующий вариант местоположения площадки ВЭС на побережье Капчагайского водохранилища МС Екпинди:

При выборе площадки ВЭС помимо ветровой активности учитывалась транспортная доступность площадки и возможность присоединения ВЭС к существующей ЛЭП (220 кВ).

Большинство известных математических моделей вертикального профиля ветра (ВПВ) основаны на эмпирических формулах и коэффициентах, справедливых только для определенной территории.

Для разработки моделей ВПВ авторами была выбрана степенная зависимость:

$$\frac{V(h_2)}{V(h_1)} = \left(\frac{h_2}{h_1}\right)^m, \quad (1)$$

где:  $V(h_2)$  и  $V(h_1)$  – скорость ветра соответственно на высотах  $h_2$  и  $h_1$  над поверхностью земли в рассматриваемой точке;  $m$  – показатель степени (в зарубежной литературе показатель Хеллмана), зависящий от скорости ветра, рельефа местности, стратификации атмосферы и т. д. Точность моделирования ВПВ степенной функцией зависит в первую очередь от значения показателя Хеллмана  $m$ .

Для получения математической модели определения показателя степени для условий площадки ВЭС были использованы данные 4-х аэрологических станций (АМС) Казахстана и Киргизии из СБД «Вертикальный профиль ветра» [3], расположенные в радиусе до 300 км от выбранной площадки ВЭС, координаты которых и удаление от площадки ВЭС приведены в таблице 1. Критериями выбора АМС в качестве аналога для площадки ВЭС являются: удаление АМС от площадки ВЭС и идентичности рельефа местности на площадках АМС и ВЭС. Определение идентичности рельефа на площадках АМС и ВЭС производится сравнением высотных отметок и общих закономерностей

формирования скорости ветра при сопоставлении годового хода среднемесячных значений скорости ветра на высоте 10 м.

Поскольку средний уровень скорости ветра на площадках АМС и ВЭС неодинаков, то производилось сравнение нормированных значений скорости ветра  $K_l^V$ , которые определялись по формуле:

$$K_l^V = \bar{V}_l / \bar{V}_o, \quad (2)$$

где:  $l$  – порядковый номер месяца;  $\bar{V}_l$  – среднемесячные значения скорости ветра на площадке (АМС и ВЭС);  $\bar{V}_o$  – среднемноголетняя скорость ветра на площадке. Годовой ход ветра на 4-х АМС  $\bar{V}_l^{AMC}$  был получен из СБД «Вертикальный профиль ветра», а на площадке ВЭС  $\bar{V}_l^A$  определялся по данным наблюдений на МС Екпинди  $V_{Ai}$  в  $i$ -ом месяце.

Критерием соответствия годового хода скорости ветра на площадках АМС и ВЭС является выполнение в течение года условия:

$$\delta_l = \left| \frac{K_l^{BЭС} - K_l^{AMC}}{K_l^{BЭС}} \right| \cdot 100 \leq (10 \div 20)\% , \quad (3)$$

где:  $\delta_l$ , % - относительная погрешность, которая не должна превышать точность округления данных с сайта «Расписание Погоды» (10 ÷ 20%);  $K_l^{BЭС}$  и  $K_l^{AMC}$ , о. е. – нормированные значения скорости ветра на высоте 10 м на площадках ВЭС и АМС соответственно.

В таблице 2 и на рисунке 1 представлены многолетние среднемесячные значения скорости ветра на АМС (1974-1986 гг) и на МС Екпинди (2009-2017 гг.) в о.е.

**Таблица 1.**

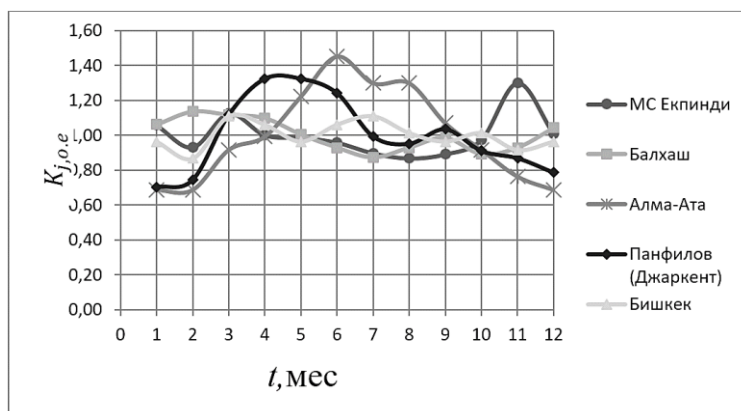
**Координаты АМС и их удаление от площадки ВЭС**

Ближайшие АМС	Расстояние между МС и АМС, км	Координаты		Высотная отметка, м		
		φ, с.ш.	Ψ, в.д.	АМС	МС	Разница
Балхаш	245	46,9	75	350	533	183
Алма-Ата	75	43,2	76,9	851	533	318
Панфилов	50	44,2	80,1	643	533	110
Бишкек	252	42,8	74,6	828	533	295

Таблица 2.

**Многолетние среднемесячные значения скорости ветра на АМС  
(1974-1986 гг) и на МС Екпинди (2009-2017 гг.) в о.е.**

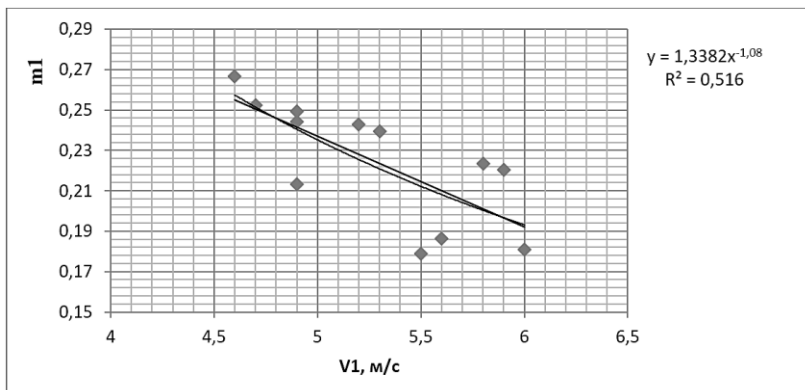
Месяцы	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Сред.	min	max
МС Екпинди	1,1	0,93	1,12	1,00	0,99	0,96	0,90	0,87	0,89	1	1,30	1,01	1,0	0,87	1,3
Балхаш	1,1	1,14	1,12	1,10	1,00	0,93	0,87	0,93	0,99	0,9	0,93	1,04	1,0	0,87	1,1
Алма-Ата	0,7	0,69	0,92	0,99	1,22	1,45	1,30	1,30	1,07	0,9	0,76	0,69	1,0	0,7	1,4
Панфилов	0,7	0,74	1,12	1,32	1,32	1,24	0,99	0,95	1,03	0,9	0,87	0,79	1,0	0,7	1,3
Бишкек	0,96	0,87	1,11	1,06	0,96	1,06	1,11	1,01	0,96	1,1	0,92	0,96	1,0	0,87	1,1
$\sigma$ (Балхаш),%	0,31	22,2	0,52	9,86	1,83	3,07	2,82	7,04	10,6	8,6	28,6	3,37	8,2	0,31	28,7
$\sigma$ (Алма-Ата),%	35	26,1	18,4	0,72	23,9	51,5	44,8	49,7	20,0	5,9	41,2	31,8	29,1	0,72	51,5
$\sigma$ (Панфилов),%	33,5	20	0,63	32,3	34,2	29,5	10,7	9,67	16,1	6,6	33,2	22,1	20,7	0,63	34,2
$\sigma$ (Бишкек),%	8,92	6,83	1,41	5,94	2,32	10,6	23,5	16,6	8,14	3,8	29,6	4,44	10,2	1,41	29,6



**Рисунок 1. Годовые вариации скорости ветра по данным МС  
Екпинди и четырех ближайших АМС**

Наименьшие отклонения годовой вариации скорости ветра на площадках 4-х ближайших АМС и МС Екпинди (см.табл. 2 и рисунок 3) получились на площадке АМС Балхаш. Следовательно, из всех АМС Балхаш можно рассматривать в качестве аналога для МС Екпинди.

По данным среднегодичных среднемесячных скоростей на высотах 10 и 100 м на АМС Балхаш была построена эмпирическая зависимость  $m_1(\bar{V}_1)$  и получена аппроксимирующая ее зависимость в виде степенной зависимости (рисунок 2):  $m_1 = 1,338 \cdot V_1^{-1,08}$



**Рисунок 2. Эмпирическая и аппроксимирующая зависимости  $m_l(\bar{V}_1)$  на площадке АМС Балхаш**

Выбор модели ветроэлектрической установки (ВЭУ) должен производиться на основе технико-экономического обоснования. Но поскольку в данной работе расчет экономических показателей не производился, то выбор модели ВЭУ производился по критериям энергоэффективности с учетом климатического исполнения и класса безопасности ВЭУ в соответствии с ИЕС61400-1 из 3-х предварительно отобранных вариантов ВЭУ (табл. 3). В соответствии с проведенными расчетами на площадке ВЭС могут быть установлены только ВЭУ I класса безопасности для условий холодного климата (УХЛ исполнение). В качестве основного критерия энергоэффективности был выбран критерий: максимальное значение коэффициента использования установленной мощности ВЭУ  $K_{izm}$ , рассчитываемый по формуле:

$$K_{izm} = \mathcal{E}_{ВЭУ}(T) / (N_{ВЭУ}^{ум} \cdot T) , \quad (4)$$

где:  $N_{вэу}$  – установленная мощность ВЭУ,  $\mathcal{E}_{ВЭУ}(T)$ - энергия, вырабатываемая ВЭУ за период времени  $T$  (один год) определяется выражением:

$$\mathcal{E}_{ВЭУ}(T) = \sum_{i=1}^k N_{ВЭУ}(V_i^{ВЭУCh}) \cdot \Delta t_i , \quad (5)$$

где:  $V_i^{ВЭУCh}$  - модельные средние скорости ветра на высоте оси ветроколеса  $h$  на площадке ВЭС;  $k$  - количество наблюдений в год,  $\Delta t_i$  – интервал времени.

В качестве дополнительного критерия использовался показатель удельной энергии с единицы ометаемой площади  $\mathcal{E}_{взу,уд}$ :

$$\mathcal{E}_{взу}^{уд} = \frac{\mathcal{E}_{взу}^{год}}{F_{вк}}. \quad (6)$$

Годовая выработка единичных ВЭУ определялась по их паспортным энергетическим характеристикам ВЭУ для стандартных условий по модельному ряду скорости ветра с 3 часовым интервалом времени за 2009 год [5]. Основные энергетические показатели выбранных вариантов ВЭУ представлены в таблице 3.

Таблица 3.

### Основные показатели энергоэффективности вариантов ВЭУ

Фирма	Enercon	Made	Made
	E82/2300	G87/2000	G78/2000
$N_{уст}$ , кВт	2300	2000	2000
$H_6$ , м	98	100	78
$D_{рк}$ , м	82	120	101
$F$ , м <sup>2</sup>	5281	5944,7	5944,7
$\mathcal{E}_{взу}$ , кВт·ч	7806782,4	7819412,4	7245774,5
$K_{нум}$	0,39	0,45	0,41
$\mathcal{E}_{взу}^{уд}$ , кВт·ч/м <sup>2</sup>	1478	1315	1218

Окончательно для установки на площадке ВЭС была выбрана модель ВЭУ “Made G87/2000” в количестве 20 штук. Для расстановки ВЭУ на площадке ВЭС учитывалась многолетняя «роза ветров», которая имеет преобладающее 3-е направление ветра.

Таблица 4.

### Многолетняя «роза ветров» на площадке ВЭС

Румб	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ
$t(\vec{V})$ , %	5,54	19,11	15,41	3,11	6,83	27,34	16,2	6,46

В пределах выбранной площадки было определено максимально возможное количество ВЭУ ( $Z$ ) с учетом выбранных расстояний между рядами ВЭУ и рельефа местности: количество ВЭУ на площадке ВЭС составляет 20 штук (см. рисунок 6). Тогда годовая выработка электроэнергии от ВЭС  $\mathcal{E}_{ВЭС}$  составит:  $\mathcal{E}_{ВЭС} = 7819412,4 * 20 = 156388$  МВт. ч в год.

### Список литературы:

1. [https://ru.wikipedia.org/wiki/Энергетика\\_Казахстана](https://ru.wikipedia.org/wiki/Энергетика_Казахстана) URL: Российский метеорологический сайт «Расписание Погоды» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.rp5.ru>.
2. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2012620870. Специализированная база данных «Вертикальный профиль ветра» / Васьков А.Г., Дерюгина Г.В., Тягунов М.Г., Чернов Д.А.; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Национальный исследовательский университет "МЭИ" - №2012620664; заявл. 28.06.2012; опубл. 28.08.2012.
3. ГОСТ Р 54418.12.1-2011 Возобновляемая энергетика. Ветроэнергетика. Установки ветроэнергетические. Измерение мощности, вырабатываемой ветроэлектрическими А. Основные характеристики ветра. Ресурсы ветра и методы их расчета: учебное пособие / – М.: Издательство МЭИ, 2012 г.
4. Дерюгина Г.В., Малинин Н.К., Пугачев Р.В., Шестопалова Т.А. Основные характеристики ветра. Ресурсы ветра и методы их расчета: учебное пособие / – М.: Издательство МЭИ, 2012 г.

## **ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ**

### **РАЗДЕЛ 2.**

### **ФИЗИКА**

#### **2.1. ПРИБОРЫ И МЕТОДЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ФИЗИКИ**

#### **ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ ГАЗОВОЙ СМЕСИ В ОТКРЫТЫХ ТРУБАХ**

*Алексеев Максим Михайлович*

*канд. физ.-мат. наук,  
Сургутский государственный университет,  
РФ, г. Сургут*

*Семенов Олег Юрьевич*

*канд. физ.-мат. наук,  
Сургутский государственный университет,  
РФ, г. Сургут*

#### **INVESTIGATION OF THE CONCENTRATION DISTRIBUTION OF THE GAS MIXTURE IN OPEN PIPES**

*Maxim Alexeev*

*can. phys.-mat. sciences, Surgut State University,  
Russia, Surgut*

*Oleg Semenov*

*can. phys.-mat. sciences, Surgut State University,  
Russia, Surgut*

**Аннотация.** В статье предложен способ исследования утечек газа методом углового отклонения лазерного луча в потоке по изменению поперечного градиента концентрации газа в открытой с обоих торцов трубы – плоского прямоугольного канала. Получены изолинии концентрации исследуемого газа. Обнаружена зависимость углового отклонения луча лазера от скорости вытекания газа из трубы. Представлена практическая актуальность работы, связанная с разработками новых методов обнаружения утечек газов в шахтах, туннелях и вблизи нефтегазовых магистралей.

**Abstract.** The article proposes a method for studying gas leaks using the method of angular deviation of a laser beam in a stream by changing the transverse gas concentration gradient in a pipe open at both ends of the tube - a flat rectangular channel. The concentration isolines of the test gas were obtained. The dependence of the angular deviation of the laser beam on the rate of gas outflow from the pipe was found. The paper presents the practical relevance of work related to the development of new methods for detecting gas leaks in mines, tunnels and near oil and gas pipelines.

**Ключевые слова:** газ; трубопровод; нефть; концентрация; лазерный луч; диффузия; конвекция; открытая труба; изолинии; фронт пламени; стратификация.

**Keywords:** gas; pipeline; oil; concentration; laser beam; diffusion; convection; open pipe; isolines; flame front; stratification.

Загрязнение окружающей среды при транспортировке нефти и газа происходит в основном из-за разгерметизации нефтегазопроводов. Для своевременного обнаружения и локализации утечек нефти и газа применяются различные методы. Создание методики измерения распределений плотности и концентрации газа является актуальной научно-технической задачей. Научная значимость обусловлена необходимостью понимания закономерностей динамической стратификации газов с их различной плотностью.

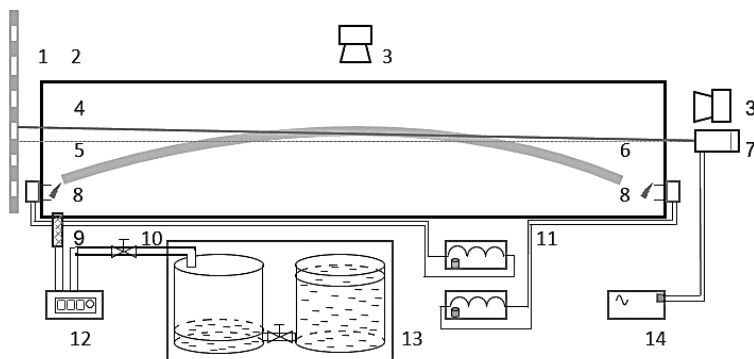
В научной литературе описаны ряд методик определения концентрации газов. Авторами работы [1] представлены физические методы определения концентрации нефтегазовых продуктов и их составляющих при распространении пламени. В работах [2, 3] описываются методики и устройства индикации паров лёгких углеводородов в местах их утечек из трубопроводов. В работе [4] рассмотрены приборы обнаружения утечек нефтепродуктов и методы ликвидации аварий на магистральных нефтепроводах.

В данной работе рассмотрена задача изучения распределений концентрации, устанавливающейся при вытекании тяжелого газа из



трубы на границе с воздухом в стратифицированном потоке и при воспламенении горючей газовой смеси на торцах трубы. Под стратификацией будем понимать процесс разделения смеси на составляющие компоненты под действием силы тяжести с которым связано распределение температуры и плотности газа при горении горючей смеси в газовом слое по вертикальной составляющей размера канала.

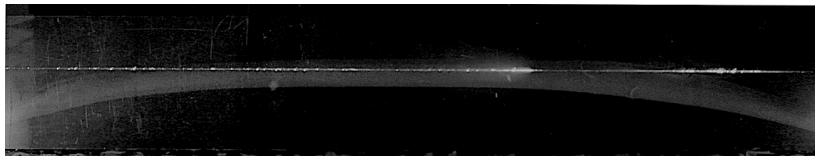
Для решения опытной задачи была собрана экспериментальная установка (Рис. 1), которая состояла из плоского прозрачного прямоугольного канала-трубы с открытыми краями 2, универсального газометра вытеснения 13 для приготовления пропано-воздушной смеси с необходимым содержанием пропана в воздухе, системы зажигания в двух точках на краях трубы - катушки зажигания 11 с электродами 8 для её воспламенения. Размеры канала-трубы составляли: длина - 1,40 м, размеры в поперечнике:  $0,30 \text{ м} \times 5 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ . Для фиксации процесса распространения и взаимодействия пламён, формирующихся у открытых краёв трубы и распространяющихся к центру, применяли цифровые фото- и видеокамеры 3. В экспериментах использовался оптический лазер 7 мощностью 50 мВт с блоком питания лазера 14, работающий в непрерывном режиме. Измерение тангенса угла наклона стратифицированного слоя и отклонения лазерного луча 4 на стенде 1 производили по фотографиям, полученным цифровыми камерами 3.



*Примечание:* 1 – измерительный стенд-экран; 2 – канал-труба с пропано-воздушной смесью; 3 – цифровая фото- и видеокамеры; 4 – отклонение лазерного луча; 5 – траектория лазерный луч; 6 – фронт пламени; 7 – лазер; 8 – металлические электроды; 9 – трубка подачи смеси с пламегасителем; 10 – газовый кран; 11 – катушка зажигания с электрическими проводами; 12 – расходомер газа; 13 – газометр вытеснения; 14 – блок питания лазера.

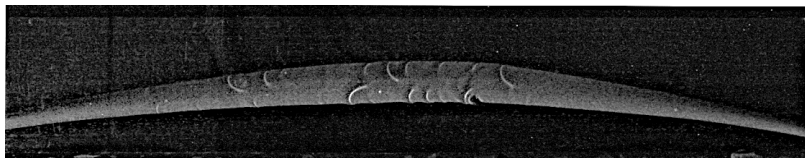
**Рисунок 1. Схема экспериментальной установки**

В начале эксперимента края трубы закрывали, после чего заполняли приготовленной в газометре вытеснения 13 смесью через трубку подачи с пламегасителем. Скорость поступления смеси регулировали газовым краном, объём заполнения контролировали расходомером 12. Спустя некоторое время осуществляли зажигание горючей смеси высоковольтным электрическим разрядом 8. Результаты визуализации распространения лазерного луча 5 и фронта пламени 6 представлены на рис. 2.



**Рисунок 2. Видеофрагмент распространения фронта пламени и лазерного луча**

После воспламенения смеси фронт пламени с постоянной скоростью распространялся по искривленной линии, наклоненной к нижним краям трубы под некоторым углом. На рисунке 3 представлены фрагменты из видеofilьма, иллюстрирующие распространение пламени в области границы которой соответствуют нижнему и верхнему концентрационным пределам пламени в пропано-воздушной смеси.



**Рисунок 3. Фрагмент видеofilьма распространение пламени в области границы нижнего и верхнего концентрационного предела воспламенения пламени**

Для измерения угловых отклонений лазерного луча применяли схему расположения канала-трубы относительно измерительного стенда представленную на рис. 1. Цифровая фотокамера 3 располагалась напротив измерительного стенда-экрана 1, между лазером и экраном находился открытый прямоугольный канал-труба. Лазер 4 устанавливали так, чтобы его луч 5 оставался параллельным нижней стенке канала. Угловые отклонения луча лазера изменялись в течение нескольких секунд на значительную величину, поэтому отклонение луча на экране

снимали в режиме цифровой видеозаписи, после чего производили обработку записи для получения чёткого фотоизображения. Данные эксперимента, устанавливающие зависимость отклонения луча лазера от времени вытекания газа, позволяют получить дополнительные сведения о структуре газового слоя.

Для расчёта распределений концентрации пропана в стратифицированном слое использовали соотношение Гладстона-Дэйла – связь показателя преломления с плотностью среды:

$$\frac{n-1}{\rho} = \frac{3}{2} K, \quad (1)$$

где:  $K$  – постоянная Гладстона-Дэйла. Показатель преломления среды связан с концентрацией вещества через плотность среды, как величины  $\rho = \frac{m}{V}$ , где  $m = Nm_0$  – масса вещества,  $m_0$  – масса одной молекулы,  $N$  – число всех молекул, находящихся в объеме  $V$ , для концентрации  $C = \frac{N}{V}$  плотность среды  $\rho = Cm_0$ .

Применяя отношение для плотностей среды в двух различных состояниях получим

$$\frac{C}{C_0} = \frac{n-1}{n_0-1}, \quad (2)$$

где:  $C$  и  $C_0$  – концентрации пропана и воздуха в исследуемой точке стратифицированного слоя,  $n$  и  $n_0$  – показатели преломления света в пропане для двух различных элементарных объемов стратифицированного слоя.

Для концентрации пропана соотношение будет равно:

$$C = C_0 \frac{n-1}{n_0-1}. \quad (3)$$

Угловое отклонение луча:

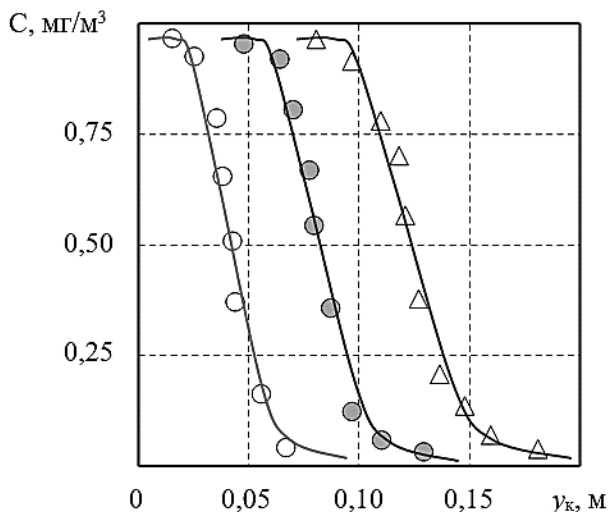
$$\varepsilon_y = \frac{1}{n_0} \frac{\Delta n}{\Delta y} l \sin \varphi_{y_k} \quad (4)$$

Из соотношения Гладстона-Дэйла определим показатель преломления чистого пропана:

$$\frac{n_{\text{пр}} - 1}{n_{\text{возд}} - 1} = \frac{K \rho_{\text{пр}}}{K \rho_{\text{возд}}} = \frac{\mu_{\text{пр}}}{\mu_{\text{возд}}} = \frac{29 \cdot 10^{-3}}{44 \cdot 10^{-3}}, \quad (5)$$

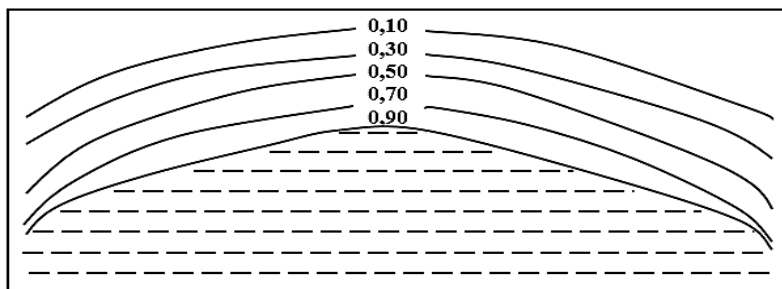
где:  $\rho_{\text{пр}}$  и  $\rho_{\text{возд}}$  – плотность пропана и воздуха,  $\mu_{\text{пр}}$  и  $\mu_{\text{возд}}$  – молярные массы пропана и воздуха, равно 0,659. В расчётах показатель преломления света в воздухе принимали равным 1,000292, при температуре 293 К и давлении  $10^5$  Па.

Из графиков зависимости концентрации пропана от вертикальной координаты (Рис.4.) следует, что изменение концентрации пропана, соответствует области стратифицированного слоя газа, в нижней части канала толщина стратифицированного слоя меньше. Это связано с изменением направления и величины вектора скорости газа. Угловые отклонения луча лазера изменялись в течение нескольких секунд на значительную величину, поэтому отклонение луча на экране снимали в режиме цифровой видеозаписи, после чего производили обработку записи для получения чёткого фотоизображения.



**Рисунок 4. Зависимость концентрации пропана от вертикальной координаты: ○ – 0,03 м; ● – 0,06 м; △ – 0,09 м.**

По результатам расчётов, проведённым для различных вертикальных координат луча лазера, получены изолинии концентрации газа. Карты изолиний для открытой трубы представлены на рисунке 5.



**Рисунок 5. Карты изолиний газовой смеси для открытой трубы**

Заштрихованная часть соответствует области, занятой чистым пропаном. Цифрами указаны десятичные доли концентрации пропана в смеси с воздухом. Изолинии концентрации пропана в канале представляют собой поверхности, искривленные возле открытых краёв канала-трубы. Изолинии концентраций соответствуют линиям тока тяжелого газа, стекающего по наклонной поверхности; их искривление обусловлено действием вязких сил и ускорением.

Представленный в работе метод применим для определения поля концентраций в объеме, в котором происходит утечка или приток газа. В производственных и технологических целях метод может быть использован для оперативного обнаружения изменения концентрации газа в замкнутом объеме. Наибольшая эффективность метода возможна при сканировании туннелей, шахт и нефтегазопроводов.

### Список литературы:

1. Alekseev M.M., Smirnova I.V., Semenov O.Y., Samsonov V.P. Modeling Edge Flame Propagation In A Stratified Fuel Gas-Air Mixture / Technical Physics Letters. 2012. Т. 38. № 11. P. 1010–1012.
2. Belov M.L., Belov A.M., Gorodnichev V.A., Kozintsev V.I. A laser control method for thin oil films on a water surface based on measurements of first-order and second-order derivatives of the reflection coefficient. Atmos. Oceanic Opt., 2011, vol.24, no. 7, pp. 568–571.
3. J. Hodgkinson, B. van Well, M. Padgett, R.D. Pride Modelling and interpretation of gas detection using remote laser pointers, Spectrochimica Acta Part A 63 (2006) pp. 929–939.
4. Первухин П.А. Методы и приборы обнаружения утечек нефтепродуктов / Академия гражданской защиты МЧС России Интернет-журнал "Технологии техносферной безопасности" Выпуск №6 (декабрь 2009 г.). URL: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2009-6/03-06-09.ttb.pdf> (Дата обращения: 01.02.2019).

## ОПТИЧЕСКИЙ ДАТЧИК ТЕМПЕРАТУРЫ НА ОСНОВЕ ПОЛЯРИЗАЦИОННОГО ЭФФЕКТА

*Заводовский Александр Геннаевич*

*канд. физ.-мат. наук, доцент,  
Сургутский государственный университет,  
РФ, г. Сургут*

## OPTICAL TEMPERATURE SENSOR BASED ON THE POLARIZATION EFFECT

*Alexandr Zavodovskiy*

*cand. phys.-mat. sciences, associate professor,  
Surgut State University,  
Russia, Surgut*

**Аннотация.** В данной работе были выполнены экспериментальные исследования зависимости угла вращения плоскости поляризации света водным раствором сахара от температуры раствора. Анализ полученных результатов показал возможность создания датчика температуры на поляризационном эффекте.

**Abstract.** In this work, we carried out experimental studies of the dependence of the angle of rotation of the plane of polarization of light with an aqueous solution of sugar on the temperature of the solution. Analysis of the results showed the possibility of creating a temperature sensor for the polarization effect.

**Ключевые слова:** датчик температуры; оптический элемент; поляризация; оптически активные вещества.

**Keywords:** temperature sensor; optical element; polarization; optically active substances

Потребность в различных датчиках в настоящее время растет в связи с развитием автоматизированных систем контроля и управления, внедрением новых технологических процессов, переходом к гибким автоматизированным производствам. Создаваемые датчики должны обладать высокой надежностью, долговечностью, стабильностью, малыми габаритами, массой и энергопотреблением, совместимостью с устройствами обработки информации при низкой трудоемкости изготовления

и малой стоимости. Этим требованиям наиболее полно удовлетворяют волоконно-оптические датчики [1].

Волоконно-оптические датчики можно разделить на две группы: датчики с волокном в качестве линии передачи и с волокном в качестве чувствительного элемента. Наиболее используемыми на практике являются волоконно-оптические датчики первого типа. Их обычно делят на датчики с оптическим преобразователем и датчики с оптическим зондом [2].

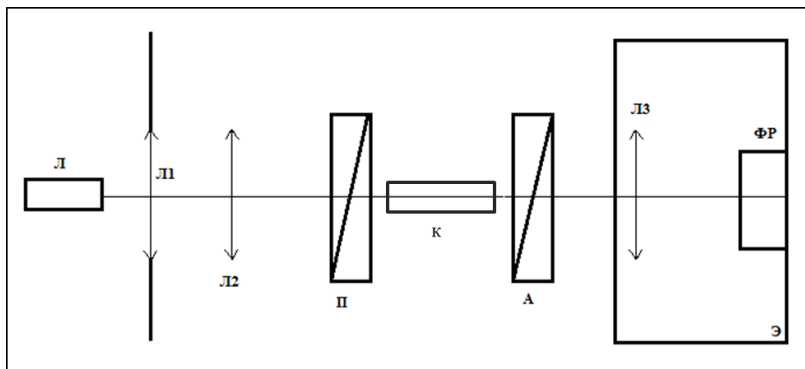
Датчики с оптическим преобразователем представляют собой систему, которая содержит оптический элемент, чувствительный к воздействию измеряемой физической величины, источник света и его приемник. Оптический элемент (преобразователь) помещен между торцами передающего и приемного волокна. В качестве источника света обычно используют лазер, а в качестве его регистратора — соответствующий ему по длине волны фотоприемник.

В датчиках с оптическим зондом световой луч, отраженный или рассеянный объектом измерения, поступает в приемную оптическую систему, состоящую из объектива и волокна, связанного с фотоприемником. Волоконно-оптические датчики второго типа отличаются высокой чувствительностью и могут быть использованы для бесконтактных измерений.

Как показывает опыт, из всех физических величин наиболее измеряемой величиной является температура, которая представляет собой важнейшую характеристику состояния вещества. Поэтому очень часто для практических целей необходимы тщательный контроль и точные измерения температуры.

В основе работы волоконно-оптических датчиков лежат разнообразные физические явления. Для создания датчиков очень часто используется создаваемая различным образом зависимость интенсивности света от температуры. Это возможно сделать путем прерывания оптического излучения непрозрачной заслонкой, изменением коэффициента прозрачности кристалла и другими способами. Созданы датчики, в которых для измерения температуры исследуется спектр теплового излучения тел, а также поляризационные эффекты при изменении коэффициента двойного лучепреломления при изменении температуры.

В данной работе предлагается для создания волоконно-оптического датчика температуры с оптическим преобразователем использовать чувствительный оптический элемент, в котором применяется зависимость угла вращения плоскости поляризации света от температуры. Макет датчика представлен на рис. 1.

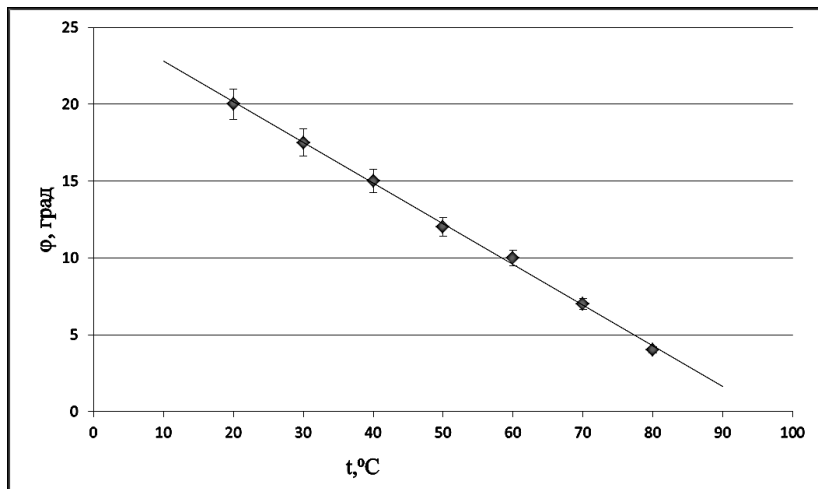


**Рисунок 1. Схема экспериментальной установки**

Экспериментальная установка состоит из: лазера Л, 3-х линз (короткофокусная, объектив, лупа – Л1, Л2, Л3), поляризатора П, анализатора А, фоторегистратора ФР, экрана фоторегистратора Э и рабочей кюветы К. Лазерное излучение фокусируется линзами Л1 и Л2 в объектной плоскости линзы Л3. При этом на экране наблюдается яркая точка малых размеров. Между линзами Л2 и Л3 размещают поляризатор, кювету и анализатор.

При выполнении эксперимента на оптической скамье размещается поляризатор и пустая кювета. Поляризатор устанавливается в положение, соответствующее максимальному значению сигнала, который регистрируется ФР. Затем за кюветой размещается анализатор, и его поворотом добиваемся минимального значения сигнала ФР. Это положение анализатора определяет начало отсчета угла вращения плоскости поляризации. Затем кювета заполняется водным раствором сахара определенной концентрации при температуре 20 °С и фоторегистратор показывает появление оптического сигнала. Поворотом анализатора на угол  $\varphi$  вновь получаем минимальное значение сигнала ФР. Величина  $\varphi$  определяет угол вращения плоскости поляризации для данных условий. В настоящей работе определялась зависимость угла поворота плоскости поляризации от температуры раствора при заданной концентрации раствора и длины кюветы. Полученные опытные данные представлены на рис. 2.





**Рисунок 2.** Зависимости угла вращения плоскости поляризации от температуры при концентрации сахарного раствора 30%.

Погрешность измерения температуры составляла  $\pm 1$  °C, а угла вращения плоскости поляризации  $\pm 1$  град. Опыт показывает, что с увеличением температуры раствора значение угла вращения плоскости поляризации уменьшается. Полученная зависимость является линейной, что очень удобно для создания датчика температуры, который мог бы работать в интервале значений от 10 до 90 °C. Для расширения температурного интервала можно в качестве чувствительного элемента использовать другие оптически активные вещества, например кварц.

### Список литературы:

1. Котюк А.Ф. Датчики в современных измерениях. - М.: Радио и связь, 2006. - 95 с.
2. Фрайден Дж. Современные датчики. - М.: Техносфера, 2005. - 589 с.

## 2.2. ФИЗИКА КОНДЕНСИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ

### ИНЕРЦИОННАЯ ПОЛЯРИЗАЦИЯ ДИЭЛЕКТРИКА ПРИ ЕГО ВРАЩЕНИИ

*Заводовский Александр Геннаьевич*

*канд. физ.-мат. наук, доцент,  
Сургутский государственный университет,  
РФ, г. Сургут*

### INERTIAL POLARIZATION OF DIELECTRICS DURING IT ROTATING

*Alexandr Zavodovskiy*

*cand. phys.-mat. sciences, associate professor,  
Surgut State University,  
Russia, Surgut*

**Аннотация.** В работе обнаружено, что вращательное движение линейного диэлектрика приводит к его поляризации. Для проведения исследований использовался рулонный конденсатор. Было показано, что поляризационная разность потенциалов пропорциональна величине ускорения, а при постоянном значении ускорения растет с увеличением площади поверхности диэлектрика.

**Abstract.** The work found that the rotational motion of a linear dielectric leads to its polarization. For research used a rolled capacitor. It was shown that the polarization potential difference is proportional to the magnitude of the acceleration, and with a constant value of the acceleration increases with increasing surface area of the dielectric.

**Ключевые слова:** диэлектрик; инерционная поляризация; конденсатор; разность потенциалов.

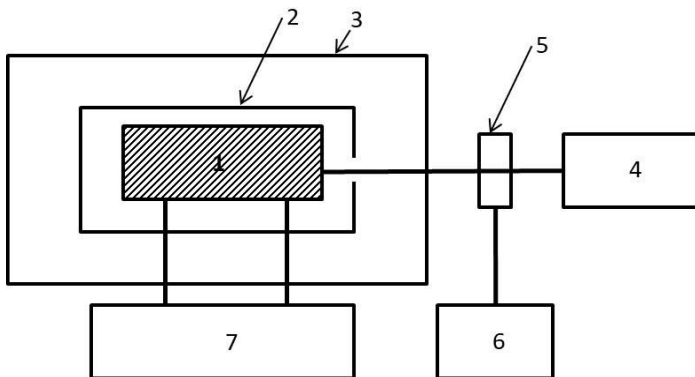
**Keywords:** dielectric; inertial polarization; capacitor; potential difference.

Поляризация диэлектрика – явление возникновения на его поверхности не скомпенсированного связанного электрического заряда. Этот эффект может возникать под действием различных факторов.

Например, при помещении диэлектрика во внешнее электрическое поле, при его механической деформации, а также при нагревании некоторых диэлектрических образцов.

В работе[1] было экспериментально обнаружено, что ускоренное поступательное движение линейного диэлектрика также приводит к его поляризации. Опыт показал, что при этом первая по направлению ускорения поверхность диэлектрика заряжается положительно. Полученные результаты объяснялись появлением при таком движении так называемого инерционного поля Толмена[2], которое действует на диэлектрик как электрическое и приводит к образованию молекулярных (атомных) диполей. В результате происходит поляризация диэлектрика, а именно: на его поверхности образуются связанные электрические заряды. В процессе выполнения работы [1] возникла идея использовать для получения поляризационного эффекта не только поступательное ускоренное движение диэлектрика, но и его вращательное движение, при котором также возникает ускорение.

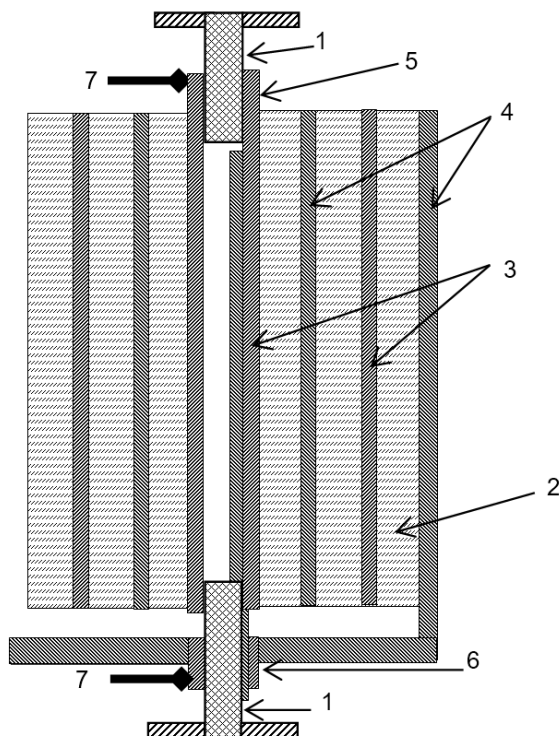
С этой целью была собрана экспериментальная установка, представленная на рис. 1.



**Рисунок 1. Схема экспериментальной установки**

Основная часть установки – цилиндрический конденсатор 1 находился в закрытом медном контейнере 2, закрепленном внутри металлической кюветы 3, и мог вращаться относительно этого контейнера с помощью электродвигателя 4. Частота вращения  $f$  контролировалась с помощью оптронной пары 5 и частотомера 6. Обкладки конденсатора непосредственно или через усилитель на полевом транзисторе подключались к „+“ и „-“ входам регистрирующего прибора 7, в качестве которого применялся самопишущий потенциометр типа Н307/1.

Схема цилиндрического конденсатора показана на рис.2.

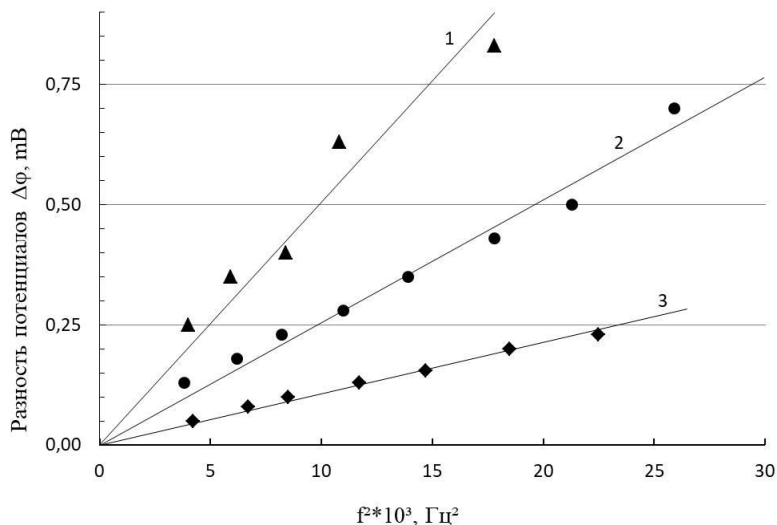


**Рисунок 2. Схема цилиндрического конденсатора**

Диэлектрик 2 и обкладки 3, 4 расположены в цилиндрическом конденсаторе рулонным способом. При механическом вращении конденсатора вокруг его оси симметрии 1 с атомы (молекулы) диэлектрика испытывают действие центробежной силы. В результате инерционного эффекта происходит поляризация диэлектрика и между обкладками конденсатора появляется поляризационная разность потенциалов, которая фиксируется с помощью осевых контактных поверхностей 5 и 6 и скользящих контактов 7.

В качестве диэлектрика применялась фторопластовая лента толщиной 0,1 мм. Диэлектрическая проницаемость этого вещества определялась емкостным методом и имела значение 2,1. В работе использовались конденсаторы с площадью диэлектрика от 8 до 2 см<sup>2</sup>. Внутренний диаметр конденсатора составлял 2 мм, внешний – от 4 до 6 мм.

При проведении исследований конденсатор вращался с частотой в интервале от 50 до 160 Гц. С помощью регистрирующего прибора фиксировалась поляризационная разность потенциалов  $\Delta\varphi$ . Полученные опытные данные представлены на рис. 3.



**Рисунок 3. Зависимость разности потенциалов  $\Delta\varphi$  от квадрата частоты вращения  $f^2$  для разной площади диэлектрика  $S$  ( $1 - S=8 \text{ см}^2$ ,  $2 - S=4 \text{ см}^2$ ,  $3 - S=2 \text{ см}^2$ )**

Из работы [1] следует, что поляризационная разность потенциалов должна быть пропорциональна величине ускорения, которая определяется квадратом частоты вращения. Данные эксперимента этот вывод подтверждают. Кроме этого, наблюдается и пропорциональная зависимость разности потенциалов от площади диэлектрика при постоянной частоте вращения. В ходе дальнейших исследований предполагается также проведение экспериментов с различными диэлектриками.

Данные, полученные в работе, могут быть использованы для создания электрических генераторов. На основе результатов исследований было разработано устройство для генерации электрического тока [3].

### Список литературы:

1. Zavodovskiy A.G. Inertial dielectric polarization// Russian Physics Journal. 2013. V.55, № 9. P. 1034-1038.

2. Цидильковский И.М. Электроны проводимости в поле сил инерции // Соросовский образовательный журнал. 2000. Т. 6, № 9. С. 87-94.
3. Заводовский А.Г. Поляризационный генератор электрического тока // Патент РФ на ПМ № 147182. 29.09. 2014.

**НАУЧНЫЙ ФОРУМ:  
ТЕХНИЧЕСКИЕ И ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ**

*Сборник статей по материалам XXV международной  
научно-практической конференции*

№ 6 (25)  
Июнь 2019 г.

В авторской редакции

Подписано в печать 13.06.19. Формат бумаги 60x84/16.  
Бумага офсет №1. Гарнитура Times. Печать цифровая.  
Усл. печ. л. 2,875. Тираж 550 экз.

Издательство «МЦНО»  
125009, Москва, Георгиевский пер. 1, стр.1, оф. 5  
E-mail: [tech@nauchforum.ru](mailto:tech@nauchforum.ru)

Отпечатано в полном соответствии с качеством предоставленного  
оригинал-макета в типографии «Allprint»  
630004, г. Новосибирск, Вокзальная магистраль, 3



**НАУЧНЫЙ  
ФОРУМ**  
nauchforum.ru