Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

НАУКА И ИННОВАЦИИ В ТЕХНИЧЕСКИХ УНИВЕРСИТЕТАХ

МАТЕРИАЛЫ ТРИНАДЦАТОГО ВСЕРОССИЙСКОГО ФОРУМА СТУДЕНТОВ, АСПИРАНТОВ И МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ

23 – 25 октября 2019 года

Санкт-Петербург
ПОЛИТЕХ-ПРЕСС
2019

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

НАУКА И ИННОВАЦИИ В ТЕХНИЧЕСКИХ УНИВЕРСИТЕТАХ

МАТЕРИАЛЫ ТРИНАДЦАТОГО ВСЕРОССИЙСКОГО ФОРУМА СТУДЕНТОВ, АСПИРАНТОВ И МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ

23 – 25 октября 2019 года

Санкт-Петербург
ПОЛИТЕХ-ПРЕСС
2019

ББК 30.1
Н 34

Наука и инновации в технических университетах : материалы Тринадцатого Всероссийского форума студентов, аспирантов и молодых ученых. – СПб. : ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2019. – 169 с.

В сборнике публикуются материалы докладов, представленных на секциях Тринадцатого Всероссийского форума студентов, аспирантов и молодых ученых «Наука и инновации в технических университетах»: «Прикладные разработки и моделирование в области инженерных наук», «Информационные технологии и системы», «Новые материалы и технологии», «Энергоресурсосбережение и экология», «Физические науки», «Экономика и управление», «Инновационные технологии в образовании».

Представляет интерес для специалистов в области фундаментальных, технических и гуманитарных наук.

Печатается по решению
Совета по издательской деятельности Ученого совета
Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого.

© Санкт-Петербургский политехнический
университет Петра Великого, 2019

СЕКЦИЯ

«ПРИКЛАДНЫЕ РАЗРАБОТКИ И МОДЕЛИРОВАНИЕ В ОБЛАСТИ ИНЖЕНЕРНЫХ НАУК»

НОВЫЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ОЦЕНКЕ РИСКОВ ВОЗНИКНОВЕНИЯ АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЙ НА МАГИСТРАЛЬНЫХ ТРУБОПРОВОДАХ

Т.А. Алимханова, *С.В. Ковшов*
Санкт-Петербургский Горный университет

Оценка риска возникновения аварии на любом опасном производственном объекте (ОПО) является важнейшим элементом обеспечения производственной безопасности. В настоящее время существует целый ряд методов и методик количественного и качественного анализа, а также оценки риска возникновения аварийных ситуаций на магистральных трубопроводах. Наиболее популярные из них: Check-List, What-If, HAZID, HAZOP, FMECA, FTA, ETA, QRA [1].

Однако у всех этих методов существует один общий недостаток – отсутствие полноценной возможности оценки удельной доли факторов аварийности принципиально различного происхождения: антропогенных, конструкционных, технологических и др.

При количественной оценке риска аварий рассматриваются частоты возможных сценариев аварий, оценка последствий. К примеру, частоты разгерметизации трубопроводов. При анализе возможных причин возникновения аварий построена логически организованная графическая конструкция (рис. 1).

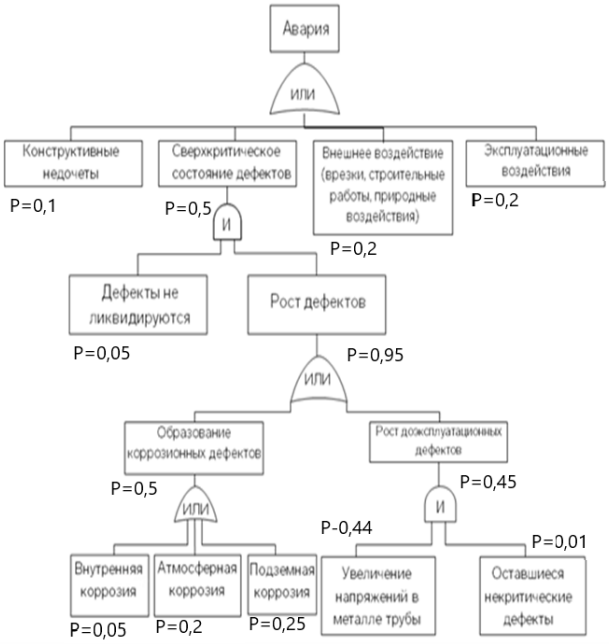


Рис. 1. Вероятности возникновения

С целью предотвращения аварийных ситуаций, влияющих на целостность объектов топливно-энергетического комплекса, разработана методология количественного и качественного анализа техногенного риска, используемая в том числе для управления техническим состоянием и целостностью линейной части магистральных трубопроводов (ЛЧ МТ).

В результате работы, проведены исследования с целью совершенствования методических подходов к качественному и количественному анализу риска эксплуатации МТ, а именно: разработка типовых опросных карт для создания альбома Check-List, разработка рекомендаций по использованию количественных методов оценки рисков аварийных ситуаций на Российских объектах топливно-энергетического комплекса.

Объекты транспортной системы топливно-энергетического комплекса России функционируют и планируются к размещению в условиях развития практически всех известных опасных геологических, гидрологических и других природных процессов, а также антропогенных и технологических [2]. Данные процессы характеризуются многообразием воздействий на линейную часть магистральных трубопроводов, которые приводят к росту частоты аварий. Для точного анализа риска возникновения аварийной ситуации на ОПО целесообразно принимать значения коэффициентов, отражающих воздействие факторов с учетом российских реалий. Исходя из этого, при сильном воздействии необходимо увеличивать коэффициент, а при незначительном – уменьшать.

При выборе методов оценки риска учитываются этапы функционирования объекта (проектирование, эксплуатация и т.д.), цели анализа, критерии приемлемого риска, тип анализируемого опасного производственного объекта и характер опасности, наличие ресурсов для проведения анализа, опыт и квалификация исполнителей, наличие необходимой информации и другие факторы.

Упущение незначительных деталей приводит к возникновению разного рода поломок, трещин на линейной части трубопроводов. Игнорирование инцидентов недопустимо, так как именно их совокупность является основой крупных аварий. С целью предупреждения воздействия опасных ситуаций на объектах топливно-энергетического комплекса, предлагается отмечать на карте проверенные участки и ранжировать по цвету опасности, как представлено на рис. 2: наиболее опасные – красным цветом, а наименее опасные – синим.

Рис. 2. Ранжированные участки

Предложенные методические подходы к оценке риска эксплуатации МТ должны быть использованы для создания единой автоматической базы прогнозирования и учета инцидентов и аварий на объектах топливно-энергетического комплекса. Далее была написана программа, с помощью которой инциденты будут представлены в виде гипотетической формы учета.

ЛИТЕРАТУРА

1. Чухарева Н.В., Миронов С.А., Тихонова Т.В. Прогнозирование аварийных ситуаций и повреждение магистральных газопроводов в условиях Крайнего Севера // Нефтегазовое дело. 2012, № 3. С. 99-109.

2. Методические указания по проведению анализа риска опасных производственных объектов. URL: http://msp.rosstudy.ru (дата обращения: 29.09.2017).

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРЕДСКАЗАНИЯ СВОЙСТВ СТАЛЕЙ С ПОМОЩЬЮ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

***А.С. Бондарь**, О.В. Стрельцова, Ф.В. Чмиленко*
Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)

Развитие электротехники согласно направлению Индустрии 4.0 невозможно без качественного скачка в моделировании. Современные электротехнические установки представляют собой сложные технические объекты и их оптимальное проектирование и управление должно реализовываться с помощью построения цифровых двойников. В свою очередь, для повышения точности цифровых двойников, кроме разработки адекватных моделей и алгоритмов, следует наиболее полно учитывать теплофизические, электромагнитные и механические свойства моделируемых объектов. В связи с этим, целью исследования, представленного в этой работе, являлась разработка и проверка возможностей нейронных сетей для предсказания удельного сопротивления и теплопроводности сталей в диапазоне температур от 20 до 1200 °C в зависимости от химического состава.

Адекватная работа нейронных сетей требует достаточно большой базы экспериментальных данных. В процессе обучения ее обычно делят на три части:

1) обучающая – основная часть базы данных, на которой происходит обучение нейронной сети;

2) верификационная – косвенно используется в обучении, применяется для настройки обучающих алгоритмов в методе «ранней остановки»;

3) тестирующая – не используется в обучении и предназначена для окончательной проверки обученной нейронной сети.

Стоит отметить, что создание больших коллекций обучающих данных сопряжено с некоторыми трудностями. Специализированные справочники и базы данных не всегда содержат полную информацию о конкретном материале, его химическом составе и истории термообработки. В то же время проводить физические эксперименты по изучению свойств сталей довольно дорого. В результате были созданы два множества: для обучения (более 240 марок сталей) и для тестирования (около 50 марок сталей) [1–2].

Как видно из объема учебной базы данных, невозможно говорить о «big data» в задачах прогнозирования свойств материалов. В этом случае очень расточительно выделять часть данных на верификацию (эта информация только косвенно влияет на обучение). Сталкиваясь с этой проблемой, иногда пытаются уменьшить верификационное или тестовое множество, что идет в ущерб качеству обучения нейронной сети и, как правило, приводит к ее переобучению (потеря обобщающей способности нейронной сети).

Для полного использования пула обучающих данных использовался метод «кросс-валидации». Суть метода заключается в том, что предварительно данные перемешиваются случайным образом, а затем делятся на N блоков. В нашем случае хороший результат показывает стратегия разбиения на 10 блоков, в которых 9 блоков представляют обучающие данные, а один блок служит валидационным набором для предотвращения переобучения с использованием метода «ранней остановки». Каждый раз, выбирая новый валидационный блок, необходимо обучать новую сеть. Таким образом, необходимо обучить 10 нейронных сетей, результат предсказаний которых затем усредняется. Существует также вариант пакетной «кросс-валидации», когда N-блочная перекрестная проверка выполняется несколько раз (для каждой новой пакетной итерации блоки делятся случайным образом).

Так как зависимость удельного сопротивления и теплопроводности сталей от температуры является гладкой функцией, в данной работе основное внимание было уделено обучению сетей с одним скрытым слоем. Количество нейронов варьировалось от 5 до 15. Входные и выходные признаки нормировались, но, как показывают расчеты, простое масштабирование дает результаты не хуже. В качестве функции активации для сетей с небольшим количеством скрытых слоев хорошо себя зарекомендовала биполярная сигмоида. Для выходного слоя также используется биполярная сигмоида, только с ограничением выходного диапазона [- 0,5;0,5] на 5%, чтобы уменьшить влияние зоны насыщения сигмоидальной функции. Применение других функции активации, таких как Softsign, ReLU, ELU и SoftPlus не привело к улучшению качества предсказаний [3].

Для оценки моделей в данной работе использовался критерий детерминации R_2 для усредненных результатов «кросс-валидации» на тестовом множестве. Такой подход позволяет оценивать результаты пакета «кросс-валидации» для различного количества скрытых нейронов и отбрасывать недообученные или переобученные пакеты из результирующей модели. Отдельные модели внутри пакета одной «кросс-валидации» не оценивались, чтобы минимизировать влияние тестового множества на обобщающую способность конкретного пакета.

У авторов имеются результаты по аппроксимации теплопроводности [4] и удельного сопротивления [5].

В случае с теплопроводностью (рис. 1) удалось добиться для большого количества точек ошибки, не превышающей 5%, однако для некоторых значений ошибка превышала допустимую.

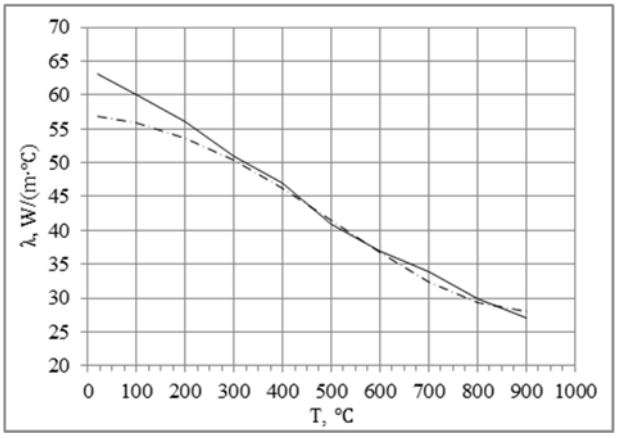


Рис. 1. Результат аппроксимации стали 08кп

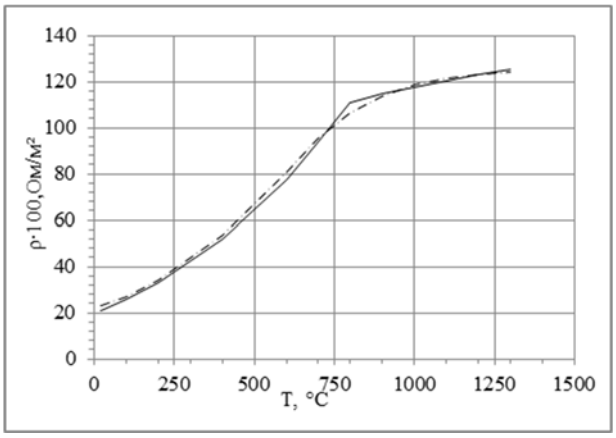


Рис. 2. Результат аппроксимации стали 5132

На рис. 1 приведен результат аппроксимации одной из сталей, участвующей в тестировании обученной нейронной сети. Как видно, результат аппроксимации нейронной сетью (штрих-пунктирная линия) при температурах выше 300 °C (а для некоторых сталей выше 400 °C) совпадает с данными взятыми из справочника (сплошная линия). Данное явление объясняется тем, что в процессе обучения нейронной сети было недостаточно данных о свойствах сталей на температурах ниже 400 °C. При этом в имеющихся данных присутствовали зашумления, вызванные присутствием в них диапазона температур вместо точного указания температуры.

На рис. 2 представлен результат аппроксимации удельного сопротивления стали 5132. Как видно, результат аппроксимации (штрих-пунктирная линия) практически совпадает с данными взятыми из справочника (сплошная линия).

Результаты аппроксимации теплопроводности и удельного сопротивления показывают, что нейронные сети имеют большой потенциал для аппроксимации свойств материалов. Стоит отметить, что довольно трудно подобрать оптимальную конфигурацию нейронной сети, так как синтез структуры сети представляет собой отдельную и трудную задачу. Для задач аппроксимации физических и механических свойств материалов не стоит ограничиваться только моделями с одним скрытым слоем, стоит пробовать использовать небольшие многослойные модели, по количеству скрытых нейронов не превышающие наибольшие модели с одним скрытым слоем.

Можно выделить две разные стратегии для решения подобных проблем:

• создавать относительно большую нейронную сеть для металлов и сплавов с очень разным содержанием химических элементов;

• делать специализированные небольшие сети, для металлов схожей структуры.

С прикладной точки зрения, когда интересует не сама задача обобщения, а свойства материалов для моделирования электротехнических устройств, вторая стратегия в краткосрочной перспективе может быть востребована.

Авторы не ставили целью этой работы получение оптимальных результатов. Для этого первоначально надо расширить базы свойств материалов данными из других российских источников. Кроме того, следует учитывать предысторию термообработки сталей, такую как отжиг или нормализация. Однако в справочной литературе очень мало данных о физических свойствах материалов, которые имели бы информацию о предыстории термообработки. Возможно, в таких случаях будет рационально применять классификационные нейронные сети. В будущем планируется обучить нейронные сети для предсказания таких свойств, как плотность, теплоемкость, коэффициент линейного расширения, модуль Юнга, коэффициент Пуассона и т.п.

ЛИТЕРАТУРА

1. Теплофизические свойства веществ: справочник / под ред. Н.Б. Варгафтика. – М.; Л.: Госэнергоиздат, 1956. – 367 с.

2. Richter F., The Physical Properties of Steels «The 100 Steels Programme», Mülheim a.d. Ruhr.

3. Peet, H.S. Hasan, H.K.D.H. Bhadeshia. Prediction of thermal conductivity of steel. International Journal of Heat and Mass Transfer. 2011, Vol. 54, No. 11-12, p. 2602.

4. Alexei S. Bondar, Fedor V. Chmilenko The Use of a Neural Network to Obtain the Characteristics of Steels Depending on the Chemical Composition, 2019 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (EIConRus).

5. Бондарь А.С., Стрельцова О.В., Чмиленко Ф.В., Бондаренко Д.Н. Предсказание удельного сопротивления стали для моделирования электротермических процессов // Труды XXI Международной конференции Проблемы управления и моделирования в сложных системах. Самара, 2019, С. 211-215.

ТЕОРИЯ ИГР В ГЕНЕТИКЕ. ПРИМЕНЕНИЕ ВЕКТОРА ШЕПЛИ И ИНДЕКСА БАНЗАФА В АНАЛИЗЕ ЭКСПРЕССИИ ГЕНОВ ПРИ БОЛЕЗНИ АЛЬЦГЕЙМЕРА

Г.А. Бузмаков

Санкт-Петербургский Государственный Университет

Ни для кого не секрет, что, начиная с клеточной оболочки и заканчивая всеми составляющими клетки, все построено с участием молекул белка. Чтобы синтезировать белок в клетке необходимы дезоксирибонуклеиновая (ДНК) и рибонуклеиновая кислоты (РНК). ДНК несет в себе всю генетическую информацию, а РНК ведет роль посредника между ДНК и синтезируемым белком. Процесс преобразования наследственной информации от гена в РНК или белок называется экспрессией генов. Хотя все клетки нашего организма имеют одну и ту же переданную по наследству геномную ДНК, каждая клетка транскрибирует различные гены в виде мРНК в соответствии с типом клетки, биологическими процессами, нормальным или патологическим состоянием и т.д. Данное разнообразие в профилях генной экспрессии интенсивно изучается ввиду его биологического и клинического значения. В конце 1980-х годов впервые была использована технология микрочипов, которая на сегодняшний день позволяет одновременно отслеживать экспрессию десятков тысяч генов, создавая молекулярный портрет клетки. Полученные данные могут быть использованы для идентификации генов, отвечающих за конкретное заболевание. Сегодня существуют различные экспериментальные платформы, основанные на технологии микрочипов, однако, общая задача данной технологии – последовательная генерация матрицы данных экспрессии генов, в которой строки обозначают гены, а столбцы — образцы исследований, элементами матриц являются числа, представляющие значения экспрессии генов. Интерпретация взаимодействия генов в биологических сетях вынуждает значительно ранжировать сетевые элементы. В [1] предложено несколько подходов для идентификации «центральных» генов

среди огромного количества данных, предоставляемых технологией микрочипов. Кроме аналитических методов также может использоваться теория кооперативных игр. Так, в [2] введен класс игр с микрочипами для количественной оценки значимости каждого гена в создании или регулировании состояния, представляющего интерес (например, заболевания), с учетом наблюдаемых взаимосвязей во всех подгруппах генов.

Целью этой работы является решение проблемы определения относительной значимости генов в процессе зарождения и развития болезни Альцгеймера, на основе данных, полученных с помощью технологии микрочипов, с учетом уровня взаимодействия между генами.

Математическая модель. Основная идея данной модели основана на теории кооперативных игр, где в роли игроков выступают гены при определенном интересующем нас сценарии, таком как патогенез болезни Альцгеймера. Пусть $N = \{1, \dots, n\}$ множество генов, $S_R = \{1, \dots, r\}$ и $S_D = \{1, \dots, d\}$, соответственно, множества образцов клеток из здоровых тканей и тканей с генетическим заболеванием. Задача экспериментов с микрочипами состоит в сопоставлении каждому образцу $j \in S_D \cup S_R$ профиль экспрессии $A(j) = (A_{ij})_{i \in N}$, где $A_{ij} \in \mathbb{R}$ величина экспрессии гена i в образце j. Вместе эти значения называются набором данных эксперимента микрочипов и могут быть представлены в форме двух матриц экспрессии генов $A^{S_R} = (A_{ij}^{S_R})_{i \in N, j \in S_R}$ и $A^{S_D} = (A_{ij}^{S_D})_{i \in N, j \in S_D}$, где столбцы — это профили экспрессии образцов. Обозначим через $E = \langle N, S_R, S_D, A^{S_R}, A^{S_D} \rangle$ микрочиповую экспериментальную ситуацию (МЭС). Для начала необходимо определить, экспрессия каких генов больных клеток выражается аномально по отношению к матрице здоровых. Так строим вектор $B^j = (B_{ij})_{i \in N}$, называемый булевым профилем экспрессии, элементы которого принимают значение 1, если ген выражен аномально и 0 — в противном случае. Отображение m, присваивающее каждому профилю экспрессии из больных образцов соответствующий булевый профиль экспрессии, называется дискриминантным методом. Существует множество различных дискриминантных методов. Один из них — наивный метод для двух классов: 0 и 1, где 1 обозначает аномально, а 0 – нормально выраженный ген, т. е. экспрессия больше (меньше) максимальной (минимальной) экспрессии этого гена в здоровых образцах, а 0 — нормально выраженный ген. В итоге, получаем булевую матрицу экспрессии $B^{E,m} \in \{0,1\}^{N \times S_D}$. Определим микрочиповую игру как кооперативную игру (N, v), где N конечное множество генов в роли игроков, а v — характеристическая функция, присваивающая каждой коалиции $T \in 2^N \setminus \{\emptyset\}$ среднее значение количества образцов интересующей нас болезнью $v(T) = \frac{|\Theta(T)|}{|S_D|}$, где $|S_D|$ — мощность множества образцов больных тканей, а $|\theta(T)|$ — мощность множества образцов, опора $sp(W) = \{i \in \{1, \dots, n\} \mid W_i = 1\}$ которых полностью содержится в коалиции T: $\Theta(T) = \{k \in S_D | sp(B^{E,m}(k)) \subseteq T, sp(B^{E,m}(k)) \neq \emptyset\}$. Условие $sp(B^{E,m}(k)) \neq \emptyset$ обусловлено предположением, что образцы, где гены не проявляют каких-либо аномальных свойств экспрессии, способствуют уменьшению уровня ассоциации больных образцов с нужной болезнью. Класс микрочиповых игр обозначим символом $\mathcal{M}$.

Решение кооперативных игр в контексте микрочиповых игр. Введем понятие простой игры. Простой игрой будем называть игру (N, u_R) на $R \subseteq N$, где $u_R(T) = 1$, если $R \subseteq T$ и $u_R(T) = 0$. Любая кооперативная игра (N, v) может быть записана в виде линейной комбинации простых игр: $v = \sum_{S \subseteq N, S \neq \emptyset} \lambda_S(v)\, u_S$, где $\lambda_S = \frac{\bar{\lambda}_S}{|S_D|}$ — коэффициент единогласия, а $\bar{\lambda}_S = \left|\left\{k \in S_D \mid sp(B^{E,m}(k)) = S\right\}\right|$ — количество возникновений коалиций S в качестве опоры булевой матрицы экспрессии $B^{E,m}$. Через коэффициенты единогласия $(\lambda_S(v))_{S \in 2^N \setminus \{\emptyset\}}$ игры (N, v) могут быть даны модифицированные представления вектора Шепли

$$\varphi_i(v) = \sum_{S \subseteq N:\, i \in S} \frac{\lambda_S(v)}{|S|}, \tag{1}$$

и индекса Банзафа

$$\beta_i(v) = \sum_{S \subseteq N:\, i \in S} \frac{\lambda_S(v)}{2^{|S|-1}}, \tag{2}$$

которые обладают свойствами, соответствующими биологическим законам. В контексте микрочиповых игр решение рассматривается как вектор ранжирования силы генов, то есть ген получивший наибольший «выигрыш» является наисильнейшим в данной выборке и так далее.

Результаты. В 2014 году группа ученых из Японии собрали посмертные данные микрочипов из тканей лобной и височной коры головного мозга, а также гиппокампа у пациентов с наличием болезни Альцгеймера или другой сосудистой деменции. Эти данные находятся в открытом доступе [3]. Рассмотрим МЭС $E = \langle N, S_R, S_D, A^{S_R}, A^{S_D} \rangle$. За образцы с интересующим нас сценарием взяты образцы тканей с болезнью Альцгеймера, за «здоровые» – образцы с другой деменцией. Мощность множества генов $|N| = 4033$, мощности множеств образцов с заболеванием Альцгеймера и со «здоровыми» тканями, соответственно, равны $|S_D| = 32$ и $|S_R| = 47$. Рассмотрим первые 10 генов по убыванию индексов значимости, найденных с помощью вектора Шепли и индекса Банзафа (табл. 1).

При использовании индекса Банзафа можно заметить, что многие гены получили одинаковый индекс значимости. Причиной этого может являться величина, стоящая в знаменателе формулы (2), по которой вычисляется индекс Банзафа. Так, если при вычислении индекса значимости гена с помощью вектора Шепли (1)

делим коэффициент единогласия на $|S|$, т. е. на мощность множества генов, входящих в коалицию, то при использовании индекса Банзафа делим на $2^{|S|-1}$, из-за чего появляются трудности при относительно большом количестве генов. Доказано, что у мужчин и женщин болезнь Альцгеймера протекает по-разному. Рассмотрим две МЭС $E' = \langle N, S'_R, S'_D, A^{S'_R}, A^{S'_D} \rangle$ и $E'' = \langle N, S''_R, S''_D, A^{S''_R}, A^{S''_D} \rangle$. В табл. 2 представлены первые 10 позиций по индексу значимости, посчитанного с помощью вектора Шепли для этих двух случаев. Многие полученные результаты подтверждены современными научными публикациями: так, например, влияние генов RYR1 и ALDH2 на процесс болезни Альцгеймера описано в статьях [4, 5], роль шаперонов в патогенезе болезни Альцгеймера, в комплекс которых входит ген PFDN5, описана в статье [6]. Также выявлены гены, которые могут играть ключевую роль при патогенезе этой болезни, но еще не рассмотренные в научной литературе.

Таблица 1

Вектор Шепли		Индекс Банзафа	
Ген	Значение Шепли ($* 10^{-3}$)	Ген	Индекс Банзафа ($* 10^{-56}$)
RYR1	*1,42125*	METTL3	*2.04115*
HYDIN2	*1,3214*	NDUFS6	*2.04115*
FAHD2B	*1,31450*	AK130448	*2.04115*
GALNT15	*1,27645*	CCDC88C	*2.04115*
ECHDC2	*1,17365*	TRPV1	*2.04115*
PLEC	*1,16275*	DNHD1	*2.04115*
PFDN5	*1,14733*	HYDIN2	*2.04115*
ZC3H11A	*1,13735*	KIF5B	*2.04115*
NDUFS6	*1,1145*	THBS2	*2.04115*
WDR49	*1,08939*	ZNF621	*2.04115*

Таблица 2

Мужчины		Женщины	
Ген	Значение Шепли ($* 10^{-3}$)	Ген	Значение Шепли ($* 10^{-3}$)
ACAA1	*0,87529*	ZC3H11A	*1,40275*
HNRNPA3P1	*0,79922*	CCDC190	*1,39448*
MMAB	*0,79355*	ALDH2	*1,19962*
TDH	*0,7922*	AF074983	*1,10729*
NINL	*0,78509*	RHBDD1	*1,08732*
TDRD3	*0,78163*	ARHGEF10	*1,07735*
WDR49	*0,77295*	AK023372	*1,02686*
ZNF185	*0,77011*	ZNF761	*0,99062*
PFDN5	*0,76712*	ADGRA3	*0,98517*
ZNF844	*0,76267*	RYR1	*0,98269*

Заключение. Результатом использования рассмотренного в работе подхода является распределение вектора решения, примененного к микрочиповой игре. Данный подход представляет интерес для генетического анализа, который все еще является относительно новой темой для исследований и предлагает новый математический подход для данной области.

ЛИТЕРАТУРА

1. Parmigiani G., Garrett E.S., Irizarry R., Zeger S.L., eds. The analysis of gene expression data: methods and software. New York: Springer. 2003. P. 511.

2. Moretti S., Patrone F., Bonassi S. The class of microarray games and the relevance index for genes // TOP. 2007. No 15. P. 256–280.

3. The National Center for Biotechnology Information. https://www.ncbi.nlm.nih.gov/geo/gds/analyze/analyze.cgi?ID=GDS4758.

4. Chami M., Checler F. Ryanodine receptors: dual contribution to Alzheimer disease? // Channels (Austin). 2014. P. 168–168.

5. Ma L., Lu Z.N. Role of ADH1B rs1229984 and ALDH2 rs671 gene polymorphisms in the development of Alzheimer's disease // Genet. Mol. Res. 2016. Vol. 15. No 4. P. 1–8.

6. Loke S.Y., Wong P.T., Ong W.Y. Global gene expression changes in the prefrontal cortex of rabbits with hypercholesterolemia and/or hypertension // J. Mol. Neurosci. 2007. No 102. P. 33–56.

ШАГАЮЩЕЕ КОЛЕСО

В.С. Жукова
ФГБОУ ВО Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана (НИУ), Мытищинский филиал

Изобретение относится к области шарнирно-рычажных механизмов и колёсных устройств [1]. Известен четырёхзвенный, если считать неподвижный корпус, лямбдаобразный механизм П.Л. Чебышева, состоящий из неподвижного корпуса, на котором закреплены шарниры 1 и 2 ведущего кривошипа 3, коромысла 4 и шатуна 5. Схема лямбдаобразного механизма показана на рис. 1 слева. Лямбдаобразный механизм П.Л. Чебышева позволяет получить природную шагающую траекторию движения стопы человека или копыта животного, по которой движется рабочая точка М шатуна 5. Известна система из двух пар лямбдаобразных механизмов, применённая в шагающей машине П.Л. Чебышева. В этой системе движение двух лямбдаобразных механизмов в каждой паре синхронизировано промежуточным шатуном. В качестве прототипа для изобретения был выбран двойной лямбдаобразный механизм П.Л. Чебышева, применённый на лодке, который показан на рис. 1 в центре. Недостатком прототипа, как и других шагающих аналогов, является узкая область применения, например, по бездорожью, потому что колёсный способ передвижения энергетически более эффективен, более надёжен и прост. Однако колесо требует достаточно ровной и твёрдой опорной поверхности, в противном случае начнётся пробуксовка. Целью изобретения является расширение условий применения колёсного движителя. Эта цель достигается совмещением колеса, в качестве движителя с его достоинствами применения на ровной дороге, с преимуществами шагающего шарнирно-рычажного лямбдаобразного механизма П.Л. Чебышева.

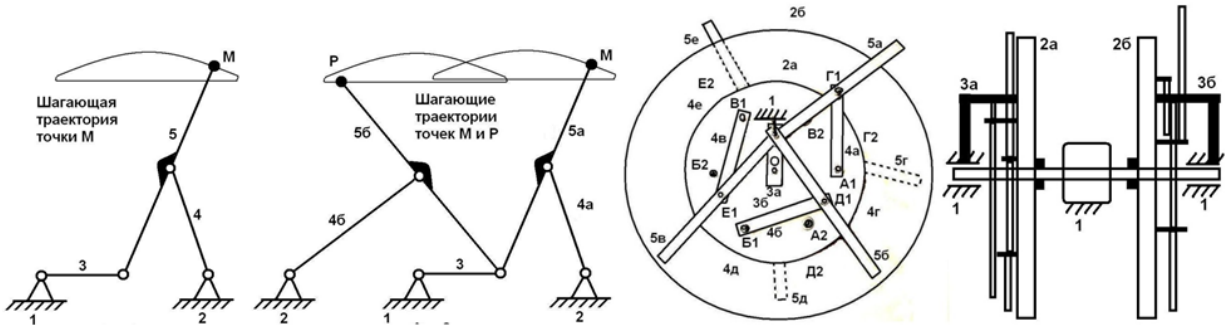


Рис. 1. Схема шагающего колеса

Устройство шагающего колеса показано на рис. 1 справа. Шагающее колесо состоит из корпуса 1 и двух колёс 2а и 2б. Колёса 2а и 2б разнесены на некоторое расстояние, позволяющее разместить между ними двигатель. Колёса 2а и 2б неподвижно закреплены на валу двигателя. Двигатель закреплён на корпусе 1, выполняющем роль общего неподвижного звена механизма. Вал двигателя является цилиндрическим шарниром О в кривошипах 3а и 3б. Кривошипы 3а и 3б размещены снаружи колёс 2а и 2б и одной своей осью неподвижно связаны с корпусом 1. С позиции кинематики кривошипы 3а и 3б являются продолжением неподвижного корпуса 1. Колёса 2а и 2б вместе с валом могут свободно вращаться в цилиндрическом шарнире О кривошипов 3а и 3б. Снаружи колёс 2а и 2б размещаются лямбдаобразные механизмы П.Л. Чебышева. Количество лямбдаобразных механизмов может быть произвольным. Три лямбдаобразных механизма свободно размещаются с каждой наружной стороны колёс 2а и 2б, а большее количество лямбдаобразных механизмов потребует применять искривлённые рычаги для обхода осей вращения. Каждый из кривошипов 3а и 3б является общим рычагом для всех лямбдаобразных механизмов, расположенных с той же стороны колеса, где находится кривошип. Каждый лямбдаобразный механизм имеет две шарнирные точки закрепления на вращающемся колесе. На колесе 2а цилиндрические шарниры коромысел 4а, 4б, 4в обозначены А1, Б1, В1 соответственно. На колесе 2б цилиндрические шарниры коромысел 4г, 4д, 4е обозначены А2, Б2, В2, на рис. 2 находятся за колёсами 2а и 2б. На колесе 2а шатуны 5а, 5б, 5в посредством цилиндрических шарниров соединены с неподвижной осью кривошипа 3а, которая является продолжением неподвижного корпуса 1. На колесе 2б шатуны 5г, 5д, 5е посредством цилиндрических шарниров соединены с неподвижной осью кривошипа 3б, которая является продолжением неподвижного корпуса 1. В каждом лямбдаобразном механизме середина шатуна посредством цилиндрического шарнира соединена с коромыслом. На колесе 2а середины шатунов 5а, 5б, 5в соответственно соединены цилиндрическими шарнирами с коромыслами 4а, 4б, 4в в точках Г1, Д1, Е1. На колесе 2б середины шатунов 5г, 5д, 5е соответственно соединены цилиндрическими шарнирами с коромыслами 4г, 4д, 4е в точках Г2, Д2, Е2. Точки А1, А2, Б1, Б2, В1, В2 размещения цилиндрических шарниров в указанном порядке равномерно в угловом отношении размещены на окружности. Для шести лямбдаобразных механизмов угол между двумя любыми соседними точками равен 60 градусов. Колёса 2а и 2б имеют одинаковые диаметры. Диаметры колёс 2а и 2б выбраны так, чтобы концы всех шатунов 5а, 5б, 5в, 5г, 5д, 5е при наименьшем удалении от центра О колеса во время движения были удалены на расстояние меньше радиуса колёс, а при наибольшем удалении от центра О колеса во время движения удаление этих же концов шатунов было больше радиуса колёс 2а и 2б.

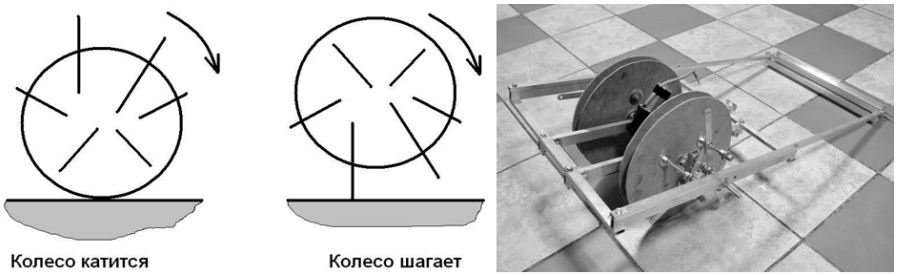


Рис. 2. Два режима движения шагающего колеса и фотография механизма

Шагающее колесо работает по роторному принципу, потому что лямбдаобразные механизмы закреплены на колёсах 2а и 2б, а колёса вращаются вокруг оси О, являющейся валом двигателя. Кривошипы 3а и 3б неподвижны. В отличие от традиционного лямбдаобразного механизма П.Л. Чебышева получилась обращённая схема движения. В традиционном лямбдаобразном механизме кривошип вращается вокруг точки О, а шарнирные точки закрепления А1, Б1, В1, А2, Б2, В2 соответственно коромысел 4а, 4б, 4в, 4г, 4д, 4е неподвижны. В шагающем колесе предлагается роторное техническое решение, тое сть, наоборот, лямбдаобразные механизмы вращаются вокруг неподвижных кривошипов 3а и 3б, являющихся продолжением неподвижного корпуса 1. При вращении колёс 2а и 2б, закреплённых на валу двигателя и представляющих с ним единую колёсную пару, лямбдаобразные механизмы начинают вращаться вместе с колёсами. Концы шатунов 5а, 5б, 5в, 5г, 5д, 5е совершают сразу два движения. Во-первых, это вращательное движение вместе с колёсами по окружности. Во-вторых, это шагающее движение по шагающей траектории П.Л. Чебышева, ради которой русским инженером в конце 19-го века был изобретён лямбдаобразный механизм. В результате сложения двух движений концевая рабочая точка каждого шатуна движется по овальной траектории, но центр овала не совпадает с центром О колёс 2а и 2б. В фиксированном относительно неподвижного корпуса 1 положении рабочие точки концов шатунов постоянно находятся на одном и том же удалении от центра О колёс 2а и 2б. Это удаление может быть как меньше, так и больше радиуса колёс 2а и 2б.

Шагающее колесо имеет два режима движения и работает следующим образом.

Первый режим работы – это обычное качение колеса по поверхности. Этот режим соответствует схеме расположения шатунов на рис.2 в предположении, что опорная поверхность находится снизу, то есть под колесом. Когда концевая рабочая точка очередного шатуна, приближающегося к опорной поверхности, подходит к земле, её удаление от центра О колёс 2а и 2б становится меньше радиуса этих колёс. В результате этого концевые рабочие точки шатунов никогда не коснутся земли, поэтому шагающее колесо будет совершать обычное качение по поверхности. Этот режим соответствует движению по ровной твёрдой дороге.

Второй режим включается, когда колесо начинает буксовать на размытой поверхности: грязь, трясина, снег, лёд, шуга, то есть когда колесу не хватает зацепления с опорной поверхностью. В этом случае в работу включаются рычаги, то есть шатуны со своими концевыми рабочими точками, совершающими шагающее движение, как в лямбдаобразном механизме П.Л. Чебышева. Чтобы включить шагающий режим, надо выполнить фазовый разворот механизма на 180 градусов, то есть перевернуть шагающее колесо. Такой переворот и сдвиг по фазе выполняется поворотом кривошипов 3а и 3б как единого звена на 180 градусов. На рис. 2 кривошипы 3а и 3б ориентированы вертикально вверх от оси вращения О колёс 2а и 2б, но если их повернуть вертикально вниз, то это будет равносильно повороту чертежа и всей схемы на 180 градусов. Поворот выполняется рукояткой с последующим закреплением неподвижной оси кривошипов 3а и 3б в новом нижнем положении на корпусе, теперь уже снизу на рис. 2. После такого поворота рабочие концевые точки шатунов теперь уже в нижней части траектории своего движения по смещённой овальной траектории, а не в верхней, как показано на рис. 2, удалятся от центра О колёс 2а и 2б на расстояние больше радиуса, поэтому приподнимут механизм, войдут в зацепление с опорной поверхностью, устранят проскальзывание колеса, потому что колесо перестанет катиться в традиционном понимании после подъёма, и совершат шагающее перемещение механизма. Схема двух режимов работы шагающего колеса показана на рис. 2 слева.

Шагающий режим работы шагающего колеса является экстренным, кратковременным, необходимым только для преодоления непроходимого обычным колесом участка. В шагающем режиме повышены ударные нагрузки, но это необходимо для хорошего зацепления механизма со скользкой поверхностью. После преодоления трудного участка дороги кривошипы 3а и 3б переводятся из нижнего положения в верхнее положение, шагающий режим работы шагающего колеса отключается, включается обычный режим качения без ударных нагрузок. Для доказательства работоспособности предложенного устройства была изготовлена действующая модель, приводимая в движение электродвигателем. Переключение режима движения с качения на шаг выполнялось переворотом модели, то есть разворотом кривошипа-корпуса на 180 градусов. Фотография действующей модели показана на рис. 2 справа с кривошипом, включённым в режим шага, и выступающими шатунами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Жукова В.С. Шагающее колесо. Заявка 2018504370 на патент от 09.10.2018.

МЕТОД РЕКОМБИНАЦИИ КЛАСТЕРОВ ДЛЯ УСКОРЕНИЯ РАСЧЕТА ГРАВИТИРУЮЩИХ СИСТЕМ

С.Ф. Лебедев

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

Задача решалась в рамках совместного с ГЕОХИ РАН проекта по исследованию вопросов планетообразования. Для данного проекта крайне важна скорость расчетов, так как для получения статистически устойчивых результатов требуется проводить множество экспериментов. Моей областью исследования стало именно ускорение расчетов гравитирующих систем. Разумеется, для корректности моделирования необходим был такой метод, применение которого не влияло бы на систему существенным образом.

Идея метода основана на уменьшении количества частиц, входящих в кластеры, поэтому несущественным влиянием было решено считать такое, при которых следующие важные параметры системы изменялись незначительно:

1. Форма и плотность кластеров.
2. Скорость их центра масс.
3. Скорость вращательного движения кластеров.
4. Средняя энергия хаотического движения внутри кластеров.
5. Средняя сила, действующая на частицы.

В общем случае, моделирование таких систем подразумевает под собой решение задачи n-тел.

Анри Пуанкаре показал, что общее решение задачи 3 тел нельзя выразить как однозначную функцию координат и скоростей.

Так как прямой метод, при котором считается взаимодействие каждой частицы с каждой, имеет асимптотическую сложность $O(n^2)$, то его применение является невозможным для моделирования больших систем на текущем этапе развития вычислительной техники.

Для ускорения расчетов необходимо не только уменьшить асимптотическую сложность применяемых алгоритмов, но и уменьшить время совершения каждой операции, для этого используется комбинация иерархических методов аппроксимации сил и распараллеливание на многоядерных системах.

Изъяном данного подхода является сильное падение скорости вычислений при образовании кластеров, масса которых становится сравнима с массой всей системы. Это происходит из-за наличия ограничения на близость между частицами для возможности аппроксимации взаимодействий.

В работе используется следующая модель кластеров. Кластером будем называть такую высокоплотную агломерацию частиц, форма которой достаточно точно приближается сфероидом (будем называть его ограничивающим). Также важным свойством кластера является возможность выделение слоев, содержащих одинаковое количество частиц, границы которых представляют из себя концентрические сфероиды. Центры масс этих слоев неподвижны относительно центра масс кластера.

Перед рекомбинацией кластеров необходимо найти высокоплотные агломерации (с помощью алгоритма DBScan), их обрамляющие сфероиды (с помощью алгоритма Хичаяна).

Метод рекомбинации кластеров заключается в генерации на месте исходной группы частиц новой, но со схожими параметрами. Для достижения данной цели требуется сначала выделить слои. Для этого, достаточно отсортировать частицы в порядке удаления от центра. Для удобства дальнейшей генерации перед этим частицы отображаются в единичный шар. Внутри каждого слоя вычисляется средняя круговая скорость, на основе нее вычисляются хаотические компоненты скорости, усредняя которые находятся средняя хаотическая скорость внутри слоя.

Для генерации нового кластера достаточно случайно создать в каждом слое необходимое количество частиц. Начальные скорости задаются как сумма двух компонент – линейная скорость вращения данного слоя как твердого тела вокруг оси плюс хаотическая компонента. Важным параметром метода является коэффициент понижения размерности – то есть то, во сколько раз уменьшится количество частиц в каждом кластере.

В вышеупомянутом проекте образующиеся кластеры соответствуют модели, представленной в данной работе. Для аппробации метода использовалась система, из 4754 частиц, спустя 11.3 орбитальных периодов выделено 3 наиболее крупных кластера в них была произведена рекомбинация. Важно упомянуть также о необходимости исследования границы применимости метода, так как в исследуемой задаче оказалось неправильным уменьшать количество частиц меньше определенного порога. Подробнее об этом написано в работе, а я это продемонстрирую на примере кластера из 940 частиц рекомбинированного с КПР 2.5 до 376 частиц. Сначала рассмотрим его поведение вне системы. Изображения представлены в момент замены, спустя малый промежуток времени (четверть орбитального периода) и спустя 10 орбитальных периодов. Как видно, сжатие происходит лишь по толщине при этом угловая скорость сохраняется, теряется часть хаотической энергии. Это неизбежная плата за оптимизацию.

Сравним теперь поведение системы целиком с и без замены кластеров. На данном фрагменте видео показана эволюция системы на котором можно пронаблюдать слияния и общую динамику. Синим отмечены частицы из модифицированной системы, а красным – исходные. Важно отметить, что при рассмотрении кластеров здесь негативный эффект от замены менее выражен.

В момент замены была подсчитана средняя ошибка силы. На слайде красным отмечена средняя ошибка иерархических алгоритмов на наиболее часто используемом интервале параметров. Зеленым отмечена ошибка в исследуемой системе. Для ее нахождения была посчитана сила, действующая на каждую частицу вне заменяемых кластеров до и после замены. Относительная ошибка вычислялась на основе средней длины разниц полученных векторов для каждой частицы. В результате, ошибка оказалась меньше, чем в подобном анализе иерархических алгоритмов.

В итоге количество частиц уменьшилось примерно в 1.36 раза, а время одной итерации в 1.8, то есть наблюдается прогнозируемый квадратичный рост производительности как раз за счет оптимизации расчётов именно в той части системы, которая претерпевает замедление из-за расчётов прямым методом.

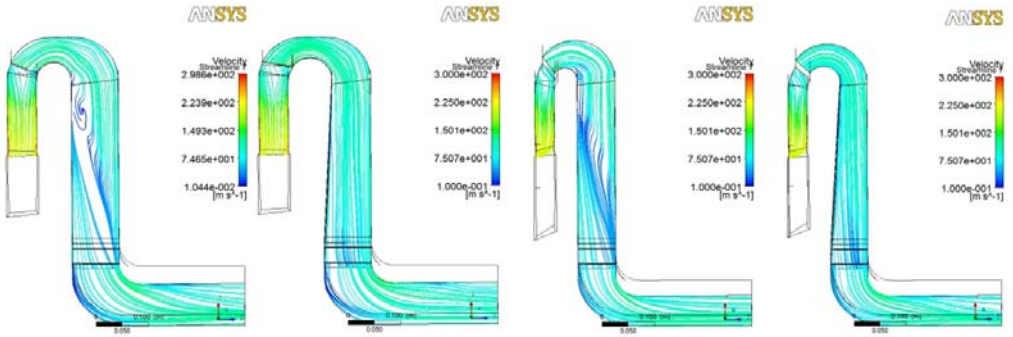
В качестве заключения хочется отметить следующие факты. Метод разработан, реализован программно и апробирован на реальной задаче. На рассматриваемом примере скорость расчетов увеличилась примерно в 1.8 раз. Данный метод основан на предположении о выполнении модели кластера, а значит его применение возможно и в других задачах, с другим потенциалом. Данный метод дополняет уже используемые методы оптимизации расчетов, а значит может улучшить текущие результаты. Данный метод безусловно вносит погрешность в моделирование, но погрешность эта невелика.

ВЛИЯНИЕ ФОРМЫ ПОВОРОТНОГО КОЛЕНА НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ НЕПОДВИЖНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ СТУПЕНИ ПРОМЕЖУТОЧНОГО ТИПА ЦЕНТРОБЕЖНОГО КОМПРЕССОРА

Л.Н. Маренина
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

В многоступенчатых центробежных компрессорах для изменения направления потока газа и подведения его в рабочее колесо следующей ступени используются обратно-направляющие аппараты (ОНА). Рекомендации по проектированию ОНА, а также неподвижных элементов (НЭ) в целом, описаны в соответствующих разделах монографии [1]. Проведенные исследования НЭ методами CFD-расчетов показали значительное влияние формы поворотного колена (ПК) на работу последующих элементов ступени. Наиболее важен рациональный выбор двух основных геометрических соотношений ПК – относительной высоты лопатки на входе в ОНА b_5/b_4 и относительного радиуса закругления ПК R_s/b_4. Определенные указания на выбор этих соотношений дают результаты CFD-анализа в работах [2–5]. Ниже приводятся основные итоги исследований, полученные положительные результаты и рекомендации для дальнейшей оптимизации НЭ.

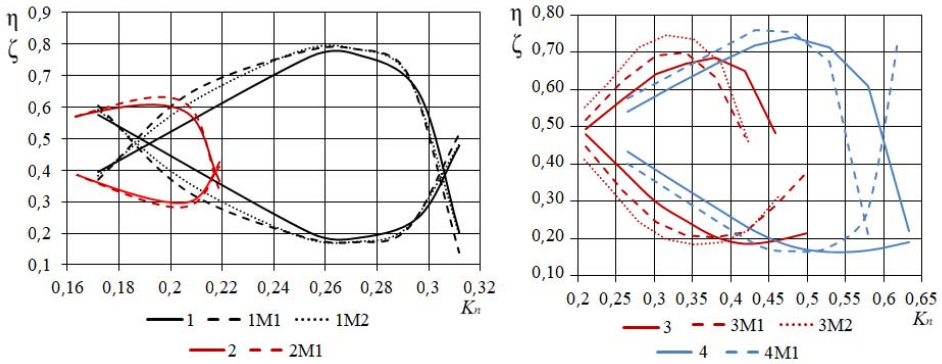
Варианты НЭ с лопаточным диффузором (ЛД). Рассмотрены три варианта НЭ ступени средней быстроходности с относительной высотой лопаток ЛД b_3/D_2 = 0,060 (варианты 1, 1М1 и 1М2) и два варианта малорасходной ступени с b_3/D_2 = 0,039 (варианты 2 и 2М2). Проведена модификация путем уменьшения высоты лопаток на входе в ОНА. Улучшение характера течения при уменьшении диффузорности ПК и увеличении относительного радиуса демонстрирует рис. 1. Варианты с лучшей организацией течения предпочтительнее потому, что нестационарный характер течения с отрывом создает нестационарные нагрузки на ротор и статор компрессора. Это может быть опасно, особенно при высоком рабочем давлении. Рассчитанные характеристики КПД и коэффициента потерь неподвижных элементов также показывают преимущество вариантов с лучшей организацией течения – рис. 2а).



вариант 1 вариант 1М1 вариант 2 вариант 2М1

Рис. 1. Линии тока в меридиональной плоскости вариантов НЭ на оптимальном режиме

Варианты НЭ с безлопаточным диффузором. В качестве исходного объекта исследования были выбраны три группы НЭ с разной быстроходностью. Геометрические параметры ступеней с разной формой ПК приведены в табл. 1. У варианта 3М2 изменена относительная ширина БЛД.



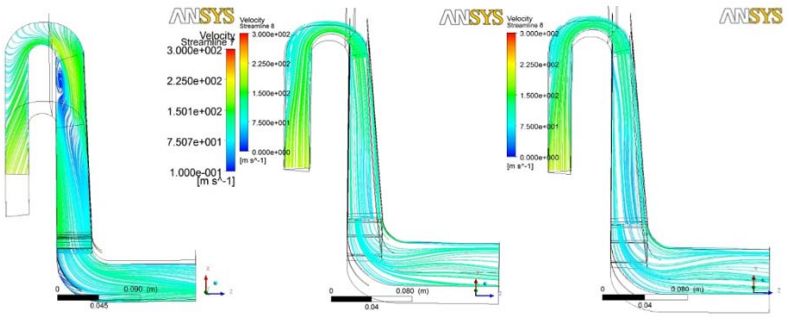
а) НЭ с лопаточным диффузором б) НЭ с безлопаточным диффузором

Рис. 2. Характеристики КПД и коэффициента потерь НЭ при разной форме поворотного колена

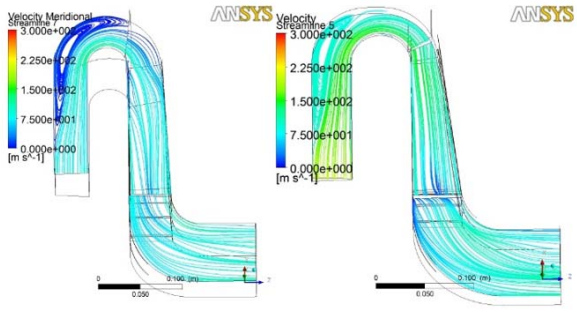
Таблица 1. Соотношение размеров НЭ ступеней с БЛД до и после модификации

Вариант	3	3М1	3М2	4	4М1
b_3/D_2	0,0625	0,0625	0,0535	0,1000	0,1000
b_5/b_4	1,2000	0,6800	0,7900	1,0000	0,6800
R_s/b_4	0,6000	0,7600	0,8900	0,6000	0,7600

Рассчитанные характеристики КПД и коэффициента потерь представлены на рис. 2б. У ступеней со средней и большой быстроходностью форма ПК влияет не только на течение в последующей лопаточной решетке ОНА, но и на течение в БЛД – пример на рис. 3.



вариант 4 вариант 4М1 вариант 4М2



вариант 5 вариант 5М1

Рис. 3. Линии тока в меридиональной плоскости, $\alpha_3 = 25^0$

Даже при отсутствии замедления потока в ПК с b_5/b_4 = 1,0 в БЛД и ПК присутствует интенсивная зона отрыва. Конфузорное поворотное колено с b_5/b_4 = 0,68 только частично улучшает картину течения.

Исследование влияния формы ПК на характеристики неподвижных элементов центробежного компрессора дало положительные результаты. Проведенная оптимизация показала целесообразность

уменьшения высоты лопаток на входе в ОНА. Уменьшение диффузорности ПК позволяет добиться лучшей организации потока и повысить КПД неподвижных элементов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ю.Б. Галеркин. Турбокомпрессоры. Рабочий процесс, расчет и проектирование проточной части. М.: ООО «Информационно-издательский центр «КХТ», 2010. – 596 с.

2. Marenina L., Galerkin Y., Soldatova, K. Computational fluid dynamics application for analysis of centrifugal compressor stage stator part. – International Journal of Mechanical Engineering and Robotics Research. – 7 (6), pp. 656–661. DOI: 10.18178/ijmerr.7.6.656-661.

3. Галеркин Ю.Б., Маренина Л.Н. Исследование и совершенствование неподвижных элементов центробежных ступеней методами вычислительной газодинамики. Часть 1 // Компрессорная техника и пневматика. – 2014. – № 1. – С. 30–36.

4. Y. Galerkin, L. Marenina, K. Soldatova. CFD wind tunnel tests of Centrifugal stage return channel vane cascades. ASME Gas Turbine India Conference. – 2015. – GTINDIA2015-1216. – http://www.asmeconferences.org/GTIndia2015/PaperAccepted.cfm?noToolbar=yes.

5. Маренина Л.Н. CFD-моделирование и анализ характеристик неподвижных элементов проточной части центробежной компрессорной ступени // Компрессорная техника и пневматика. – 2016. – № 3. – С. 27–35.

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ ПРОХОЖДЕНИЯ РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ЧЕРЕЗ ТЕЛО ЧЕЛОВЕКА

В.В. Марковцев

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)

Основной целью работы являлся расчет спектрального состава рентгеновского излучения при взаимодействии с биологическими тканями. Знание законов ослабления излучения во этих случаях позволяет как определять радиационную нагрузку на пациента, так и требования к приемнику излучения.

Расчеты позволяют учесть ослабление в прострельной мишени рентгеновской трубки, выпускном (бериллиевом) окне, фильтре, установленном на пути пучка, воздушном промежутке между трубкой и приемником, а также определить мощность экспозиционной дозы и эффективной эквивалентной дозы (ЭЭД).

Эффективная эквивалентная доза – величина, используемая как мера риска возникновения отдаленных последствий облучения всего тела человека и отдельных его органов и тканей с учетом их радиочувствительности. Определение значения эффективной дозы на практике представляет значительные сложности, т.к. она не может быть непосредственно измерена и требует проведения сложных расчетов.

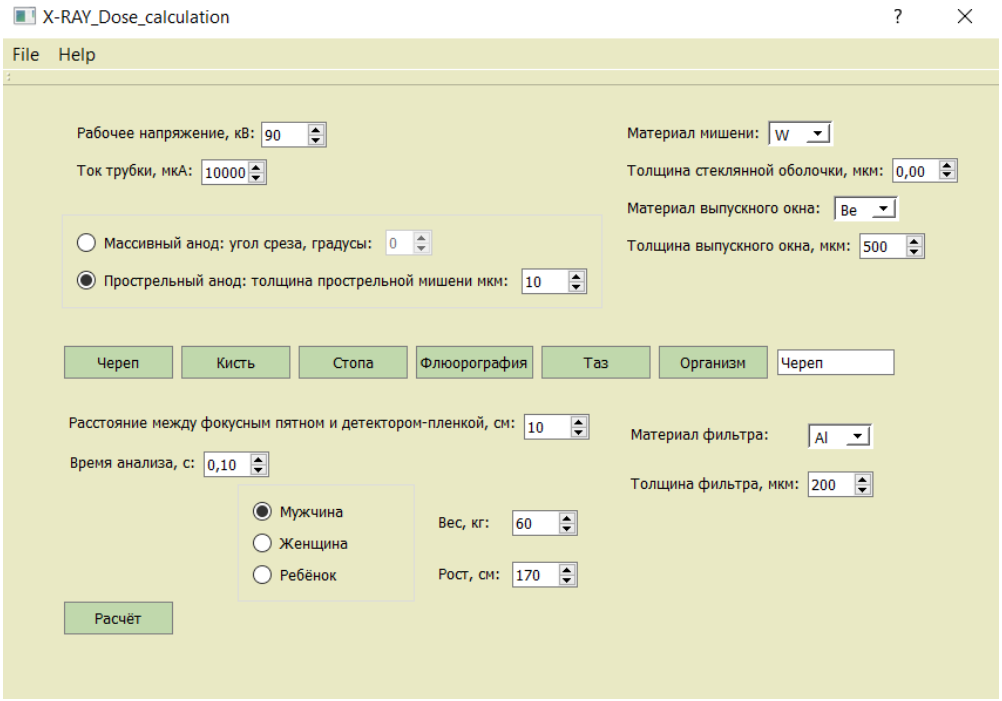


Рис. 1. Основное окно программы

Исходные данные для расчета итоговой спектральной зависимости излучения (перед плоскостью приемника) должны включать:

- технические характеристики аппаратуры (тип и материал анода, тип и толщину выпускного окна, ток и напряжение трубки;
- рентгенооптическую схему съемки (фокусное расстояние и расстояние от объекта до приемника в случае съемки с увеличением);
- состав тканей просвечиваемого объекта (при просвечивании брюшной полости преобладают мягкие ткани, при рентгенографии таза – костные).

Эксперименты с рентгеновским излучением затрудняет еще и то обстоятельство, что при их проведении необходимы строгие меры по обеспечению радиационной безопасности. Одним из наиболее перспективных вариантов решения данной проблемы при разработке рентгеновской аппаратуры или новых методик ее эксплуатации является компьютерное моделирование.

Разработанная компьютерная программа для моделирования взаимодействия излучения с веществом (рис. 1) даёт возможность получать рентгеновские спектры изучения для различных материалов мишени и фильтра. Программа позволяет варьировать тип, материал и геометрию анода и выпускного окна, толщину и материал фильтра, величины рабочего напряжения и тока трубки, расстояния между фокусным пятном и детектором-плёнкой, а также времени анализа.

В процессе выполнения программы также выполняется расчет мощности экспозиционной дозы, а также эффективной эквивалентной дозы. На рис. 2 представлены результаты выполнения программы при облучении мужского черепа при заданных параметрах трубки.

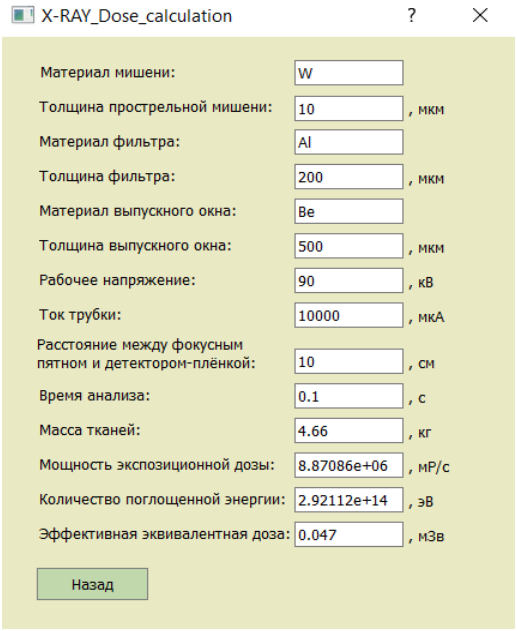


Рис. 2. Окно с результатами расчета

Достоинством разработанного программного комплекса является то, что он позволяет проследить, как изменяется эквивалентная доза облучения при изменении режимов съемки, что может быть использовано при разработке новой аппаратуры или модернизации методик съемки. Использование программы позволяет значительно сократить расходы на этапе предэскизного проектирования, что существенно скажется на стоимости рентгеновских трубок и аппаратуры, в состав которой они входят, а также повысить качество обследования пациентов.

ВЫСОКОЧАСТОТНЫЙ ТРАНЗИСТОРНЫЙ ГЕНЕРАТОР НА БАЗЕ КАРБИДКРЕМНИЕВЫХ СИЛОВЫХ ТРАНЗИСТОРОВ

В.Д. Марченко
СПбГЭТУ «ЛЭТИ»

Работа посвящена разработке источника питания для электротехнологической установки индукционного нагрева. Установка представляет собой генератор переменного напряжения, рассчитанный на мощность 1 кВт и 40 кГц, с напряжением питания от бытовой электросети, и подключённый к нему индуктор с компенсирующей ёмкостью, образующих колебательный контур.

В импульсной технике основное внимание уделялось мощным биполярным транзисторам, позже стали собирать технику, используя тиристоры, которые можно было запереть только, подавая обратное напряжение. Такая техника была сложна в исполнении, а её надёжность оставляла желать лучшего. Первыми электронными ключами, выполненными на основе полупроводниковых монокристаллических структур, были биполярные транзисторы. Более простыми в управлении стали МОП (MOSFET) транзисторы. Их главным недостатком было большое сопротивление открытого канала. Новым этапом в развитии полупроводниковой электроники стало появление БТИЗ (IGBT) транзисторов, сочетающих в себе структуру биполярного и полевого транзисторов. Освоение производства карбидокремниевых монокристаллов позволило производить новые МОП транзисторы, которые по своим характеристикам превосходят транзисторы прошлых поколений [1].

В настоящее время импульсные источники питания встречаются повсеместно. Например, частотно-регулируемый привод, применение которого позволяет плавно и эффективно регулировать электрические машины. Использование карбид кремния позволяет расширить границы использования полупроводниковой техники, когда при одних и тех же массогабаритных показателях возрастет эффективность и перегрузочная способность источников питания.

Достоинство данного типа транзисторов заключается в пониженных потерях на коммутацию, повышенном напряжении между истоком и стоком, величине тока между ними и увеличенная теплопроводность кристалла, что увеличило диапазон рабочих температур. К недостаткам можно отнести дороговизну и диапазон управлявшего напряжения -10 В, +25 В (±30 у аналогов), что требует применение специализированных драйверов.

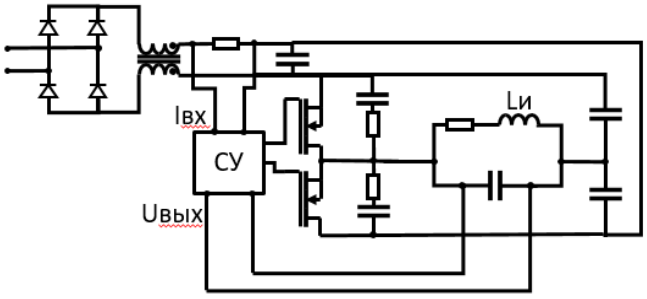


Рис. 1. Принципиальная электрическая схема

В работе был выполнен расчёт электрических компонентов и моделирование электрических схем с помощью симулятора LTSpice [2]. В результате были сделаны следующие пункты проектирования: разработка функциональной и принципиальной схем, моделирование электрической схемы в среде LTspice, выбор компонентов и разводка печатной. Разработка управляющего контроллера не вошла в состав проекта. Завещающим этапом разработки стало создание опытного образца, который сейчас проходит стадию отладки.

Главными особенностями схемы (рис. 1) стало апробирование карбидокремниевых транзисторов и современных систем управлений. Использование драйвера UCC21520DW помогает совместить плюсы аналоговой и удобство программного метода. Драйвер имеет отдельный вход DISABLE, который отвечает за формирование цепи аналоговой защиты.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ефименко С.А., Белоус А.И., Турцевич А.С. Полупроводниковая силовая электроника. Издательство БИНОМ, 2014. – 704 с.

2. Володин В.Я. LTspice: компьютерное моделирование электронных систем. Издательство БХВ-Петербург, 2010. – 389 с.

АПРИОРНАЯ ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ПРИ РАСЧЁТАХ ФЕРМ

В.С. Махова

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ)

При расчёте усилий в стержнях статически определимой фермы часто применяют метод узлов. Правильность результата можно проверить при расчёте предпоследнего узла обращением в тождество одного из уравнений условий равновесия. Окончательная проверка выполняется на последнем узле при обращении в тождество двух уравнений системы. Приближённые вычисления приводят к нарушению тождеств. Метод треугольников позволяет априорно оценить необходимую точность округлений величин в процессе приближённых расчётов. Тема исследования появилась после выполнения индивидуального домашнего задания

по теоретической механике. В этом задании нужно было определить усилия в стержнях заданной фермы. Ферма предлагалась статически определимая [1]. Правильность вычислений можно было проверить самостоятельно. Однако на заключительном этапе, при расчёте последнего узла фермы условия правильности вычислений, как правило, не выполнялись [2]. Руководителем была поставлена задача оценить точность вычислений в этом задании. Для этого потребовалось разобрать методическую схему решения задачи [3]. На первом этапе выполнения задания нужно было проверить выполнение условия статической определимости фермы. Это следствие из формулы П.Л. Чебышева. Шарнирно-рычажная система должна иметь нулевую степень свободы. Если число степеней свободы будет положительным, то вместо фермы будет подвижный механизм. При отрицательном числе степеней свободы ферма становится статически неопределимой и переходит из области теоретической механики и сопротивления материалов в область строительной механики. Следствие из формулы П.Л. Чебышева для фермы имеет вид: Ст=2Ш-3, где Ст – количество стержней, Ш – число шарниров. Второй этап связан с определением реакций опор. Первая, вторая и третья форма условий равновесия плоской системы сил имеют традиционный вид с известными из курса теоретической механики ограничениями на точки и оси. После определения реакций опор началось последовательное изучение узлов фермы – это третий, заключительный этап выполнения задания. Узлы фермы надо изучать в такой последовательности, чтобы в очередном исследуемом узле сходилось не более двух изучаемых стержней, усилия в которых пока не определены. Это связано с тем, что условие равновесия плоской системы сходящихся сил имеет два уравнения. Дополнительно к заданию была исследована простейшая треугольная ферма. На втором, предпоследнем узле была выполнена частичная проверка, или полупроверка, полученных усилий в стержнях. Одно из двух уравнений системы должно обязательно превратиться в тождество.

$$OY: \quad Y_B - F_{AB}\cos 30^0 = 0 \;;\; \frac{F}{2} - \frac{F}{\sqrt{3}}\cdot\frac{\sqrt{3}}{2} = 0 \;;\; 0{=}0 \text{ (истинно).}$$

$$OX: \quad F_{BC} = F_{AB}\sin 30^0 = \frac{F}{2\sqrt{3}} \approx 0,288675135\,F\,.$$

Схема полной и окончательной проверки полученного результата показана на рис. 1. Исследуя последний узел, выполняется полная проверка полученных усилий в стержнях плоской статически определимой фермы:

$$OY: \quad Y_{\tilde{N}} - F_{A\tilde{N}}\cos 30^0 = 0 \;;\; \frac{F}{2} - \frac{F}{\sqrt{3}}\cdot\frac{\sqrt{3}}{2} = 0 \;;\; 0{=}0 \text{ (истинно).}$$

$$OX: \quad -F_{BC} + F_{AC}\sin 30^0 = 0 \;;\; \frac{-F}{2\sqrt{3}} + \frac{F}{\sqrt{3}}\cdot\frac{1}{2} = 0 \;;\; 0{=}0 \text{ (истинно).}$$

Однако тождества получаются, если пользоваться точными значениями полученных ранее усилий и тригонометрических функций [4]. Если пользоваться приближёнными значениями сил и тригонометрических функций, то появится невязка, ошибка во время выполнения проверок. Насколько можно округлять точные значения? Это основной вопрос исследования в проведённой работе. Пример – все значения округляем до одного десятичного знака после запятой. Реакции опор (шарнира и катка) выражаются точными числами относительно активной силы F, то есть $Y_B = Y_C = 0,5F$. Усилия в стержнях АВ и АС выражаются приближёнными числами $F_{AB} = F_{AC} = \frac{F}{\sqrt{3}} \approx 0,577350269 \approx 0,6$. При изучении предпоследнего узла В во время полупроверки результата появляется невязка, ошибка $OY: \quad Y_B - F_{AB}\cos 30^0 = 0 \;;\; 0,5F - 0,6F\cdot 0,9 = 0;\; -0,04F = 0$.

Абсолютная ошибка $\Delta F = 0,04$. Относительная ошибка $r = \frac{\Delta F}{F} = 0,04\,(4\%)$.

Усилие в стержне ВС тоже окажется вычисленным приближённо

$OX: \quad F_{BC} = F_{AB}\sin 30^0 \approx 0,6F\cdot 0,5 \approx 0,3F$.

При изучении последнего узла С фермы условия системы уравнений в общем случае будут выполняться приближённо. В рассмотренном примере одно условие выполняется точно, а второе приближённо.

$$OY: \quad Y_{\tilde{N}} - F_{A\tilde{N}}\cos 30^0 = 0 \;;\; 0,5F - 0,6F\cdot 0,9 = 0;\; -0,04F = 0.$$

$$OX: \quad -F_{BC} + F_{AC}\sin 30^0 = 0 \;;\; OX: \quad -0,3F + 0,6F\cdot 0,5 = 0$$

Абсолютная ошибка $\Delta F = 0,04$. Относительная ошибка $r = \frac{\Delta F}{F} = 0,04\,(4\%)$.

Вывод по расчёту простейшей треугольной фермы.

Если пользоваться приближёнными значениями с одним десятичным знаком после запятой, то методическая ошибка будет равна 0,04 (4%). В табл. 1 приведено обобщение ошибок, получающихся при

различных округлениях чисел в процессе решения задачи. Общая ошибка зависит от числа треугольников, как устойчивых фигур, в конструкции фермы.

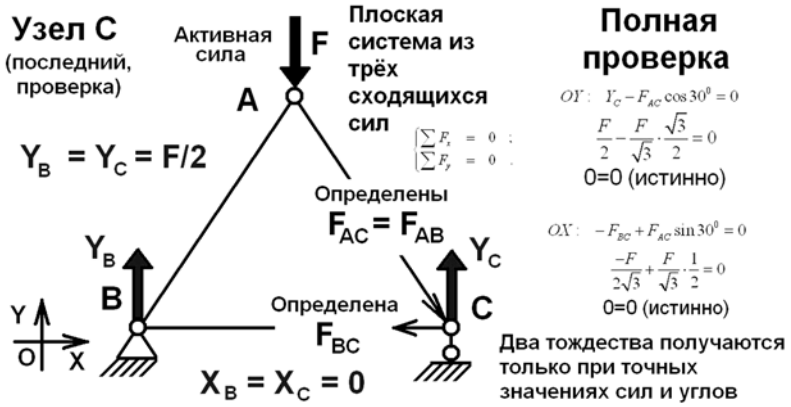


Рис. 1. Полная проверка на последнем узле

Таблица 1. Результаты оценки точности вычислений

Округл.	$\pm 0,05$ 0,1		$\pm 0,005$ 0,01		$\pm 0,0005$ 0,001	
Ферма	Точность	Ошибка	Точность	Ошибка	Точность	Ошибка
1 треуг.	0,95	0,05	0,995	0,005	0,9995	0,0005
2 треуг.	0,9025	0,0975	0,9899	0,0101	0,9990	0,0010
3 треуг.	0,8573	0,1427	0,9849	0,0151	0,9985	0,0015
4 треуг.	0,8144	0,1856	0,9801	0,0199	0,9980	0,0020
5 треуг.	0,7737	0,2263	0,9752	0,0258	0,9975	0,0025
N треуг.	$0,95^N$	$1-0,95^N$	$0,95^N$	$1-0,95^N$	$0,95^N$	$1-0,95^N$

В реальном задании относительная ошибка оказалась равной 12%, потому что в конструкции фермы было 5 треугольников, а промежуточные значения округлялись до десятых или сотых долей. Это означает, что относительная ошибка была заранее предсказуема и составляла от 3% до 23%. Малые относительные ошибки получились в тех вариантах, кто пользовался округлениями до 4-6 знаков после запятой. Вывод однозначен. Сотые и даже тысячные доли в значениях тригонометрических функций могут привести к существенной ошибке в конечном результате. Чтобы избежать больших невязок, надо пользоваться более точными приближениями, как в четырёхзначных таблицах Брадиса, а лучше, в шестизначных, но конечно, теперь уже с применением компьютерной техники.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мещерский И.В. Сборник задач по теоретической механике / Под ред. Н.В. Бутенина и др. – М.: Наука, изд. Физ-мат. лит., 1975.

2. Бутенин Н.В., Лунц Я.Л., Меркин Д.Р. Курс теоретической механики. Том 1. Статика и кинематика. – М.: Наука, изд. Физ-мат. лит., 1979.

3. Ковригин И.И. Расчёт плоских ферм. Методические указания, примеры выполнения задания и варианты контрольных работ. – М.: МГСУ, 2012. – 24 с.

4. Махова В.С. Оценка точности вычислений при проектировании ферм / П99 V Музруковские чтения: Материалы Международной научно-практической конференции, 3-4 октября 2019 г. ГБПОУ СПТ им. Б.Г. Музрукова, отв. за выпуск И.В. Столяров. – Саров: Интерконтакт, 2019. – 271 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПУТЕЙ ОПТИМИЗАЦИИ КОНСТРУКЦИИ И РАБОТЫ УСТАНОВКИ ВЫРАЩИВАНИЯ МОНОКРИСТАЛЛОВ КРЕМНИЯ

***А.О. Орлов**, В.С. Баженов*

ФГБОУ ВО Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина

Актуальность данной работы связана с перспективой внедрения в установки для выращивания монокристаллов методом Чохральского магнитожидкостных герметизаторов (МЖГ), предназначенных для герметизации валов, совершающих возвратно-вращательное движение.

Современные темпы развития микроэлектроники выдвигают всё более жесткие требования к качеству производимых материалов. Степень повышения качества материалов электронной техники сильно зависит совершенства технологического оборудования.

В настоящее время арсенид галлия (GaAs) является одним из самых применяемых полупроводниковых материалов при производстве разнообразных приборов и микросхем [1, 2]. Получение монокристаллов GaAs базируется в основном на методе Чохральского с жидкостной герметизацией расплава (LEC-метод). В выращенных монокристаллах GaAs наблюдается образование и размножение дислокаций различного типа. Иногда они группируются в скопления, сильно ухудшающие структуру слитков. Для многих областей применения монокристаллов наличие дислокаций, особенно их скоплений, нежелательно. Исследованиями установлена прямая связь между величинами температурных градиентов, температурными напряжениями и количеством дислокаций [3, 4].

Термические напряжения, возникающие в процессе охлаждения слитка, частично снимаются при появлении дислокаций. В свою очередь, дислокации вызывают напряжения в выращенном кристалле после его охлаждения. Термические напряжения можно уменьшить подбором физических параметров теплового узла и условий выращивания, обеспечивающих уменьшение градиентов температуры в слитке в процессе выращивания и охлаждения.

Таким образом, анализ механизмов формирования структурного совершенства в выращиваемых монокристаллах GaAs позволяет сделать вывод, что он обусловлен, главным образом, несовершенством конструкции теплового узла ростового оборудования.

На рис. 1 представлена вакуумно-кинематическая схема промышленной ростовой установки [5].

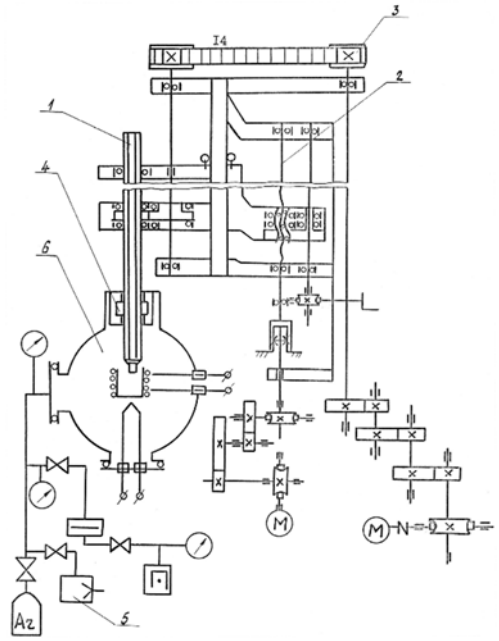


Рис. 1. Вакуумно-кинематическая схема установки выращивания монокристаллов НИИ «Полюс»

Анализ конструкции механизма привода установки, имеющего сложную кинематическую цепь, позволяет сделать вывод о том, что данный механизм имеет значительную кинематическую погрешность, а применяющиеся сальниковые уплотнения не обеспечивают надежной герметизации вакуумной камеры.

В связи с этим предлагается оптимизировать конструкции элементов теплового узла, для минимизации неравномерности и уровня температурных градиентов в выращиваемом слитке монокристалла. Одним из вариантов модернизации установки является замена сальникого уплотнителя магнитожидкостным герметизатором.

Целью данной работы является проектирование МЖГ и расчёт распределения магнитной индукции в нём.

Достоинствами данного технического решения являются:

- возможность поддержания требуемого уровня вакуума на всём сроке технической эксплуатации;
- срок службы и межремонтные циклы очень длительны;
- стабильно работают в таких условиях как: сверхвысокий вакуум, очень высокие температуры, десятки тысяч об/мин, давление до нескольких атмосфер;
- не требуют постоянного обслуживания и контроля;
- не подвергаются износу, в отличии от традиционных уплотнителей;
- так как уплотняющая среда — это жидкость, трения между вращающимися и стационарными деталями практически нет.

Основной характеристикой МЖГ является рабочий перепад магнитной индукции под зубцами. Из-за малого размера рабочего зазора 0.1–0.25 мм, прямое измерение магнитной индукции невозможно, что делает моделирование необходимым этапом проектирование МЖГ [6].

Для решения поставленной задачи был спроектирован магнитожидкостный герметизатор со следующими параметрами: диаметр вала 20 мм. Скорость вращения вала 25 об/мин. МЖГ предназначен для герметизации вакуума 10^{-5} Па, при передаче вращательного движения в камеру.

На этапе проектного расчёта [7,8] определены геометрические размеры рабочего зазора, которые составили: шаг зубца b=2мм, величина площадки при основании зуба t=0,3 мм, угол при основании α=45°. Величина рабочего зазора δ=0,2 мм. выбиралась из технологических требований и конструктивных соображений. В качестве материала магнитопровода герметизатора использовалась стали марок: Сталь 10, с величиной индукции магнитного насыщения 2,1 Тл и Сталь 20Х13 с индукцией магнитного насыщения 1,78 Тл, при напряжённости магнитного поля 50 кА/м. В качестве источника магнитного поля использовались самарий – кобальтовые «закритические» магниты КС37, которые имели 1-5 класс по магнитным свойствам [9].

На рис. 2 представлена конструкция магнитной цепи МЖГ.

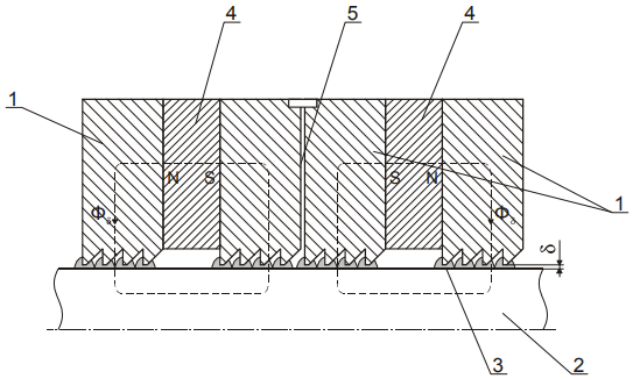


Рис. 2. Конструкция магнитной цепи МЖГ. 1 – полюсные приставки; 2 – вал;
3 – магнитная наножидкость; 4 – постоянные магниты; 5 – заправочный канал

Было произведено моделирование магнитной индукции в рабочем зазоре МЖГ в программной среде FemmLab. В результате была получена картина распределения магнитной индукции в рабочем зазоре герметизатора. Результаты моделирования показали, что спроектированный герметизатор сможет обеспечить требуемый уровень давления, и, соответственно, может быть использован в установке для выращивания монокристаллов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шур М. Современные приборы на основе арсенида галлия: пер. с англ. / М. Шур. – М.: Мир, 1991. – 632 с.

2. Уиссмен У. Арсенид галлия в микроэлектронике: пер. с англ. / У. Уиссмен, У. Френсли, У. Дункан. – М.: Мир, 1988. – 555 с.

3. Мильвидский М.Г. Структурные дефекты в монокристаллах полупроводников / М.Г. Мильвидский, В.Б. Освенский. – М.: Металлургия, 1984. – 256 с.

4.Эйдензон А.М. Условия возникновения дислокаций в первоначально бездислокакационных монокристаллах кремния, выращенных из расплава / А.М. Эйдензон // Изв. АН СССР. Сер. Физическая. 1980. Т. 44. № 2. Т. 44 – С. 312–319.

5. Ковалев Л.К. Вакуумное оборудование для производства тонкопленочных структур квантовой электроники // Обзоры по ЭТ, серия 11. Лазерная техника и оптоэлектроника. – 1982, вып. 2 (886). – 83 с.

6. Сайкин М.С. Магнитожидкостные герметизаторы технологического оборудования: Монография. – СПБ.: Издательство «Лань», 2017. – 136 с.

7. Михалёв Ю.О., Орлов Д.В. К проектному расчёту магнитожидкостных уплотнений // Материалы Всесоюзного семинара по проблемам намагничивающихся жидкостей: Тез. докл. – Иваново, 1979. – С. 40–41.

8. Орлов Л.П., Фертман В.Е. Принципы расчёта и конструирования магнитожидкостных уплотнений // Магнитная гидродинамика. – 1980. – N 4. – С. 89–101.

9. Магниты постоянные на основе сплава неодим-железо-бор марки Ч36Р. Технические условия ТУ6391-002-55177547-2005 (Взамен ТУ 48-4-543-90 с изм.1,2).

ОСОБЕННОСТИ ФОРМОИЗМЕНЕНИЯ ТРУБНЫХ ЗАГОТОВОК В ПРОЦЕССАХ ТОРЦЕВОЙ РАСКАТКИ

Н.М. Потапов, *Л.Б. Аксенов*
Санкт Петербургский политехнический университет Петра Великого

Формообразование фланцев на трубных заготовках является важной проблемой. Фланцы используются для крепления труб как между собой, так и к другим деталям. Преимущество фланцевого соединения детали по сравнению сваркой является то, что оно является разборным и не требует специального оборудования. К настоящему моменту описано достаточное количество различных способов. Процесс раскатки представляет собой локальное деформирование вращающейся заготовки вращающимся инструментом [1, 2].

Получение внутренних фланцев и деталей типа стакан представляет дополнительную сложность, так как для течения метала во внутрь заготовки необходимо дополнительные условия, как например смещение ролика, что позволяет создать необходимое направление силы трения и тем самым способствовать нужному течению метала [3].

Целью работы является исследование влияния геометрии заготовки на устойчивость процесса изготовления фланцев с помощью раскатки.

В данной работе проведено исследование устойчивости процесса получения фланцев на трубных заготовках с помощью раскатки коническим роликом. Исследуется влияние геометрии заготовки на устойчивость процесса. Для этого выполнено моделирование в программном комплексе Deform-3D.

Схема раскатки, используемая в исследовании представлена на рис. 1. Угол наклона ролика принят 15 градусов, δ - смещение оси вращения ролика относительно оси вращения заготовки принято:

$$\delta = 0{,}25 \cdot D = 30 \text{ мм}.$$

Смещение оси вращения способствует формообразованию внутреннего фланца. Трение между заготовкой и роликом, Кулона 0,2. Инструмент принят абсолютно жестким и его деформация, и смещение не учитывается. Конический ролик: вертикальная подача 1.5 мм/об, скорость вращения 60 об/мин.

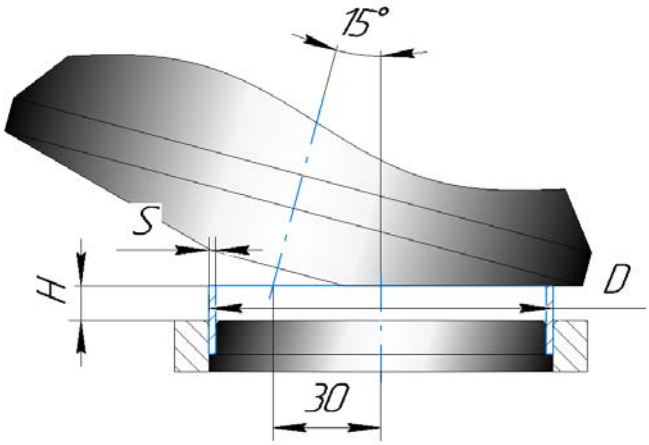


Рис. 1. Схема торцевой раскатки трубных заготовок

Таблица 1. Геометрические параметры раскатываемых трубных заготовок

№	D	S	H	D/S	H/S	D/H	Количество Конечных элементов	Рисунок
1	120	2	7	60	3.5	17.1	12848	2а
2	120	2	10	60	5	12	6500	2в
3	120	2	20	60	10	6	10465	2б

Абсолютные и относительные геометрические параметры представлены в табл. 1. Изменяемым параметром являлась выставляемая часть заготовки *H*. Материал заготовки сталь AISI-1045 которая является аналогом стали 45. Начальная температура процесса раскатки 20°.

Во всех вариантах раскатки заготовки были одного диаметра и толщины стенки, а также использовались одинаковые расположение ролика и режимы раскатки. Таким образом контакт между коническим роликом и заготовкой во всех случаях одинаков, на начальном этапе деформирования, а значит влияние силы трения исключается.

В результате моделирования были получены три различных вида формоизменения заготовки при раскатке (рис. 2).

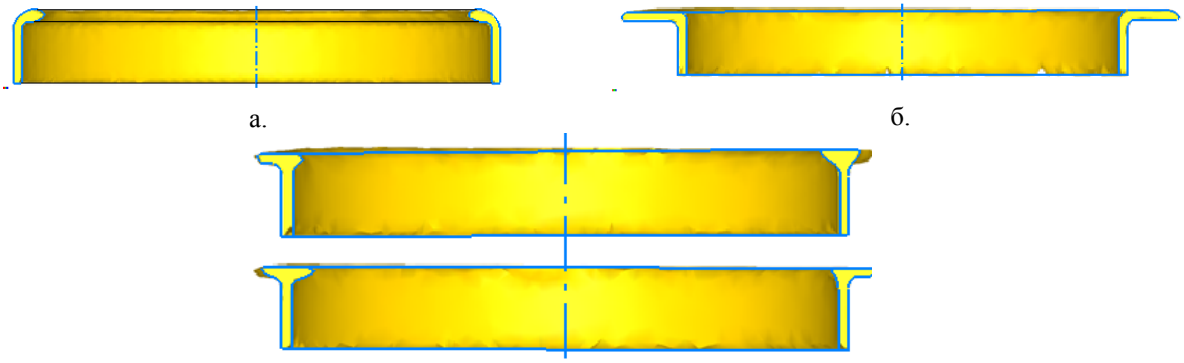


Рис. 2. Моделирование формоизменения трубной заготовки при изменении высоты выставленной части заготовки: а. – H=7мм; б. – H=20мм; в. – H=10мм

Внутренний фланец получился на детали с высотой выставленной части 7мм. Внешний фланец на детали с высотой 20мм. На детали с высотой стенки 10мм течение металла происходило в двух направлениях как во внутрь, так и наружу. Можно сделать вывод о влиянии выставленной части на геометрию получаемого фланца. Так, например, при $H/S \leq 3.5$ – получается внутренний фланец, при $H/S \geq 10$ – внешний фланец, при $3,5 < H/S < 10$ – зона осадки. Из-за небольшого количества экспериментов данные границы являются примерными, и требуют дальнейшего уточнения.

Таким образом, определено что при одинаковых режимах обработки, а изменяя только геометрию детали возможно получить различную геометрию раскатываемых фланцев.

По проведенному исследованию можно сделать вывод, что на формообразование фланцев при торцевой раскатке из трубных заготовок помимо геометрии инструмента и параметров процесса, большое влияние оказывает геометрия исходной заготовки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аксенов Л.Б., Кункин С.Н., Елкин Н.М. Торцевая раскатка фланцевых деталей трубных соединений // Металлообработка. 2011. № 3 (63). С. 31–36.

2. Гуринович В.А., Баландин Ю.А., Гурченко П.С., Колпаков А.С., Жарков Е.В., Исаевич Л.А., Сидоренко М.И. Торцевая раскатка деталей фланцевого типа // Автомобильная промышленность. 2005. № 9. С. 18–24.

3. Аксенов Л.Б., Кункин С.Н. Технология изготовления раскаткой осесимметричных деталей с фланцем. Современное машиностроение. Наука и образование, материалы Международной научно-практической конференции. Санкт-Петербург. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2013. с. 858–866.

ПРИМЕНЕНИЕ ПРОГРАММНОЙ СИСТЕМЫ MICROSHIELD В РАЗРАБОТКЕ КОНТЕЙНЕРА ДЛЯ ОБРАЩЕНИЯ С ОБЛУЧЁННЫМ ГРАФИТОМ

***Н.М. Сидоров**, А.В. Ившин*
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

В настоящее время существует достаточно большое количество программных комплексов, позволяющих произвести расчёт биологической защиты различной сложности [1, 2], однако эти программы используют в своём арсенале простую геометрию для источников излучения, что с учетом конструкции графитовых блоков требует внесения определённых допущений.

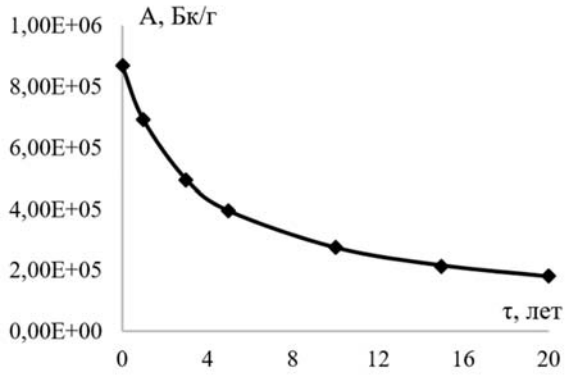
Расчёт биологической защиты контейнера для облученного графита представляет достаточно сложную задачу в связи с неоднородной структурой графита и большим разнообразием входящих в его состав радионуклидов, являющихся активными γ- и β- излучателям. Также графитовый блок имеет нестандартную геометрию в виде параллелепипеда с цилиндрической полостью, что накладывает определённые ограничения при расчётах.

Цель работы: применение программных систем для определения величины биологической защиты.

Задачи работы:

- определение исследуемого конструкционного материала, из которого будет изготовлен контейнер;
- оценка габаритных размеров в зависимости от уровня загружаемой активности и компоновки блоков;
- определение величины биологической защиты.

Зависимость удельной активности радионуклидов, находящихся в облученном графите, от времени выдержки, представлена на рис. 1.



Данные о радионуклидном составе были приняты на основании [3–7]. Основной вклад в активность после останова вносят β-излучатели ^{14}C и ^{3}H, а также γ-излучатели ^{60}Co, ^{65}Zn и ^{134}Cs. В течение 20-летней выдержки активность γ-излучателей достаточно сильно снижается, что позволит безопасно обращаться с облученным графитом, активность которого будет обусловлена ^{14}C.

Наиболее перспективными конструкционными материалами являются высокопрочный чугун с шаровидным графитом, медь, карбид кремния для изоляции высокоактивных отходов; углеродистая сталь, бетон и фибробетон, полиэтилен для изоляции средне- и низкоактивных отходов [8, 9].

MicroShield (MS) – программная система для расчетов биологической защиты и оценок доз γ-излучения, включающая возможности анализа различных конфигураций защиты и контейнеров, оценок облучения персонала и доз в материалах и многое другое. MS рекомендуется ИБРАЭ РАН наряду со многими отечественными продуктами, в т.ч. ДИАНА, ПОЛЕ, RADOFOR и др.

В программной системе MS были смоделированы различные варианты компоновки графитовых блоков для получения зависимости величины биологической защиты от числа загружаемых блоков.

Стоит отметить несравненные преимущества данного продукта по сравнению с аналогами:

- скорость вычислений;
- учёт радионуклидного состава источника ИИ;
- обширная база данных по материалам защит;
- возможность расчётов многослойных защит из различных материалов.

Подбор оптимальной компоновки графитовых блоков осуществлялся путем 3D-моделирования в системе AutoCAD. Габариты скомпонованных блоков представлены в табл. 1.

Таблица 1. Варианты компоновки графитовых блоков

N, шт.	Габариты, мм	N, шт.	Габариты, мм
35	864×1250×1250	105	1250×1750×1214
50	1250×1250×1214	120	1250×1500×2414
54	1114×1250×1500	126	1500×1750×1814
72	1250×1500×1500	147	1750×1750×1814
96	1500×1500×1500		

Таблица 2. Величина биологической защиты для различных материалов, необходимая для соблюдения критерия 0,1 мЗв/ч на расстоянии 1 м от поверхности согласно [10]

Исследование	$\Delta^{БЗ}_{min}$, мм			
	Бетон, ρ = 2,2 г/см^3	Тяжёлый бетон, ρ = 4,2 г/см^3	ВЧШГ, ρ = 7,2 г/см^3	Сталь, ρ = 7,8 г/см^3
ТПУ [3]	405,3 ± 3,6	218,4 ± 2,4	137,0 ± 1,8	126,9 ± 1,8
РНЦ КИ 2004 [4]	353,0 ± 4,0	190,0 ± 2,7	120,0 ± 2,1	111,0 ± 2,0
НИЦ КИ 2017 [5]	359,9 ± 4,0	195,0 ± 2,7	123,6 ± 2,1	114,1 ± 2,0
ПУГР ЭИ-2 [6]	209,6 ± 4,3	114,4 ± 3,0	72,9 ± 2,3	67,4 ± 2,2
НИКИЭТ [7]	404,9 ± 3,8	218,7 ± 2,6	138,1 ± 2,0	127,4 ± 1,9

В качестве конструкционных материалов были рассмотрены бетон с плотностью 2,4 г/см^3 (НЗК-150-1,5П), бетон с плотностью 4,0 г/см^3 (НЗК-III), высокопрочный чугун с шаровидным графитом с плотностью 7,2 г/см^3 и сталь с плотностью 7,8 г/см^3. Компоновка графитовых блоков осуществлялась с учетом существующих внутренних габаритов существующего парка контейнеров, а также с учетом транспортных габаритов. Пример перехода от компоновки графитовых блоков к расчётной модели представлен на рис. 2. Данное предположение обусловлено тем, что в графитовых блоках имеются

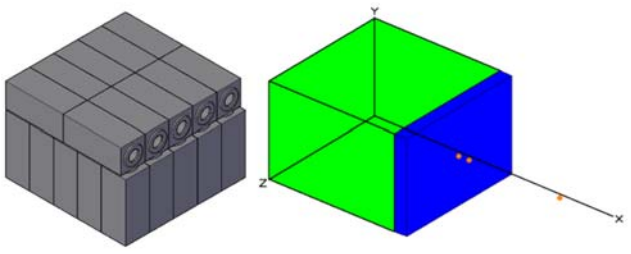


Рис. 2. Модель компоновки графитовых блоков в AutoCAD и MicroShield

отверстия, и объём, который они занимают, практически не является источником ионизирующего излучения. Величина биологической защиты определялась из требований, предъявляемых в [10]. Результаты исследования приведены в табл. 2.

В заключение стоит отметить, что применение программной системы MicroShield позволяет значительно ускорить процесс оценки применения конструкционных материалов, которые могут быть использованы в качестве биологической защиты, и подобрать наиболее оптимальный вариант загрузки радиоактивных материалов в контейнер.

ЛИТЕРАТУРА

1. Расчет ослабления гамма-излучения защитным железобетонным контейнером / И.И. Лощаков [и др.] // Научно-технические ведомости СПбГПУ: Наука и образование. №1 (95) – СПб., 2010. с. 211–215.
2. A. Ivshin, A. Kalyutik, A. Blagoveshchenskii. Investigation of the characteristics of the container for storage of radioactive waste of nuclear power plants with uranium-graphite reactors / International Scientific Conference on Energy, Environmental and Construction Engineering (EECE-2018) // MATEC Web Conf. Volume 245, 2018.
3. И.Ю. Новоселов, С.В. Макаревич, Е.Ю. Давыдов. Оценка состояния радиоактивных микропримесей в облученном графите уран-графитовых ядерных реакторов. Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека / Материалы V Международной конференции. ФГАОУ ВО "Национальный исследовательский Томский политехнический университет", Томск, 2016. – с. 465–468.
4. Былкин Б.К., Давыдова Г.Б., Краюшкин А.В., Шапошников В.А. Радиационные характеристики облучённого графита после окончательного останова АЭС с РБМК. Атомная энергия. 2004. Т. 97. № 6. – Москва, 2004. – с. 451–457.
5. Бурлаков Е.В., Г.Б. Давыдова, Л.Н. Захарова, А.В. Краюшкин. Расчеты радиационных характеристик облученного графита реакторов РБМК. НИЦ «Курчатовский институт», Москва, 2017. – 17 с.
6. Домашев Е.Д., Симановский В.М. Вывод из эксплуатации уран-графитовых реакторов. Пром. теплотехника – Киев, №4-5, т. 21, 1999. – с. 111–117.
7. М.А. Туктаров, Л.А. Андреева, А.А. Роменков. Кондиционирование реакторного графита выводимых из эксплуатации уран-графитовых реакторов для целей захоронения. РАС, Москва. 2016. – 23 с.
8. Павлов Д.И., Сорокин В.Т., Гатауллин Р.М., Шарафутдинов Р.Б. Состояние и основные направления создания парка контейнеров для кондиционирования и захоронения радиоактивных отходов. Ядерная и радиационная безопасность – Москва, № 3 (81). – 2016. – с. 18–29.
9. Радченко М.В., Кормилицына Л.А., Моргулян В.Г., Матюшин Ю.И. Многоцелевые упаковки для радиоактивных отходов. Радиоактивные отходы. Научно-технический журнал – Москва, № 1, 2017. – 114 с.
10. Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии «Правила безопасности при транспортировании радиоактивных материалов» (НП-053-16), 2016. – 174 с.

МЕХАНИЗМ ШАГАЮЩЕЙ МАШИНЫ

А.А. Скворцова

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» (НИУ МАИ)

Изобретение относится к области рычажных механизмов шагающих устройств. Работа над изобретением проводилась в течение пяти лет и продолжается [1-5]. Известны несколько типов механизмов для шагающих устройств, например, механизмы Клапна и Тео Янсена. Известен четырёхзвенный, если считать неподвижный корпус, лямбдаобразный механизм П.Л. Чебышева, состоящий из ведущего кривошипа 1, шатуна 2, коромысла 3 и корпуса 4, схема которого показана на рис. 1 слева. На рис. 1 слева представлена кинематическая схема четырёхзвенного лямбдаобразного механизма П.Л. Чебышева.

Этот механизм позволяет получить природную траекторию движения стопы человека или копыта животного, однако недостатком этого механизма является верхнее расположение точки шатуна, которая описывает эту природную траекторию. Нельзя перевернуть механизм для получения нижнего расположения природной траектории, потому что рабочий прямолинейный участок траектории относительного движения опоры тоже перевернётся и займёт верхнее положение над дугообразным участком переноса стопы-опоры в процессе шага. Известен механизм двойного шарнирного параллелограмма, схема которого показана на рис. 1 в центре. Этот механизм состоит из трёх пар параллельных рычагов. Параллельные коромысла 1 и 2 закреплены одними концами шарнирно на неподвижном корпусе 7, а к другим концам коромысел шарнирно прикреплён шатун 5, параллельно которому с помощью шатунов 3 и 4 установлен на шарнирах шатун 6. Механизм двойного параллелограмма позволяет выполнять параллельный перенос траектории движения точки, потому что траектории концов шатунов 5 и 6 одинаковые.

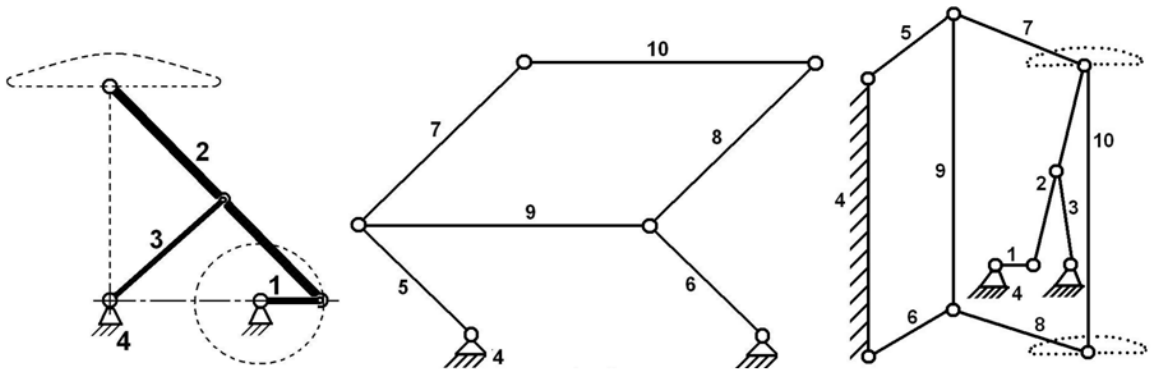


Рис. 1. Аналоги, прототип и новый механизм

Цель изобретения заключается в переносе траектории движения стопы-опоры шагающей машины из верхней части механизма в нижнюю часть.

Основу предлагаемого устройства составляет известный лямбдаообразный механизм П.Л. Чебышева, состоящий из ведущего кривошипа 1, шатуна 2 и коромысла 3. Шатун 2 соединяется с коромыслом 3 в центральной части с помощью цилиндрического шарнира. Ведущий кривошип 1 и коромысло 3 закреплены шарнирно на неподвижном корпусе 10. При вращении ведущего кривошипа 1 верхняя точка шатуна 2 описывает природную траекторию движения стопы человека или копыта животного. Исключительно для реализации этой траектории П.Л. Чебышевым фактически был разработан этот четырёхзвенный, если считать корпус 10, лямбдаобразный механизм. Четырёхзвенный лямбдаобразный механизм П.Л. Чебышева выбран в качестве прототипа для предлагаемого нового устройства. Недостатком лямбдаобразного механизма П.Л.Чебышева является верхнее расположение природной траектории движения стопы-опоры шагающей машины. При этом самая простая схема шагающего механизма – это один лямбдаобразный механизм, в котором опора закрепляется в верхней части шатуна в его расчётной рабочей точке. Но на практике опора всегда должна располагаться снизу корпуса, под корпусом, причём значительно ниже корпуса шагающей машины. Получилось противоречие. С одной стороны, получена природная траектория движения стопы-опоры. С другой стороны, природная траектория движения стопы-опоры не может быть реализована на практике, потому что находится выше самой шагающей машины. Перенос природной траектории движения стопы-опоры ниже шагающей машины – это далеко не тривиальная задача. Например, в стопоходящей машине П.Л. Чебышева, показанной на Всемирной выставке в Париже в 1895 году, смещение природной траектории движения стопы-опоры на верхней точке шатуна лямбдаобразного механизма вниз выполнено добавлением ещё одного такого же лямбдаобразного четырёхзвенного механизма с последующей синхронизацией движения двух дополнительных удлиняющих вертикальных шатунов. Если учесть, что шагающая машина должна иметь не менее четырёх опор, то необходимы четыре лямбдаобразных механизма, четыре вертикальных удлиняющих шатуна и пара связей этих шатунов для устранения дополнительной лишней степени свободы механизма. В новом устройстве предложено отказаться от второго лямбдаобразного механизма как необходимого дополнения к первому такому же механизму. В новом устройстве реализован перенос рабочей природной траектории стопы-опоры шагающей машины из верхней части машины в нижнюю часть машины с помощью двойного параллелограмма, показанного на рис. 1 и предназначенного именно для этой цели. На рис. 1 справа показана кинематическая схема предлагаемого механизма шагающей машины. Верхний шарнир шатуна 4 двойного параллелограмма соединен с верхней рабочей точкой шатуна 2 лямбдаобразного механизма, которая описывает природную траекторию стопы-опоры шагающей машины. Одинаковые шатуны 5 и 6 одними концами шарнирно соединены соответственно с верхним и нижним концами шатуна 4, а другими концами также шарнирно соединены соответственно с шатуном 7. Шатун 7 имеет такие же размеры, как шатун 4. Пары противоположно расположенных шатунов 4 и 7, 5 и 6 образуют первый шарнирный параллелограмм, считая от ведущего лямбдаобразного механизма с рычагами 1, 2, 3. К верхнему концу шатуна 7 и одновременно к левому концу шатуна 5 шарнирно крепится коромысло 8. Шатуны 5, 7 и коромысло 8 могут свободно вращаться друг относительно друга вокруг общих шарнирных осей. Точно также к нижнему концу шатуна 7 и к левому концу шатуна 6 шарнирно крепится коромысло 9. Шатуны 6, 7 и коромысло 9 могут свободно вращаться друг относительно друга вокруг общих шарнирных осей. Два одинаковых коромысла 8 и 9 образуют верхнюю и нижнюю пару второго шарнирного параллелограмма. Правой и левой сторонами второго шарнирного параллелограмма являются шатун 7 и неподвижный корпус 10, на котором установлена пара шарниров на таком же расстоянии друг от друга, как и на шатуне 7. Лямбдаобразный механизм формирует на верхней точке шатуна 2 природную траекторию стопы-опоры шагающего механизма, а двойной шарнирный параллелограмм, составленный из шатунов 4, 5, 6, 7, коромысел 8 и 9, корпуса 10 и соответствующих шарнирных связей, переносит эту природную траекторию стопы-опоры шагающей машины в нижнюю часть шагающей машины на нижнюю точку шатуна 4 двойного шарнирного параллелограмма. Нижняя точка шатуна 4 двойного шарнирного параллелограмма полностью повторяет движение верхней точки шатуна 4 по свойству двойного шарнирного параллелограмма, то есть также описывает природную траекторию стопы-опоры шагающей машины. Величина смещения природной траектории шага стопы-опоры шагающего механизма определяется исключительно длинами шатуном 4, 7 и расстоянием между шарнирами на корпусе 10 – все они

должны быть одинаковыми. Длины одинаковых шатунов 5, 6 и одинаковых коромысел 8, 9 определяют смещение природной траектории шага в продольном направлении шагающей машины, поэтому не являются критичными для достижения цели предлагаемого устройства, то есть для смещения природной траектории шага стопы-опоры вниз, под корпус шагающей машины.

Существенным признаком предлагаемого устройства является совмещение лямбдаобразного механизма П.Л. Чебышева с двойным параллелограммом, позволяющее получить новый технический результат – перенос природной траектории шага стопы-опоры из верхней части механизма вниз на любое расстояние.

Технический результат заключается в точном переносе природной траектории движения стопы человека или копыта животного из верхней части лямбдаобразного четырёхзвенного механизма П.Л. Чебышева в нижнюю часть механизма на произвольное расстояние, которое определяется конструкционными требования технического задания.

Формула изобретения.

Механизм шагающей машины, содержащий механизм формирования траектории шага стопы-опоры в верхней части механизма, отличающийся тем, что, с целью смещения траектории шага стопы-опоры из верхней части механизма в нижнюю часть механизма, в него введён двойной шарнирный параллелограмм, два шарнира которого установлены на одной вертикали на общем корпусе с механизмом формирования траектории шага стопы-опоры на расстоянии, равном длине двух подвижных вертикальных шатунов двойного параллелограмма, а рабочая точка механизма формирования траектории шага стопы-опоры шарнирно соединена с верхним концом крайнего вертикального шатуна двойного параллелограмма.

ЛИТЕРАТУРА

1. Скворцова А.А. Новый рефлекторный шагающий тренажёр // Наука и инновации в технических университетах: Материалы Десятого Всероссийского форума студентов, аспирантов и молодых учёных, 26-28 октября 2016 г. – Изд-во Политехн. ун-та, 2016. – 190 с. – С. 24-25.

2. Скворцова А.А. Новый шагающий тренажёр // Сборник тезисов Второй Международной школы-конференции студентов, аспирантов и молодых учёных «Биомедицина, материалы и технологии 21-го века», 20-23 сентября 2017 г. Отв. ред. А.В. Герасимов (Электронный ресурс). – Казань: К(П)ФУ, 2016. – С. 77.

3. Скворцова А.А. Новый рефлекторный шагающий тренажёр // 15-я Международная конференция «Авиация и космонавтика - 2016». Тезисы. – М.: Московский авиационный институт (МАИ), 16-18 ноября 2016 г. – 739 с. – С. 470-472.

4. Скворцова А.А. Рефлекторный шагающий тренажёр // 28-я Международная инновационно ориентированная конференция молодых учёных и студентов МИКМУС-2016, Институт Машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук, 7-9 декабря 2016 г. – 459 с. – С. 393-396.

5. Скворцова А.А. Механизм шагающей машины. Заявка на патент на изобретение № 2017138076/11(066514) от 01.11.2017 г. (положительное решение ФИПС и РОСПАТЕНТ от 01.09.2019 г. о выдаче патента на изобретение).

ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ УПРУГОГО СТЕРЖНЯ ПРИ ЦИКЛИЧЕСКИХ ТЕПЛОВЫХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ

А.А. Шульгин

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет

В ряде случаев элементы строительных конструкций могут эксплуатироваться в условиях периодического изменения температуры на их поверхности. При расчете строительных конструкций на температурные воздействия, как правило, принимают установившийся тепловой режим. В этом случае распределение температуры в объеме конструкций является линейным по координатам. Однако возможны такие ситуации, когда тепловое воздействие на границе тела достаточно интенсивно меняется во времени. Тогда температурное поле становится нелинейным, что в свою очередь приводит к качественному изменению напряженного состояния в твердом теле.

Целью настоящего исследования является выявление и численное описание характера напряженного состояния упругого стержня при действии циклического изменения температуры на его границах.

В исследовании рассматривается прямолинейный стержень из упругого материала, подчиняющегося закону Гука. Изменение температуры происходит только вдоль одной координаты – в направлении высоты сечения стержня. Для получения распределения температуры вдоль высоты сечения используется одномерное дифференциальное уравнение теплопроводности для однородного материала и при отсутствии внутренних источников тепла с граничными условиями первого рода [1].

Решение дифференциального уравнения теплопроводности производится численным методом конечных разностей (методом сеток) по неявной разностной схеме, которая позволяет получить решение, устойчивое к

величине шага сетки по времени. Расчеты температурного поля методом сеток осуществлялись с использованием программы для ПК.

На основании определенного в результате решения уравнения теплопроводности температурного поля вычислялись упругие температурные напряжения в бетонном стержне прямоугольного сечения. Определение напряжений осуществлялось на основе традиционных соотношений термоупругости. Вычисления проводились для различных схем закрепления концов стержня при двух режимах циклических тепловых воздействий: симметричном гармоническом цикле и отнулевом гармоническом цикле. В ходе численного эксперимента был исследован характер изменения напряжений и опорных моментов во времени, а также определены зависимости этих величин от основных влияющих факторов температурного воздействия: периода и амплитуды теплового цикла и высоты сечения стержня. Для внешне статически определимого стержня получены аппроксимирующие зависимости максимальных сжимающих и растягивающих напряжений от влияющих факторов. При исследовании влияния амплитуды цикла изменения температуры на максимальные напряжения подтверждается линейный характер этой зависимости. Увеличение периода цикла изменения температуры на поверхности приводит к снижению максимальных напряжений за счет стремления характера распределения температуры к линейному закону. Эта зависимость близка к виду обратно пропорциональной. Исследование зависимости максимальных напряжений цикла от высоты сечения показывает ее возрастающий характер, что можно объяснить растущей неравномерностью температурного поля при распространении тепла в стержне большей высоты.

Во внешне статически неопределимых схемах стержня, помимо максимальных напряжений, исследовалась величина максимального момента в жестких опорах. Проведено сравнение максимальных опорных моментов при циклических режимах с аналогичными моментами при стационарном тепловом воздействии. Получены экспериментальные зависимости между этими величинами, учитывающие влияние периода цикла и высоты сечения посредством числовых коэффициентов. На основе этих коэффициентов построены таблицы опорных моментов для различных значений высоты сечения и периода цикла. Эти таблицы могут использоваться при построении эпюр моментов в стержнях основной системы метода перемещений от теплового воздействия.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шульгин А.А. О некоторых особенностях напряженного состояния упругого стержня при циклическом тепловом воздействии // Серия «Современное строительство»: сборник статей магистрантов и аспирантов. Вып. 2, ТОМ 1; СПбГАСУ. – СПб., 2019. – 334 с.

СЕКЦИЯ

«ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И СИСТЕМЫ»

ПРИМЕНЕНИЕ МУРАВЬИНОГО АЛГОРИТМА ДЛЯ ПОДДЕРЖАНИЯ ОТКАЗОУСТОЙЧИВОСТИ СЕТИ

***К.В. Кудинов**, Е.Ю. Павленко*
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

Введение. В последние два десятилетия при оптимизации сложных систем исследователи все чаще применяют природные механизмы поиска наилучших решений. Это механизмы обеспечивают эффективную адаптацию флоры и фауны к окружающей среде на протяжении миллионов лет. Сегодня интенсивно разрабатывается научное направление Natural Computing — «Природные вычисления», объединяющее методы с природными механизмами принятия решений. В данной работе будет рассмотрен муравьиный алгоритм для осуществления отказоустойчивости распределенной системы при возможных атаках нарушителя.

Целью работы является исследование возможности применения муравьиного алгоритма для создания отказоустойчивой распределенной системы.

Актуальность. Цифровизация жизнеобразующих отраслей деятельности и развитие беспроводных, сенсорных и облачных технологий, а также сетей с динамической топологией привели к появлению киберфизических систем (КФС), автономно от человека реализующих физические процессы посредством обмена данными друг с другом. Например, умные заводы в Германии. Успешная реализация деструктивных воздействий, направленных на нарушение информационной безопасности, на КФС, тесно интегрированные с различными отраслями деятельности, способна привести не только к финансовому ущербу, но также к техногенным и экологическим катастрофам [1-3]. При этом, число атак на промышленные объекты инфраструктуры, как показывает статистика, неуклонно растет, что, в совокупности с критичностью нарушения корректности функционирования КФС, демонстрирует актуальность темы исследования.

Муравьиный алгоритм (алгоритм оптимизации подражанием муравьиной колонии) представляет собой имитацию поведения колонии муравьёв в природе. В основе муравьиного алгоритма лежит вероятностный подход к поиску оптимального пути, однако имеют большое значение дополнительные критерии [4]. Главную роль в воплощении социального поведения муравьёв в природе составляет самоорганизация. Под самоорганизацией понимается множество динамических механизмов, которые обеспечивают достижение глобальной цели системой в результате низкоуровневого развития этой системы. Централизованное управление в какой-либо форме при этом исключается – элементы системы используют только локальную информацию. В основе самоорганизации муравьёв лежит взаимодействие четырёх составляющих: случайность, многократность, положительная и отрицательная обратная связи. Многократность заключается в одновременном итерационном поиске несколькими муравьями оптимального маршрута. Каждый муравей выступает как независимый коммивояжёр и за одну итерацию алгоритма совершает обход всех вершин графа. В качестве положительной обратной связи в задаче выступает оставление феромонного следа. Вероятность включения вершины в маршрут муравья прямо пропорциональна количеству феромона. Из этого следует случайность: чем короче маршрут, тем большее количество феромона будет оставлено на нём. Отрицательной обратной связью является испарение феромонов: его время не должно быть слишком большим, чтобы поиск маршрута не свёлся к единственному варианту, но слишком малое время испарения приведёт к некооперированному поведению муравьёв и оптимальный путь будет иметь значительную погрешность. Для перехода муравья из одного города в другой необходимо учитывать три составляющие: память муравья, видимость, феромонный след. Память муравья (список табу) — это список посещенных муравьем городов, заходить в которые еще раз нельзя. При использовании списка табу муравей гарантированно не попадет в один и тот же город дважды. Этот список возрастает при совершении маршрута и обнуляется в начале каждой итерации алгоритма. Тогда $J_{i,k}$ — «список городов, которые еще необходимо посетить муравью *k*, находящемуся в городе *i*. $J_{i,k}$ является дополнением к памяти муравья» [5]. Видимость – это обратная расстоянию величина $\eta_{ij} = 1 / D_{ij}$, где D_{ij} – расстояние между городами *i* и *j*. «Видимость представляет собой локальную информацию, характеризующую желание муравья посетить город j из города i – чем она выше, тем ближе город и тем сильнее желание его посетить». Феромонный след – «подтверждённое опытом желание посетить город j из города i». В отличие от видимости феромонный след постоянно обновляется на протяжении работы алгоритма, отображая полученный муравьями опыт. Количество феромона на ребре *(i, j)* на итерации t обозначается как $\tau_{ij}(t)$. Вероятность перехода муравья k в город *j* из города *i* определяется следующей формулой:

$$P_{ij,k} = \begin{cases} \dfrac{\tau_{ij}(t)^{\alpha}\eta_{ij}{}^{\beta}}{\sum_{\mathrm{j} \in \mathrm{Ji,k}} \tau_{ij}(t)^{\alpha}\eta_{ij}{}^{\beta}}, \text{если } (i,j) \in T_k(t) \\ 0, \text{если } (i,j) \notin T_k(t) \end{cases}$$

Параметры α и β задают значимость уровня феромона и видимости города при выборе следующего города. Непосредственный выбор следующего города осуществляется по принципу «колеса рулетки»: для каждого муравья генерируется маршрут движения из последнего местонахождения случайным образом, с учётом вероятностей перехода. Затем для каждого из полученных маршрутов рассчитывается целевая функция общей протяжённости маршрута. По завершении маршрута каждый муравей k откладывает на ребре *(i, j)* некоторое количество феромона:

$$\Delta\tau_{ij,k}(t) = \begin{cases} \dfrac{Q}{L_k(t)}, \text{если } (i,j) \in T_k(t) \\ 0, \text{если } (i,j) \notin T_k(t) \end{cases}$$

Здесь $T_k(t)$ – маршрут, пройденный муравьём *k* на итерации *t*, $L_k(t)$ – длина этого маршрута, *Q* – некоторый регулируемый параметр. Правило обновления феромона выглядит следующим образом: $\tau_{ij}(t+1) = (1-\rho)\tau_{ik}(t) + \Delta\tau_{ij}(t)$, ρ – регулируемый параметр, принадлежащий отрезку [0;1], $\Delta\tau_{ij}(t) = \sum_{k=1}^{m}\Delta\tau_{ij,k}(t)$, m – количество муравьёв. Далее была разработана математическая модель, рассмотрены атаки на нее и методы защиты. Пусть существует распределённая система, состоящая из узлов и связей между ними. Также в системе протекает критически важный процесс, т.е. процесс выполнение, которого нельзя прерывать. Для его успешного выполнения узлы в системе должны между собой взаимодействовать. Для этого необходимо найти оптимальный путь взаимодействия между узлами. Каждый узел будем описывать парой координат *(x,y)*. Связь между узлами (x_0,y_0) и (x_1,y_1) будем описывать функцией расстояния: $D = \sqrt{(x_1-x_0)^2 + (y_1-y_0)^2}$. Задача, решаемая муравьиным алгоритмом, будет формулироваться следующим образом: Найти минимальный путь (*minD*) проходящей через все узлы в системе *(x,y)* ровно 1 раз. Данная модель может быть атакована в узлах и связях между узлами. Задача системы безопасности формулируется следующим образом: Обеспечитесь отказоустойчивость системы, т.е. выполнение критически важного процесса, в каждый момент времени при различных атаках нарушителя.

Возможные атаки. Вывод из строя *M* узлов, где $M < N$, *N* – всего узлов в сети. Вывод из строя *m* связей между узлами, где $m < n$, *n* – всего связей между узлами в сети. Вывод из строя *M* узлов и *m* связей между узлами, где $M < N$, *N* – всего узлов в сети; $m < n$, *n* – всего связей между узлами в сети.

Защита от атак. В реальной жизни, при применении данного алгоритма для отказоустойчивости на узлах сети будут располагаться программы-агенты, которые будут контролировать работу узла и при выходе из строя сообщать соседям, что узел больше не является безопасным. Защита от первой атаки заключается в переконфигурации всей сети без использования зараженных компьютеров, для этого создается новый список SurvivingNodes – “выживших” узлов и уже для него запускается алгоритм. Вторая атака заключается в выводе из строя некоторых критических “дорог” между городами. Программы-агенты также должны контролировать работу каналов связи. Если программа-агент находит признаки совершения такого типа атаки, она запускает процесс переконфигурации всей сети и заполняет список недоступных маршрутов DeadSteps. Третья атака - это интеграция первых двух атак. Теперь недоступны, как некоторые узлы, так и некоторые “дороги”. В данном случае, заполняются аналогичные предыдущим атакам списки. Происходит переконфигурация сети. Таким образом обеспечивается непрерывность выполнения критического процесса в системе.

Для реализации был использован язык Python, библиотеки PyQt5, matplotlib, threading. При помощи QtDesigner, был создан графический шаблон, который транслируется в python-файл и включается в проект. На рис. 1 показаны три возможные атаки и защита от них.

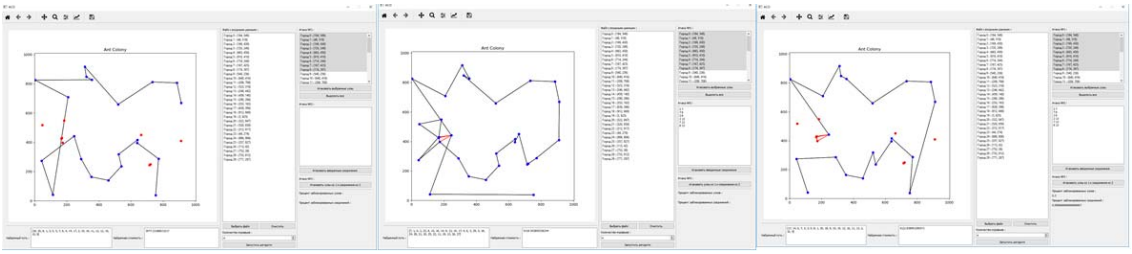


Рис. 1. Практическая реализация

Вывод. Разработанная модель успешно справляется с обеспечением отказоустойчивости распределённой сети при рассмотренных воздействиях нарушителя. Дальнейшие развитием работы будет являться заключаться в модификация алгоритма муравьиной колонии, оптимизация работы, более совершенный подбор параметров алгоритма.

Исследование выполнено в рамках стипендии Президента РФ молодым ученым и аспирантам СП-1689.2019.5.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лаврова Д.С. Подход к разработке SIEM-системы для Интернета вещей // Проблемы информационной безопасности. Компьютерные системы. - 2016. - Т. 2. - С. 51-59.

2. Зегжда Д.П., Павленко Е.Ю., Лаврова Д.С., Штыркина А.А. Подход к созданию критерия устойчивого функционирования киберфизических систем // Проблемы информационной безопасности. Компьютерные системы. - 2019. - № 2. - С. 156-163.

3. Калинин М.О., Лаврова Д.С., Ярмак А.В. Обнаружение угроз в киберфизических системах на основе методов глубокого обучения с использованием многомерных временных рядов // Проблемы информационной безопасности. Компьютерные системы. - 2018. - № 2. - С. 111-117.

4. Кажаров А.А., Курейчик В.М. Муравьиные алгоритмы для решения транспортных задач // Известия Российской академии наук. Теория и системы управления. – 2010. – № 1. – С. 32-45.
5. Штовба С.Д. Муравьиные алгоритмы // Exponenta Pro. 2003. № 4. С. 70-75.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ НЕЧЕТКОГО УПРАВЛЕНИЯ ТРАФИКОМ В ГЛОБАЛЬНЫХ СЕТЯХ

К.В. Матрохина
Санкт-Петербургский горный университет

Управление трафиком предназначено для обеспечения качества обслуживания доставки информации конечному потребителю и эффективного использования ресурсов сети. Несмотря на существующие на сегодняшний день методы по управлению трафиком, все равно остается проблема в обеспечении необходимого качества обслуживания. В связи с этим, в данной работе освещается вариант выработки нового механизма по управлению трафиком в глобальных сетях на основе теории нечетких множеств.

Для понимания процесса управления трафиком необходимо разобраться в принципе работы QoS маршрутизатора. На рис. 1 представлена принципиальная схема.

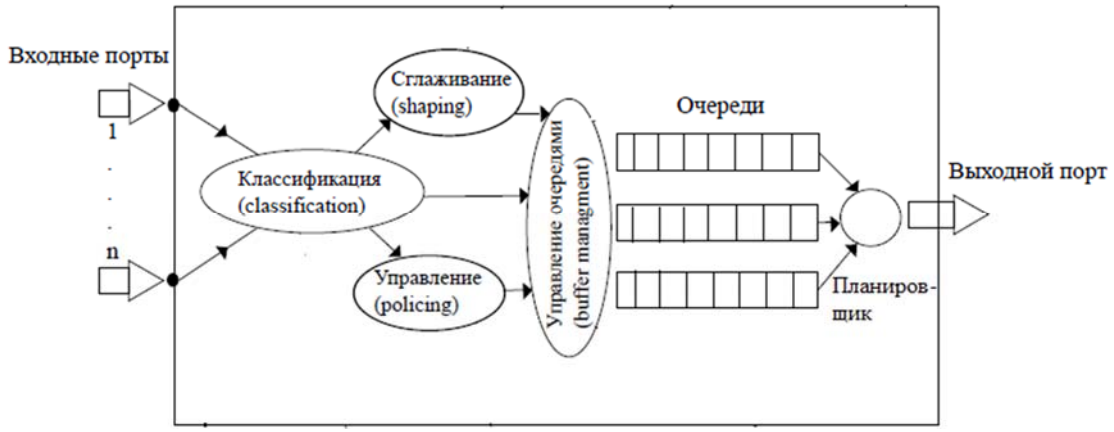


Рис. 1. Принципиальная схема работы QoS маршрутизатора

Пакеты, поступающие на входящие порты маршрутизатора, проходят процедуру классификации, как правило, на основе заголовков IP-пакета DSCP или TOS. После классификации заголовков пакетов необходимо ограничить скорость трафика. Существует два принципиально подхода: полисинг и шейпинг.

После ограничения скорости, пакеты поступают в очереди, которые могут быть определены на каждый поток или на каждый класс. Далее пакеты попадают в планировщик, после которого отправляются на следующий порт.

Управление трафиком производилось в рамках одной компании, имеющей несколько филиалов.

На входе нечеткого регулятора были заданы три переменные (задержка, приоритет и суточная загруженность сети), в качестве выходной – одна (пропускная способность сети). Каждой лингвистической переменной были присвоены значения и далее составлена база правил. В результате для выходной переменной были получены конкретные значения, решение приведено к четкости.

Были построены и проанализированы три типа графиков функций (линейной, гауссовской и трапециевидной). В результате был сделан вывод, что наибольшая пропускная способность сети достигается при использовании треугольной функции.

Используя систему массового обслуживания, были рассчитаны основные характеристики и построены графики. Они подтверждают целесообразность использования треугольных функций.

Таким образом, в рамках данной работы был предложен механизм по управлению трафиком на основе нечеткой логики (составлены правила, построены графики, получены значения), который дополнили расчеты основных характеристик СМО.

ПРИМЕНЕНИЕ ПРОГРАММЫ MATHCAD ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЗДАНИЙ

А.Д. Михалёва

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ)

Предлагается уменьшить перепад температуры в вентилируемом фасаде здания между стеной и внешней облицовкой. Это можно сделать с помощью тонкой теплопроводной фольги, например, из алюминия. При соблюдении ряда условий этот экран уменьшит не только лучистый теплообмен, но и конвективные теплопотери в зданиях и сооружениях. Алюминиевая фольга закрепляется с внутренней стороны облицовки здания внутри вентилируемого фасада, повторяет температуру стены, уменьшает перепад температур.

Предлагается новый способ и устройство для уменьшения конвективного теплообмена. Это обычный лист фольги из материала с очень большой температуропроводностью, например, алюминия или меди. Этот лист устанавливается рядом со стенкой с небольшим воздушным зазором. Если на стенке с малой теплопроводностью возникает перепад температур, то тепло через воздух или другой газ быстро передаётся экрану, потом быстро распределяется по нему за счёт теплопроводности и передаётся обратно стенке, где температура ниже. В воздушном или газовом зазоре между стенкой и экраном температуры выравниваются, потому что экран повторяет температуру стенки, а стенка – температуру экрана. При выравнивании температур частей конструкции макровихри в воздухе или газе не возникают, конвективный теплообмен уменьшается. Таким образом, металлическая фольга может уменьшить не только лучистый теплообмен, но и конвективный.

Предмет исследования – физическое явление конвективного теплообмена в вентилируемом зазоре навесного фасада здания или сооружения.

Цель – уменьшение тепловых потерь за счёт конвективного теплообмена в вентилируемом фасаде доступным и экономически целесообразным способом.

Материалы и методы решения задачи основаны на анализе параболического уравнения математической физики, которое описывает распространение тепла в конструкциях и деталях за счёт теплопроводности. В результате передачи тепла происходит выравнивание температурного поля системы. Такое выравнивание температуры можно применить для уменьшения интенсивности макровихрей, которые являются основной причиной конвективного теплообмена и тепловых потерь в зданиях и сооружениях.

Результаты исследования позволили предложить простую и дешёвую конструкцию в виде тонкого экрана из алюминиевой фольги, который закрепляется на обрешётке внешней стороны стены на некотором расстоянии от поверхности, но внутри вентилируемого навесного фасада.

Суть работы заключается в выравнивании температурного поля в пространстве вентилируемого фасада здания между внешней стороной стены и декоративной облицовкой [1-6]. Обычно это пространство исключают из расчётов, не учитывают тепловые потоки, рассматривают только декоративные свойства фасада. Однако в зазоре между стенками существует градиент температурного поля, потому что, например, зимой внешняя сторона стены здания всегда более нагрета по сравнению с декоративной облицовкой. Следовательно, имеет место свободная конвекция. Плотность конвективного теплового потока определяется уравнением Фурье и прямо пропорциональна градиенту температурного поля $q = -\lambda \cdot gradT$, где λ – коэффициент теплопроводности. Если в зазоре вентилируемого фасада уменьшить или даже полностью исключить перепад температур между стенкой и облицовкой, то свободная конвекция также уменьшится или даже полностью прекратится. Сделать это можно только после определения температурных полей в конструкциях.

Если посмотреть на стену здания сбоку, то она представляется отрезком. Значит, можно применить параболическое одномерное уравнение теплопроводности в частных производных.

Для корректной формулировки задачи краевые условия требуют отдельного рассмотрения. Сначала вполне можно предложить краевые условия первого типа – термостатирование концов стержня. Это означает, что верхняя и нижняя часть стены, выходящие торцами за облицовку, имеют температуру окружающей среды, например, 0^0C.

Начальные условия Коши для параболического уравнения в частных производных зависят от внешнего теплового воздействия на стержень. Сначала можно предположить, что в какой-то части стены, а значит и стержня, произошло скачкообразное повышение температуры, например, на 10^0C. Температуру воздуха в зазоре вентилируемого фасада будем предполагать равной температуре облицовки. При возникновении градиента температуры сразу же появится дополнительная конвекция и дополнительные потери тепла.

Материалы стены и облицовки различные, имеют разные коэффициенты температуропроводности – это тоже учитывалось при исследовании. Исследование свелось к решению двух смешанных начально-краевых задач для параболического уравнения в частных производных $\frac{\partial U}{\partial t} = a^2 \frac{\partial^2 U(x,t)}{\partial x^2}$; $U(0,t) = 0$; $U(L,t) = 0$; $U(x,0) = \varphi(x)$, где U – температурное поле, a^2 – коэффициент температуропроводности. Краевые задачи были решены методом Фурье. Решения были получены в виде рядов Фурье. По этим двум решениям была вычислена разность температур $\Delta U = \Delta T$ стенки и облицовки в каждой точке по высоте конструкции. Плотность свободного конвективного потока тепла прямо пропорциональна этой разности температур. Полученные решения в виде

рядов Фурье были введены в программу MathCAD-14 для анализа с различными коэффициентами температуропроводности – это показано на рис. 1. Были исследованы два вида конструкций. Во-первых, кирпичная стена и тонкий алюминиевый экран с небольшим воздушным зазором между ними. Во-вторых, деревянная стена и тонкий алюминиевый экран.

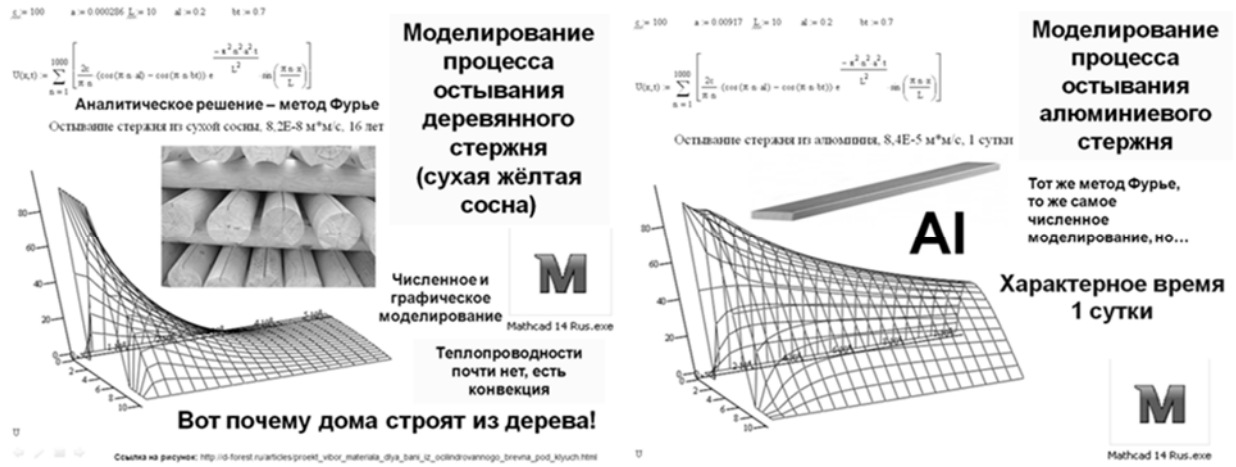


Рис. 1. Моделирование процесса остывания деревянного и алюминиевого стержней

Алюминиевый экран – это фольга. Расчётная схема задачи – это два рядом расположенных стержня с термостатированными концами. На один стержень происходит резкое температурное воздействие, в какой-то части стержня температура скачкообразно возрастает. Задача анализа свелась к определению потерь тепла при различных конструкциях, материалах и вариантах установки экрана относительно стены здания.

Даже начальное исследование свободного конвективного теплообмена в зазоре вентилируемого фасада позволило получить важный результат о возможности уменьшения теплопотерь сравнительно простым и дешёвым способом – установкой тонкого листа алюминиевой фольги на внутреннюю сторону декоративной облицовки. Иными словами, перед установкой декоративной облицовки на вентилируемый фасад надо с помощью строительного степлера прикрепить лист тонкой алюминиевой фольги, типа пищевой, на обрешётку, на которую будет крепиться облицовка. С практической точки зрения монтаж конвективного экрана не вызывает ни технологических, ни экономических трудностей.

Выводы по работе.

1. Математическими методами моделирования доказана возможность уменьшения градиентов температуры в вентилируемом фасаде за счёт теплопроводного алюминиевого экрана.

2. Математически обосновано, что снижение перепада температур приводит к уменьшению макровихрей и конвективного теплообмена.

3. Математическим моделированием обоснована возможность создания нового устройства - конвективного теплового экрана.

ЛИТЕРАТУРА

1. Богословский В.Н. Строительная теплофизика (теплофизические основы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха): Учебник для вузов. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Высш. школа, 1982. 415 с.

2. Фокин К.Ф. Строительная теплотехника ограждающих частей зданий. Изд. Авок-Пресс, 2006.

3. Михалева А.Д. Экран от конвективного теплообмена / Механика и моделирование материалов и технологий. Сборник трудов Секции Международной молодёжной научной конференции «XLIV Гагаринские чтения» 17-20 апреля 2018, Москва, ИПМех РАН, 2018. – 182 с. - С.98-100. - Электронный ресурс: http://ipmnet.ru/~gagarin/IPMechRASGagarin2018.pdf.

4. Михалева А.Д. Новая технология экранирования конвективного теплообмена / Ч52 IV Музруковские чтения: Материалы Всероссийской научно-практической конференции, 15 февраля 2018 г., ГБПОУ СПТ Б.Г.Музрукова. – Отв. за вып. И.В. Столяров. – Саров, Нижегородская обл., Интерконтакт, 2018, 310 с. С. 18-23.

5. Михалева А.Д. Экран от конвективного теплообмена / XXIX Международная конференция «Машиноведение и инновации. Конференция молодых учёных и студентов» (МИКМУС - 2017): материалы конференции (Москва, Институт Машиноведения им. акад. А.А. Благонравова Российской академии наук, 6-8 декабря 2017 года). – Отв. ред. Н.А. Татусь. – Секция 8: Студенческая. – М: Изд-во ИМАШ РАН, 2018. – 483 с. – С. 413-415.– Электронный ресурс: http://mikmus.ru/opendocs/Archive_materials/mikmus_2017.pdf.

6. Михалева А.Д. Информационное обеспечение для проектирования тепловых экранов в зданиях и строительных сооружениях / Международная конференция «Информационные технологии в образовании 2018». – ИТО-ТРОИЦК-2018.

УВЕЛИЧЕНИЕ ТОЧНОСТИ ОБРАБОТКИ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТА В НАКАПЛИВАЮЩЕЙСЯ СТАТИСТИЧЕСКОЙ ВЫБОРКЕ

М.А. Рожнова

Муниципальное бюджетное общеобразовательное учреждение «Гимназия № 5» городского округа Королёв (мкр. Юбилейный) Московской области

Цель исследования заключается в получении максимальной информации от единичного опыта измерения ускорения свободного падения в лабораторной установке с несколькими датчиками положения объекта [1]. В современном учебно-лабораторном оборудовании обычно применяются установки с двумя датчиками положения тела. Схема такой установки показана на рис. 1 слева. Для экспериментального определения величины g ускорения свободного падения тела достаточно измерить две продолжительности падения до соответствующих двух датчиков и вычислить различие Δt во времени прохождения этих высот $\Delta t = t_1 - t_2 = \sqrt{\frac{2\left(H_3 - H_1\right)}{g}} - \sqrt{\frac{2\left(H_3 - H_2\right)}{g}}$. Из этого уравнения получаем основную расчётную формулу для экспериментального определения величины g ускорения свободного падения: $g = \frac{2}{\Delta t^2} \cdot \left(\sqrt{H_3 - H_1} - \sqrt{H_3 - H_2}\right)^2$.

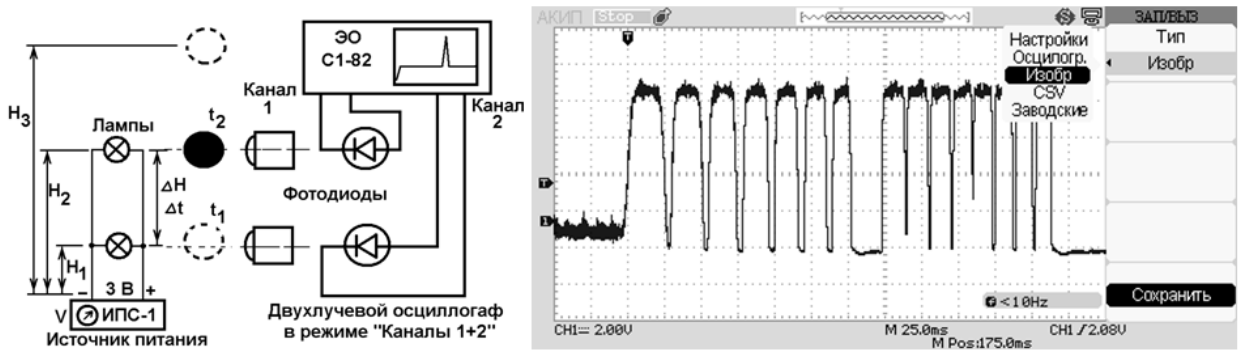


Рис. 1. Схема работы датчиков в старой и новой лабораторных установках

Такая лабораторная установка даже в самом современном исполнении не смогла устранить главный недостаток – необходимость накопления большой статистической выборки для обеспечения заданной точности определения ускорения свободного падения или иного ускорения. В школьной лаборатории была найдена самодельная установка с несколькими датчиками положения тела. Появилась идея ускорить процесс накопления статистических данных при изучении равноускоренного движения. Например, в найденной установке есть 15 датчиков положения тела. Закономерен вопрос, сколько информации можно получить от такого оборудования при единичном опыте? Для определения ускорения свободного падения тело отпускают без начальной скорости с некоторой известной высоты, а потом на осциллографе фиксируют моменты времени прохождения двух любых датчиков, расположенных на известных высотах. Основная рабочая формула остаётся прежней: $g = \frac{2}{\Delta t^2} \cdot \left(\sqrt{H_3 - H_1} - \sqrt{H_3 - H_2}\right)^2$. Высота H_3 начального положения тела задана и фиксировна в единичном опыте. Но из-за наличия множества датчиков положения тела появляется возможность выбирать различные высоты H_1 и H_2.

Задача механики оказалась связанной с задачей комбинаторики. Сколько вариантов выбора рабочей пары датчиков положения существует в лабораторной установке? Задача решается комбинаторным перебором вариантов. Датчики положения тела занумеруем сверху вниз. Сначала задействуем первый датчик. С датчиком 1 могут работать датчики 2, 3,…, 15. Всего возможны 14 вариантов измерений. Затем задействуем второй датчик. С датчиком 2 могут работать датчики 2, 4,…,15. В этом случае возможны 13 вариантов измерений.

Продолжаем перебирать пары датчиков в указанном порядке, пока не дойдём до предпоследнего датчика 14. Задействуем датчик 14. С этим датчиком в паре может работать только датчик 15, поэтому возможен только один вариант измерений. Подсчитываем общее число возможных вариантов измерений в единичном опыте, пользуясь свойством арифметической прогрессии: 14+13+12+…+1=105. Вообще говоря, в установке есть 16 датчиков, но один не работает. Если его починить, то число возможных вариантов измерений в единичном опыте станет равно 15+14+13+12+…+1=120. Добавление шестнадцатого датчика увеличит статистическую выборку на 15 единиц. Учитывая, что при числе измерений 20-30 в устойчивых системах достигается нормальный закон

распределения и достаточная точность, нет смысла проводить срочно такой ремонт. Более актуальной становится задача обработки информации, полученной при проведении единичного опыта с большим объёмом экспериментальных данных. На рис. 1 справа показана осциллограмма одного эксперимента с магнитно-индукционными датчиками положения свободно падающего тела при движении.

Задача обработки большого объёма информации решается с применением компьютерной техники. Например, удобно применить текстовый табличный редактор Microsoft Excel. Этот редактор позволяет запрограммировать выполнение множества однотипных операций.

Другая актуальная задача заключается в хранении полученных экспериментальных данных. Во время опыта удобно применить электронный записывающий осциллограф. Датчики положения тела могут быть любого типа. Датчики соединяются с входами электронного осциллографа. Датчики вырабатывают ЭДС, когда движущееся тело проходит мимо них. При отсутствии тела напротив датчика пикообразный сигнал на входе в электронный осциллограф тоже отсутствует. Лабораторная установка предполагает падение тела без начальной скорости. Когда тело достигнет верхнего датчика, на входе в электронный осциллограф появится пикообразный сигнал. Электронный осциллограф необходимо перевести в ждущий режим, тогда этот сигнал запустит горизонтальную развёртку (луч осциллографа). Когда тело пролетит мимо верхнего датчика, но ещё не достигнет нижнего, опять будет отсутствие сигнала на входе в электронный осциллограф. Однако горизонтальная развёртка электронного осциллографа (луч осциллографа) уже будет запущена, она будет регистрировать все события в течение установленного времени развёртки. Когда движущееся тело затенит второй датчик, появится второй пикообразный сигнал. Этот сигнал будет зафиксирован горизонтальной развёрткой в виде пика осциллограммы. Количество горизонтальных делений на шкале электронного осциллографа соответствует времени полёта тела от верхнего датчика до нижнего. Затем регистрируется сигнал при прохождении движущимся телом третьего датчика, потом четвёртого, и так до последнего, самого нижнего датчика. Но при обработке экспериментальных данных выбираются только два времени. Это время регистрируется и записывается для каждого набора высот H_1, H_2 при заданной фиксированной высоте H_3.

Запись осциллограммы в память прибора позволяет потом извлечь материал в виде графического файла, увеличивать практически неограниченно для повышения точности измерений, работать в спокойной обстановке вне лаборатории, например, дома. В учебном процессе школы или ВУЗа записанная на флэш-карту осциллограмма единичного эксперимента становится исходными данными для самостоятельной домашней работы. Статистическая обработка экспериментальных данных выполняется традиционным методом. Экспериментальные данные, снятые с осциллографа, то есть продолжительности участков свободного падения тела, записываются в таблицу. Потом вычисляется среднее значение искомой величины ускорения свободного падения, абсолютные и относительные ошибки. При большой статистической выборке относительная ошибка стремится к нулю или к инструментальной погрешности установки. Предложенная методика проведения эксперимента с данными от множества датчиков даже при одном опыте позволяет получить большую статистическую выборку данных. При 15 рабочих датчиках будет 105 результатов измерений за один опыт – бросание тела в установке для определения ускорения свободного падения.

Для отладки предложенной методики сначала было проведено три серии измерений. В первой серии было 14 измерений ускорения свободного падения, во второй 13, в третьей 12. Всего в трёх сериях было 39 измерений. Казалось бы, в первой серии измерений относительная ошибка 1,04% самая маленькая, поэтому достаточно ограничиться именно этим опытом. Но надо помнить, что при малой статистической выборке уровень доверия к экспериментальным данным низок. Во второй серии измерений относительная ошибка возросла, стала равна 1,40%. Но в третьей серии измерений относительная ошибка стала снижаться, достигнув величины 1,36%. Так будет, если изучать отдельные серии измерений: первую, вторую и третью. Но если учитывать накопление статистических данных, то относительная ошибка уменьшается. В частности, если после первой серии измерений относительная ошибка была равна 1,40%, то после первой и второй 1,27%, а после первых трёх уже будет 1,32% – во всех случаях меньше, чем при отдельных сериях. Уменьшение относительной ошибки стало следствием предельной теоремы теории вероятностей и увеличения объёма статистической выборки. Обработка полученных статистических данных выполняется традиционными методами. Вычисляется среднее значение измеряемой величины как математического ожидания, абсолютные и относительные ошибки измерений. Процесс обработки экспериментальных данных значительно ускоряется применением табличного редактора Microsoft Excel. Даже по первым трём сериям измерений можно сделать следующий вывод.

Ускорение свободного падения тела, измеренное по n=39 реализациям, равно $g = g_{cp} \pm \Delta g_{cp} = \left(9,949 \pm 0,131\right)$ м/с^2. Так как относительная ошибка измерений $r_g = \dfrac{\Delta g_{cp}}{g_{cp}} = 0,0132\left(1,32\%\right)$ (менее 2%), то результаты опытов можно считать достоверными.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дроботов В.Б., Лебедев В.В. Лабораторный практикум по физике. Гимназия 5, г. Королёв, Московская область, 2007.

ПРИМЕНЕНИЕ АЛГОРИТМА ПЧЕЛИНОЙ КОЛОНИИ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ОТКАЗОУСТОЙЧИВОЙ ПРОТИВОПОЖАРНОЙ СИСТЕМЫ

***М.Д. Степанов**, Е.Ю. Павленко*
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

Введение. В данной работе рассмотрена система, состоящая из беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), целью которой является обеспечение пожарной безопасности на определенной местности – своевременное реагирование на пожар способствует предотвращению распространения пожара и помогает избежать тяжелых последствий.

Рассмотрена возможность решения задачи пожарной безопасности с помощью алгоритма пчелиной колонии, а также предложены способы повышения отказоустойчивости системы при различных действиях злоумышленников, за счет переконфигурирования системы с использованием алгоритма пчелиной колонии.

Целью работы является создание и исследование отказоустойчивой противопожарной системы на основе алгоритма пчелиной колонии.

Актуальность. Обеспечение пожарной безопасности является важной и актуальной задачей. С развитием беспилотных летательных аппаратов – увеличением максимальной длительности и дальности полета, подъемной мощности, улучшением управления полета, появляется все больше областей, где применяются сети состоящие из БПЛА. Таким образом существует проблема – пожаротушение труднодоступных и удаленных объектов, а также есть инструмент – сеть из БПЛА, который можно применить для решения данной проблемы. В то же время необходимо учитывать, чтобы система, которая будет применена для решения данной проблемы была самодостаточной и отказоустойчивой [1, 2], так как в случае умышленного поджога, злоумышленник может препятствовать корректной работе противопожарной системы.

Алгоритм пчелиной колонии основан на двухуровневой стратегии поиска. За счет использования пчел-разведчиков формируется случайное множество перспективных позиций (источников нектара). При возвращении в улей пчелы исполняют «виляющий танец» (являющийся, по сути, специфической формой коммуникации между пчелами), в котором передается закодированная информация о расстоянии до найденного там нектара. На втором уровне с помощью пчел-фуражиров осуществляется исследование окрестностей. Целью пчелиной колонии является поиск источника, содержащего максимальное количество нектара, что соответствует целевой функции (ЦФ) в оптимизационной задаче. Алгоритм получил широкую известность относительно недавно, но при этом является объектом изучения многих работ в различных сферах [3].

С математической точки зрения пчелиный алгоритм можно описать следующим образом: пусть есть функция $f(x_1 \dots x_n)$ от n переменных, действующая в множество рациональных чисел. Если на вход пчелиному алгоритму подать несколько наборов n переменных, то результатом работы алгоритма будет максимальное значение функции $f(x_1 \dots x_n)$ на множестве рассматриваемых наборов. Также, в зависимости от модификации алгоритма, могут быть получены наборы, которые близки к максимальным среди данных [4].

Модель была реализована на языке Python с помощью объектного представления. В модели есть следующие объекты:

• поле – представляет из себя набор локаций, каждая из которых содержит в себе значение нескольких параметров, которые в дальнейшем будут считывать дроны-разведчики для определения наличия пожара в данной локации;

• дроны-разведчики – выполняют функцию разведки для нахождения точек возгорания, каждый из дронов имеет свою область разведки, которая определяется при старте работы алгоритма (при получении сигнала о пожаре), дроны-разведчики исследуют свою область, а затем сообщают дронам-пожарникам, в каких локациях присутствует возгорание;

• дроны-пожарники – ждут сигнала от дронов-разведчиков, затем выдвигаются для выполнения работ по пожаротушению в указанных локациях, для дронов-пожарников заданы два параметра water, mixture – которые отвечают за способность дрона потушить в локации пожар, если вода или смесь заканчиваются, то дрон летит на базу для пополнения ресурсов;

• пожар – является отдельным объектом, обладает способностью распространяться в зависимости от заданных значений ветра (сила ветра, направление).

В начале работы модели задается размер контролируемой территории с помощью двух параметров $N -$ высота, $M -$ ширин, тогда площадь контролируемой территории высчитывается по формуле $S_{fil} = N \cdot M$ – где каждая точка обладает тремя заранее заданными значениями $sensor_1$, $sensor_2$, $sensor_3$ – которые определяют мощность пожара этой точке, затем поступает уведомление в виде пары координат (x_s, y_s), которые сообщают о предполагаемом месте возгорания. Это уведомление, которое отправляется системе пожаротушения может быть создано: установленными датчиками отслеживания на мониторируемой территории, человеком, который заметил что-то подозрительное.

Дальше в модели заданы следующие параметры: $dron_radius$ – параметр для определения максимальной территории, которую может охватить дрон-разведчик, $study_area$ – параметр, который определяет площадь изучаемой территории. Площадь изучаемой территории вычисляется:

$$S_{study} = study_area^2$$

С помощью параметров cnt_{dr} – количество дронов-разведчиков и cnt_{dt} – количество дронов-пожарников. Затем проверяется корректность заданных параметров:

$$S_{maxstudy} = dron_radius^2 \cdot cnt_{dr}$$

Если $S_{maxstudy} < S_{study}$, то параметры заданы некорректно, есть два способа перезадать параметры:

1) Увеличить параметр $dron_radius$ так, чтобы: $S_{maxstudy} > S_{study}$.

2) Уменьшить параметр $study_area$ так, чтобы: $S_{maxstudy} > S_{study}$.

В работе рассмотрены три сценария возможных атак.

Атака на дрона-разведчика. В какой-то момент дрон-разведчик dr_i выведен из строя.

Решение. Если обнаружен сбой работы одного из дронов-разведчиков, то происходит следующая проверка :$cnt_{druse} < cnt_{dr}$, если количество используемых дронов-разведчиков меньше, чем общее количество дронов в системе, тогда происходит передача его работы резервному дрону-разведчику. Он получает то же задание, которое было дано вышедшему из строя дрону.

Если резервного дрона нет, то система вынужденно перезадает параметры $dron_radius,\ study_area$ так, чтобы: $S_{maxstudy} < S_{study}$, где $S_{maxstudy} = dron_radius^2 \cdot cnt_{dr}$.

В данной работе система увеличивает площади подконтрольных территорий дронов, увеличивая параметр $dron_radius$ и перезапуская пчелиный алгоритм с новыми параметрами.

Атака на дрона-пожарника. В какой-то момент дрон-пожарник dt_i выведен из строя. Здесь возникает угроза того, что область, за которую он отвечал, точно охвачена пожаром, который никто, кроме него тушить не должен. Таким образом пожар будет продолжать свое распространение

Решение. При этом сценарии предложено аналогичное решение первому сценарию, только уже относительно дрона-пожарника: $cnt_{dtuse} < cnt_{dt}$. Если обнаружен сбой работы одного из дронов-пожарников и резервный дрон-пожарник есть, то список точек, охваченных пожаром, который он получил от своего дрона-разведчика, передается резервному дрону-пожарнику.

Если резервного дрона нет, то список из точек – $fire_list$, охваченных пожаром, который был получен в ходе работы пчелиного алгоритма, передается ближайшим дронам разведчикам, которые обрабатывают его и, в случае необходимости, дают обновленные указания дронам-пожарникам (то есть перезапускают пчелиный алгоритм с уже имеющимися данными), которые находятся в их подчинении.

Атака на хранилище воды. В какой-то момент дрон-пожарник не может пополнить запасы ресурсов для тушения пожара на ближайшей точке пополнения.

Решение. В этом случае дроны-пожарники удаляют из своего списка $refill_water$ координаты данного источника пополнения воды и выбирают из списка новые координаты источника воды следующим образом: для каждого i источника в списке $refill_water$ вычисляется следующая сумма расстояний: $\rho_i = \rho_{i1} + \rho_{i2}$, где ρ_{i1} – расстояние от текущего положения дрона до i источника из списка, а ρ_{i2} – расстояние от i источника до следующей точки из $fire_list$.

Вывод. Разработана система, которая выполняет задачу пожаротушения, используя алгоритм, в который заложено поведение пчел при поиске и добыче нектара. В системе, вместо поиска нектара идет поиск областей возгорания, а вместо добычи – работы по пожаротушению. Также система является отказоустойчивой, благодаря использования концепции резервированию и способности системы переконфигурировать параметры, что является очень важным для системы пожаротушения.

Исследование выполнено в рамках стипендии Президента РФ молодым ученым и аспирантам СП-1689.2019.5.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лаврова Д.С., Печенкин А.И. Обнаружение инцидентов безопасности в Интернете Вещей // Проблемы информационной безопасности. Компьютерные системы. – 2015. – № 2. – С. 69-79.

2. Lavrova D., Poltavtseva M., Shtyrkina A. Security analysis of cyber-physical systems network infrastructure // 2018 IEEE Industrial Cyber-Physical Systems (ICPS). – IEEE, 2018. – С. 818-823.

3. Леонов А.В., Чаплышкин В.А. Сети FANET // ОНВ. 2015. № 3 (143).

4. Леонов А.В., Литвинов Г.А. Применение алгоритма пчелиной колонии BeeAdHoc для маршрутизации в FANET.

ДИСТАНЦИОННОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ ЗЕМЛИ ПО ЕЁ ГЕОГРАФИЧЕСКОЙ ПАРАЛЛЕЛИ

И.В. Усатый[1], *Э.Д. Папиашвили*[2]
[1]*Муниципальное бюджетное общеобразовательное учреждение «Гимназия № 5» городского округа Королёв (мкр. Юбилейный) Московской области*
[2]*ФГБОУ ВО «Российский университет Дружбы народов» (РУДН)*

Может ли космический аппарат (КА) двигаться над географической параллелью Земли? Первый закон Кеплера утверждает, что тяготеющий центр и орбита КА всегда лежат в одной плоскости. Следовательно, орбитальное движение тела, в том числе космического аппарата, строго над одной географической параллелью возможно только в одном случае – эта параллель является экватором. Экваториальные орбиты с наклонениями плоскостей орбит к плоскости экватора Земли $i=0^0$ или $i=180^0$ обладают важным свойством, связанным с постоянным расположением КА над географической параллелью 0^0, то есть над экватором. Прямые и обратные орбиты, то есть движение КА по вращению Земли или против него, в этой статье пока не обсуждаются, потому что орбитальные тела как объекты исследования изучаются на предмет возможности постоянного или длительного их нахождения над определённой фиксированной географической широтой земной поверхности.

Исследование сформулированной научной гипотезы было начато не аналитически, а с помощью демонстрационных программ движения орбитальных тел. Для получения правильного ответа на поставленный вопрос надо изучить все законы Кеплера. Второй закон Кеплера утверждает, что за равные промежутки времени радиус-вектор КА, построенный из центра тяготения, заметает равные площади. Третий закон Кеплера устанавливает взаимосвязь: квадраты периодов обращения КА по эллиптическим орбитам пропорциональны кубам больших полуосей этих орбит. В школьном курсе физики и астрономии законы Кеплера сложны для быстрого усвоения без наглядного материала. Для понимания сути этих законов очень удобна демонстрационная учебная программа, разработанная профессором Санкт-Петербургского Государственного университета Е.И. Бутиковым. Копия экрана с обращением цветов, выполненным в программе Paint, с результатом работы этой программы показана на рис. 1.

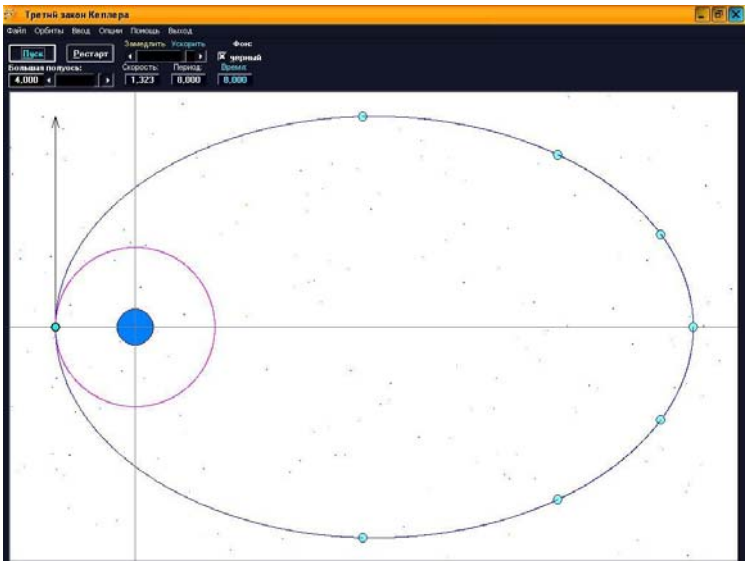


Рис. 1. Две орбиты в демонстрационной программе профессора Е.И. Бутикова (СПбГУ)

Программа профессора Е.И. Бутикова находится в свободном доступе, поэтому не требует специального разрешения на её применение. Для иллюстрации второго закона Кеплера с помощью этой демонстрационной программы был проведён сравнительный анализ двух орбит. Первая орбита является опорной – это низкая околоземная орбита, по которой период обращения КА равен приблизительно полутора часам. Вторая орбита – это высокоэллиптическая орбита спутника связи «Молния», период обращения по которой равен приблизительно двенадцати часам. Сравнивая движение КА по этим двум орбитам с помощью демонстрационной программы профессора Е.И.Бутикова, хорошо видно, что пока КА «Молния» сделает один оборот по высокоэллиптической орбите, КА на низкой круговой околоземной орбите совершит восемь витков вокруг Земли. На рис. 1 точками на эллипсе обозначены периоды обращения КА на круговой орбите, то есть расстояние между двумя любыми соседними точками соответствует приблизительно полутора часам времени. Выполним сравнительный оценочный расчёт продолжительности нахождения КА на правой части эллипса, удалённой от Земли, и на левой части, приближенной к Земле. Почти посередине две точки разделяют эллипс на две почти одинаковые части. Однако в правой удалённой части эллипса находится шесть полуторачасовых дуг, а в левой части только две такие дуги. Это значит, что на правой части орбиты КА находится приблизительно 9 часов, а на левой только 3

часа. Этот факт хорошо известен из того же примера с КА «Молния», потому что три спутника связи надёжно обеспечивали ретрансляцию телевизионных передач из Москвы в Сибирь и на Дальний Восток, начиная с середины 60-х годов прошлого века, то есть поочерёдно находясь на высокой части орбиты по 8 часов, надолго «зависая» в апогейных областях [1, 2].

Длительное нахождение КА на высокой части орбиты дало ответ на вопрос, как двигаться по параллели? В абсолютном движении КА это невозможно, потому что противоречит первому Закону Кеплера. Но это вполне возможно в относительном движении КА, то есть в движении КА относительно поверхности Земли. На большой высоте КА надолго «зависает» над окрестностью своей подспутниковой точки, очень медленно двигаясь по орбите в соответствие со вторым законом Кеплера. При большой высоте апогея, больше высоты геостационарной орбиты (ГСО), вращение Земли может опережать движение КА, то есть орбитальный объект будет двигаться назад по географической параллели. Требований к орбите КА два. Во-первых, большой период обращения, или, что то же самое, в соответствие с третьим законом Кеплера, большое значение большой полуоси эллипса. Во-вторых, большой эксцентриситет эллиптической орбиты, быть может, приближающийся даже к единице, но не достигающий этого значения, чтобы не выродиться в параболу, не достичь второй космической скорости и не вырваться из поля тяготения Земли. Эти требования нужны для дистанционного зондирования районов на фиксированной не нулевой географической широте Земли.

К сожалению, демонстрационная программа профессора Е.И. Бутикова показывает только орбиты КА, но не трассы орбит на поверхности Земли. Баллистические программы построения трасс КА сложные, найти их практически нельзя. Но была найдена старая демонстрационная программа для чёрно-белого монитора с адаптером CGA [3]. Программа написана на языке PASCAL и представлена не только программным кодом, но и объектным модулем, то есть exe-файлом. Исходные данные вводятся в диалоговом режиме: наклонение плоскости орбиты к плоскости экватора Земли, высота перигея над поверхностью Земли, высота апогея над поверхностью Земли, эксцентриситет, постоянный угловой шаг разделения орбиты на эллиптические дуги.

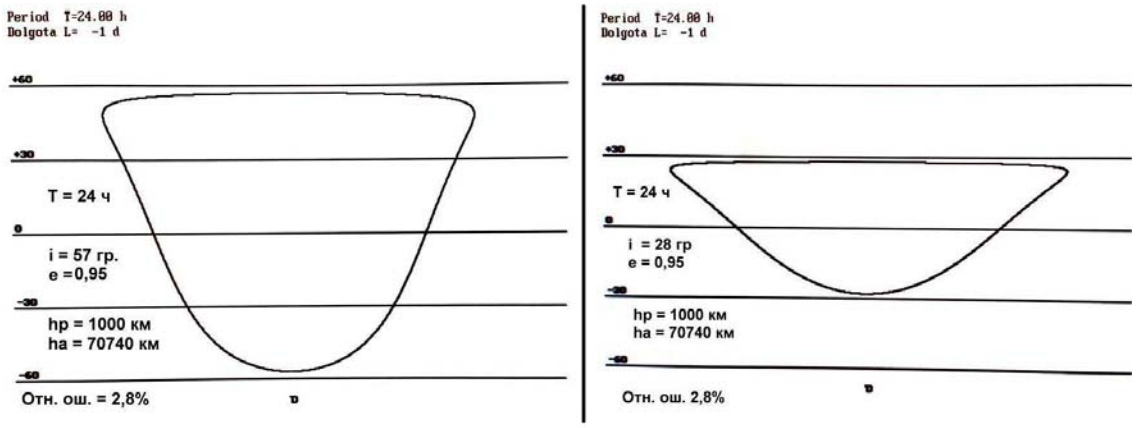


Рис. 2. Две трассы с длительным движением КА по географическим параллелям

Для примера, на рис. 2 показана копия экрана с результатами построения двух трасс КА, выведенных на орбиты со следующими параметрами: наклонение плоскости орбиты к плоскости экватора Земли у первого КА $i1=57^0$, у второго $i2=28^0$. Другие параметры орбит одинаковые у обоих КА: высота перигея над поверхностью Земли h_n=1000 км, высота апогея над поверхностью Земли h_a=70740,19132 км, эксцентриситет e=0,95, постоянный угловой шаг разделения орбиты на эллиптические дуги $0{,}0005^0$ – подбирается опытным способом, определяет точность расчётов и зависит от быстродействия компьютера. Высоты перигеев и апогеев подобраны так, чтобы периоды обращений были суточными, то есть ровно 24 часа. В горизонтальном направлении отложена географическая широта – вся область рисунка соответствует полной картографической развёртке 360^0. В вертикальном направлении отложена географическая широта с шагом 30^0. Первый космический аппарат не поднимается выше и не опускается ниже географической широты 57^0, равной наклонению плоскости его орбиты к плоскости экватора Земли. Для второго КА это значение равно 28^0. Анализ обеих трасс позволяет сделать вывод, что достаточно двух КА, чтобы даже с гарантированным перекрытием обеспечить надёжное дистанционное зондирование географических широт 57^0 или 28^0 на почти горизонтальных участках трассы. Когда один КА находится в апогее, второй должен быть в перигее.

Цель работы достигнута. Относительное движение КА вдоль географической параллели возможно.

ЛИТЕРАТУРА

1. Меньшиков В.А., Перминов А.Н., Урлич Ю.М. Глобальные проблемы человечества и космос. – М.: Изд. МАКД, 2010. – 570 с.

2. Акимов А., Гриценко А., Степанов А., Чазов В. Особенности построения и эксплуатации орбитальных группировок систем спутниковой связи / Спутниковая связь и вещание, 2016. – С. 72-87.

3. Иванов В.Л., Меньшиков В.А., Пчелинцев Л.А., Лебедев В.В. Космический мусор. В 3-х томах. Том. 1. – М.: Патриот, 1996. – 360 с.

РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ «НИР СТУДЕНТОВ»

А.В. Шварнуков

ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова»

Дважды в год в ЧГУ им. И.Н. Ульянова проводятся студенческие научно-практические конференции. В среднем одна конференция состоит из свыше 300 секций, более 4000 докладов и более 5000 участников. Чтобы обработать такое количество информации и получить статистические данные, у руководства студенческого научного общества ЧГУ им. И.Н. Ульянова тратится большое количество времени.

А значит основной целью создания автоматизированной системы является: анализ продуктов, подходящих для работы с конференцией, разработка базы данных для хранения информации об участниках и секциях, разработка алгоритмов генерации документа, сбор статистики по конференции. Также необходимо провести тестирование и написать руководства.

В качестве языка выбор пал на PHP в связи с его преимуществами: быстрота разработки приложений; хорошая производительность разработанного веб-приложения; низкие системные требования [1].

В качестве системы управления базами данных была выбрана простая в использовании и распространённая СУБД My SQL за ряд ее преимуществ: поддержка интерфейса с языками PHP, C и многими другими; быстрая работа благодаря внутренним механизмам; выполнение большого количества запросов одновременно; имеет высокую надежность; бесплатность для некоммерческих продуктов.

Программа спроектирована по шаблону MVC, который предполагает разделение данных приложения, пользовательского интерфейса и управляющей логики на три отдельных компонента: модель (Model) – предоставляет данные и реагирует на команды контроллера, изменяя своё состояние, контроллер (Controller) – считывает действия пользователя, оповещая модель о необходимости изменений, представление (View) – отвечает за отображение данных модели пользователю, реагируя на изменения модели.

Для работы с файлами ворд использовалась библиотека Word.php. При разработке дизайна главным параметром была удобность и понятность. За основу для дизайна был взят дизайн АИС Молодежь, уже проверенный и знакомый людям.

Тестирование проводилось на базе двух последних научных конференций, и все найденные ошибки, выявленные во время тестирования, были исправлены. Система готова к использованию и размещена на сайте

ЛИТЕРАТУРА

1. Зандстра М. PHP. Объекты, шаблоны и методики программирования. Издательство Вильямс, 2009. – 576 с.

СЕКЦИЯ

«НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ»

АМОРФНАЯ ФИБРА ИЗ СПЛАВА СИСТЕМЫ Fe-B-C ДЛЯ ОБЪЕМНОГО АРМИРОВАНИЯ БЕТОНА

Я.Э. Бегич, *А.В. Черкашин*, *П.А. Шерстобитова*
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

Одним из активно развивающихся направлений в строительстве является применение бетонов с дисперсным армированием различными видами фибр. Благодаря уникальным характеристикам фибробетонов, разработка новых видов фибр и определение их влияния на физико-механические характеристики фибробетона имеет перспективное значение для всей отрасли в целом, что подтверждается повышенным интересом ученых, занимающихся решением технических и экономических задач применения строительных материалов [1-3].

Изделия на основе цементных растворов с металлическими волокнами обладают повышенной прочностью при таких видах деформации, как: растяжение, изгиб, сдвиг, а также ударопрочностью. Наличие упрочняющих волокон приводит к повышению трещиностойкости и улучшению структурной целостности [4-8].

Кроме того, использование фибры может значительно снизить расходы на строительные материалы, и, следовательно, строительство зданий (сооружений) в целом. Этого можно добиться за счет снижения расхода арматуры в железобетонных конструкциях.

Целью данного исследования является определение влияния аморфно-металлической фибры на физико-механические свойства цементных композитов.

Основная задача – провести испытания по определению прочности на растяжение при изгибе и на сжатие образцов на основе мелкозернистого бетона, дисперсно-армированных аморфоно-металлической фиброй.

В качестве материала фибры был использован многокомпонентный аморфно-металлический сплав (металлическое стекло) системы Fe-B-C при содержании Mo (до 20 вес. %), Cr (до 17 %), и V (6 %), полученный на кафедре «Технология и исследование материалов» института металлургии, машиностроения и транспорта Политехнического университета Петра Великого совместно с ООО «Химмет».

Установка для получения аморфной фибры работает следующим образом. Навеску исследуемого материала помещают в кварцевый тигель и расплавляют с помощью индуктора. Верхняя часть тигля соединена с системой подачи инертного газа высокого давления, а нижняя сделана в виде капилляра. После расплавления металла создается необходимое давление газа в тигле и расплав выдавливается в виде тонкой (доли миллиметра) струйки на вращающийся барабан. Барабан выполнен из меди и позволяет обеспечить линейную скорость поверхности достаточную для выхода продукта со скоростью до 50 м/с. Струя расплава падает со скоростью под углом к поверхности, в результате на поверхности барабана-холодильника образуется стационарная лужица расплава [9]. Расплав быстро затвердевает на кромке диска, в результате образуется непрерывная лента толщиной несколько десятков микрометров. Ширина образующейся ленты зависит от ширины капилляра в дне тигля. Все устройство помещено в вакуумную камеру с регулируемым в широких пределах давлением газа. Скорость охлаждения постоянна и находится в диапазоне 10^4-10^6 К/с.

Данный способ получения аморфных металлических сплавов в виде тонких лент путем сверхбыстрого охлаждения расплава на поверхности вращающегося холодного барабана называется «спиннингование».

Следует отметить, что аморфная фибра имеет большую, по сравнению с проволочной, боковую поверхность, что является одним из главных резервов повышения прочности фибробетона, разрушение которого в большинстве случаев происходит в результате выдергивания фибр из бетонной матрицы. Более того, форма поперечного сечения фибры, обусловленная процессом изготовления, обеспечивает значительную жесткость такой фибры, а также равномерное распределение фибр в объеме, и, следовательно, значительное повышение физико-механических характеристик фибробетона [10-13].

Таблица 1. Результаты измерения предела прочности при сжатии и на растяжение при изгибе

Содержание фибры, %	Возраст, сут.					
	3		7		28	
	Прочность на растяжение при изгибе (Rt), МПа	Прочность на сжатие (Rc), МПа	Прочность на растяжение при изгибе (Rt), МПа	Прочность на сжатие (Rc), МПа	Прочность на растяжение при изгибе (Rt), МПа	Прочность на сжатие (Rc), МПа
0	7,0	37,5	8,2	50,4	8,6	60,2
0,5	6,5	33,1	7,7	49,9	8,8	60,7
1,0	7,4	34,0	7,4	49,5	9,2	59,2
1,5	8,7	33,1	8,8	47,1	9,8	57,5
2,0	8,7	30,5	9,8	45,7	10,5	56,6
3,0	8,9	26,9	12,1	43,9	13,9	51,0

Для получения исследуемых образцов-балок размерами 40х40х160 мм, растворную смесь нормальной густоты укладывали в трехсекционную форму, закрепленную на стандартной виброплощадке с последующим уплотнением вибрацией. Хранение образцов первые 24 часа в формах производилось в пространстве с повышенной влажностью, затем освобожденные от форм балочки хранились в воде при температуре (20±2)°С.

Для изготовления контрольных образцов (3 шт.) использовали 500 г. цемента (марка ПЦ 500 Д0), 1500 г. монофракционного песка и 240 мл воды. Предварительное смешение песка и цемента производилось сначала вручную в сферической чашке, затем в бегунковой растворомешалке в автоматическом режиме. Водоцементное отношение для всех составов фибробетонной смеси равно 0,48.

Для получения сопоставимых результатов, изложенный выше метод приготовления растворной смеси был так же использован при изготовлении образцов с аморфной фиброй, которая добавлялась в количестве 0,5; 1; 1,5; 2 и 3 % от массы раствора (2240 г.). После достижения равномерного распределение фибры в цементно-песчаной смеси, добавлялась вода.

Испытания на прочность при изгибе и сжатии проводились в соответствии со стандартной методикой ГОСТ 310.4-81 «Цементы. Методы определения предела прочности при изгибе и сжатии» в возрасте 3, 7, 28 суток. Результаты представлены в табл. 1.

По результатам испытаний можно сделать вывод, что добавление волокна в смесь мелкозернистого бетона приводит к улучшению модуля упругости образцов, так как увеличивается предел прочности на растяжение при изгибе на 55,9%. В тоже время ухудшается свойство противостоять сжимающим напряжениям ввиду снижения предела прочности при сжатии 30% по сравнению с контрольным образцом. Испытания показали, что наиболее высокие прочностные характеристики имеют образцы мелкозернистого бетона с содержанием аморфной фибры 3%.

ЛИТЕРАТУРА

1. Родионова А.А. Фибробетон: материал будущего в строительстве // Ломоносовские чтения на Алтае. – 2013. – С. 108-112.
2. Пухаренко Ю.В., Пантелеев Д.А., Жаворонков М.И. Определение вклада фибры в формирование прочности сталефибробетона // Вестник гражданских инженеров. – 2017. – № 1. – С. 172-176.
3. Талантова К.В. Оптимизация расхода стальной фибры при проектировании конструкций на основе сталефибробетона // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2014. – № 8. – С. 99-106.
4. Banthia N., Nandakumar N. Crack growth resistance hybrid fiber reinforced cement composites. Cem Concr Compos 2003; 25(1). p. 3–9.
5. Магдеев У.Х., Морозов В.И., Пухаренко Ю.В. Трещинообразование дисперсно-армированных бетонов с позиций механики разрушения // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. – 2012. – № 1. – С. 110–117.
6. Quan C.X., Stroeven P. Fracture properties concrete reinforced with steelpolypropylene hybrid fibres. Cement Concr Compos 2000; 22(4). p. 343–53.
7. Xu G., Magnani S., Hannant D.J. Behavior of fiber cement hybrid composites polyvinyl alcohol fiber yarns. ACI Mater J 1998; 95(6). p. 667–74.
8. Клюев С.В., Клюев А.В., Абакаров А.Д., Шорстова Е.С., Гафарова Н.Е. Влияние дисперсного армирования на прочностные и деформативые характеристики мелкозернистого бетона // Инженерно-строительный журнал. 2017. № 7(75). С. 66–75.
9. Белозеров В., Стародубцев Ю. Аморфные металлические материалы // Силовая Электроника. – 2009. – № 2. – С. 86-89.
10. Пухаренко Ю.В. Принципы формирования структуры и прогнозирование прочности фибробетонов // Вестник гражданских инженеров / СПб., 2005. № 1, – С. 86-91.
11. Пухаренко, Ю.В. О вязкости разрушения фибробетона / Ю.В. Пухаренко, В.Ю. Голубев // Вестник гражданских инженеров. – 2008. – № 3. – С. 80–83.
12. Пухаренко, Ю.В. Особенности приготовления фибробетонных смесей // Вестник гражданских инженеров. – 2012. – № 2. – С. 162– 166.
13. Пухаренко Ю.В. и др. Диаграммы деформирования цементных композитов, армированных стальной проволочной фиброй // Academia. Архитектура и строительство. – 2018. – № 2. – С. 143– 147.

МЕТОДОЛОГИЯ ЭФФЕКТИВНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЦИФРОВОЙ КАПЛЕСТРУЙНОЙ ПЕЧАТИ НА ШИРОКОМ АССОРТИМЕНТЕ ЗАПЕЧАТЫВАЕМЫХ МАТЕРИАЛОВ

О.Р. Боголепова

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

Технология цифровой печати многовариантна. Ее каждое ответвление уникально, и требует индивидуального похода к организации репродукционного процесса. Промышленные цифровые печатные системы состоят из двух компонентов: печатающего устройства и растрового процессора, выполняющего функции управления режимами и условиями печати. Программная оболочка последнего имеет сложную конфигурацию, поэтому нередко возникаю проблемы при изготовлении полиграфической продукции в результате некорректной организации Системы управления цветом. Созданию задела для решения этой проблемы, весьма актуальной для современного, стремящегося к «цифровизации», полиграфического производства, посвящена данная работа.

В качестве объекта экспериментальных исследований был выбран использующий латексные чернила широкоформатный каплеструйный печатный аппарат Ricoh pro L 4160, управляемый растровым процессором RIP Onyx 18.

На первом этапе проводился анализ базовых технологических аспектов управления цветом широкоформатной каплеструйной печати. Затем – экспериментальное исследование возможностей модуля управления цветом, реализованного в тестируемом растровом процессоре RIP Onyx, и оценка эффективности его работы. На основании исследования эффективности применения процедуры управления цветом при использовании разных запечатываемых материалов (подложек) предполагалась разработка рекомендаций по управлению цветом ШКПС Ricoh pro L4160, в частности, по созданию выходных цветовых профилей.

Все исследования носят объективный характер, т.к. проведены с использованием количественных методов оценки результатов печати тест-объектов.

Процедура управления цветом цифрового печатного процесса включает три основные процедуры: линеаризация системы, ограничение предельного суммарного количества красок посредством снижения уровня подачи чернил и создание цветового профиля печатной системы.

Линеаризация обеспечивает адекватный отклик печатной системы на изменение уровня тона в файле: каждому входному значению соответствует выходное (светлота или оптическая плотность), отличное от других.

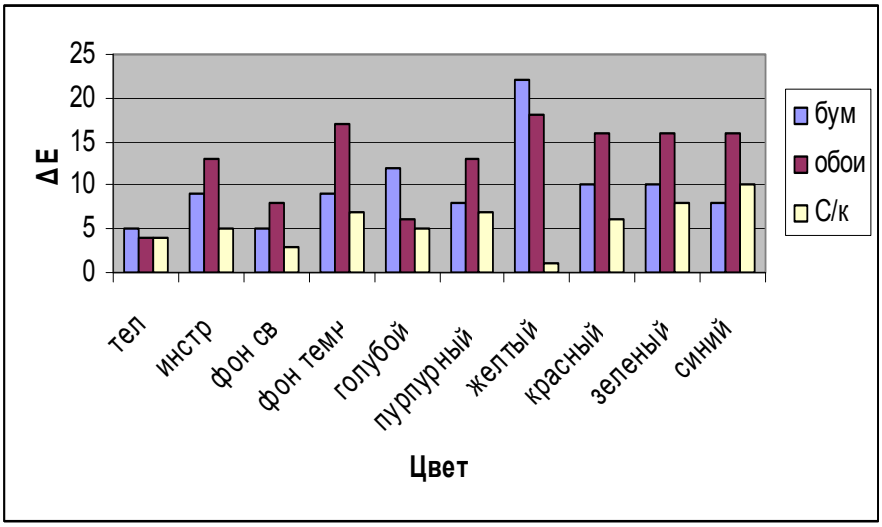


Рис. 1. Обеспечиваемая использованием индивидуального цветового профиля точность цветопередачи при печати на трех подложках со значительно отличающимися свойствами

После линеаризации печати и выбора предельной суммы красок, не вызывающей возникновения на оттисках дефектов (например, затекания пробелов в темных тонах) можно проводить процедуру профилирования печатной системы. В растровом процессоре RIP Onix 18 существует два подхода к построению выходного цветового профиля:

- средствами самого растрового процессора по предлагаемой им шкале цветового охвата с использованием внутренней программной интерполяции полученных цветовых значений;
- посредством использования сторонних программ управления цветом (например, X-Rite Profile Maker).

Первый из них имеет такие недостатки как: ограничен выбор шкалы цветового охвата; отсутствует возможность коррекции профиля и существует возможность потери данного профиля при переустановке РИПа.

Поэтому целесообразно использовать второй подход, который и использовался для проведения дальнейших исследований.

Печать на разных подложках имеет индивидуальные характеристики тоно- и цветопередачи. Некоторые материалы не способны точно воспроизводить темные и светлые (пастельные) цвета (холст).

Отсюда можно сделать два вывода: выходной профиль должен создаваться для разных по оптическим, структурным и поверхностным свойствам материалов.

Однако обеспечиваемая точность цветопередачи не всегда может оказаться удовлетворительной в силу ограничений репродукционного потенциала печати на этих материалах (рис. 1).

Эти особенности воспроизведения изображений на разных материалах должны быть учтены на этапе заключения договора с заказчиком, что особенно актуально при печати больших тиражей, учитывая стоимость расходных материалов, а также на этапе допечатной подготовки оригинал — макетов, путем использования разработанного цветового профиля печати при моделировании результатов печати с помощью видеопробы.

Итак, в ходе работы были получены следующие основные результаты:

- проведено исследование технологии управления цветом, реализованной в растровом процессоре RIP Onyx 18;
- выполнена оценка эффективности двух подходов к созданию цветового профиля печати, а также технологии управления цветом на разных запечатываемых материалах.
- сформулированы рекомендации по проведению процедуры управления цветом цифровой каплеструйной широкоформатной печати, в частности, по созданию цветового профиля печати на разных по оптическим и поверхностным свойствам подложках.

Остается добавить, что комплекс проведенных экспериментов позволил разработать методологию управления цветом исследуемой широкоформатной каплеструйной печатной системы, которая может быть полезна для цифровых печатных систем аналогичной конфигурации.

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ПРИМЕНЕНИЯ ВЫСОКОПРОЧНЫХ БЕТОНОВ НА НАПРЯЖЁННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ВЕРТИКАЛЬНЫХ НЕСУЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ ВЫСОТНОГО ЗДАНИЯ

Н.О. Борисов

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

Вопрос экономии затрат на материалы в строительстве, равно как и вопросы надёжности сооружений, конструкций и материалов, контроля качества производства работ, всегда был и остаётся актуальным. Поэтому в данной работе особое внимание уделяется оптимизации параметров конструкций несущих железобетонных колонн, целью которой является нахождение рационального решения, удовлетворяющего таким основным требованиям как прочность, надёжность, безопасность [1, 2]. Стремление выполнить все эти требования часто приводит к недовыполнению требования экономичности, что обуславливает главную трудность проектирования.

В работе рассматривается здание бизнес-центра высотой 104 метра [3]. При проектировании здания бизнес-центра принимались конструктивные решения, имеющие широкую область применения, опыт эксплуатации, а значит не требующие дополнительных подтверждающих расчётов. Использование подобных типовых решений помогает упростить работу проектировщика. Для оптимизации проекта необходимы дополнительные изыскания. В данной работе рассматривается возможность применения современных высокопрочных бетонов высоких классов (В80 по СП 63.13330.2012 «Бетонные и железобетонные конструкции». Основные положения Актуализированная редакция СНиП 52-01-2003) в конструкциях бизнес-центра высотой более 100 метров.

Цель исследования состоит в определении оптимальных параметров несущих вертикальных элементов – железобетонных колонн квадратного сечения, отвечающих архитектурным, конструктивным и экономическим требованиям.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

• провести расчёт в ПК ЛИРА-САПР несущих элементов здания с использованием рядового класса бетона В40 и с использованием высокопрочных бетонов класса В80;

• подобрать арматуру для вертикальных несущих элементов – колонн квадратного сечения 400х400 мм, 500х500 мм, 600х600 мм;

• определить линейные зависимости и конструктивные ограничения, влияющие на подбор оптимальных параметров;

• предложить альтернативный вариант принятому проектному решению.

Методы исследования включают BIM-моделирование в среде САПФИР, конечно-элементный расчёт в ПК ЛИРА-САПР, сравнительный анализ конструктивных особенностей рассчитываемой конструкции.

Расчёт конструкций здания производился в соответствии с СП 20.13330.2011 «Нагрузки и воздействия». Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85*.

Для расчета здания на основное сочетание нагрузок была сформирована пространственная трехмерная статическая модель на жестком основании. Геометрическая схема модели сформирована в виде конечных элементов различного типа с максимальным приближением к конструктивному решению здания.

В качестве основной несущей системы секций здания принят монолитный железобетонный остов, состоящий из несущих колонн, ядер жёсткости и перекрытий, жестко сопряженных между собой и образующих единую пространственную конструкцию. Геометрические параметры сечений были приняты исходя из объемно-планировочных, архитектурных и существующих решений, основанных на опыте проектирования. Глубина заложения фундаментной плиты составляет 5 700 мм. Лестничные марши железобетонные, опирающиеся на монолитные железобетонные площадки и несущие стены (обеспечивается ядро жёсткости).

Нагрузка по всему объему здания передается через перекрытия, несущие колонны на плиты фундамента, которые работают жестко, что приводит к некоторому увеличению расчетных усилий на фундамент (в запас прочности). В результате статического расчета при основном сочетании нагрузок подбирается арматура железобетонных элементов, определяются перемещения и реакции характерных узлов КЭ-схемы.

Конструктивная схема – монолитный железобетонный безригельный каркас с несущими конструкциями в виде железобетонных колонн сечения 600х600 мм с шагом 6х6 м. Класс бетона В40/В80. Перекрытие – железобетонное монолитное, толщиной 200 мм. Фундаментом под здание жилого дома запроектирована монолитная Ж/Б плита толщиной 1000 мм. Ядро жесткости состоит из лифтового узла и лестничной клетки, в виде монолитных стен толщиной 300 мм, класс бетона В40/В80. Надземная и подземная части здания – каркасные, несущие элементы выполнены из железобетона. Конструктивная схема здания неизменна во всем его объеме. Подземный паркинг – каркасное двухэтажное здание. Каркас паркинга представляет собой железобетонные колонны сечением 600х600 мм (с шагом 6х6 м), железобетонный фундамент, перекрытие кровли. Элементами жесткости служат железобетонные стены лестничных клеток толщиной 300 мм. Наружные стены - монолитные железобетонные, толщиной 300 мм с гидроизоляцией.

Наружные стены запроектированы как навесная система остекления с двухслойным исполнением. Перегородки выполнены из газобетона, толщиной 200-250мм. Прочность, устойчивость, пространственная неизменяемость обеспечивается работой несущих конструкций на восприятие нагрузок. Пространственная жесткость каркаса издания обеспечиваются жестким соединением ядер жёсткости и колонн с плитным фундаментом, жесткостью самих стен и колонн, плит перекрытий здания. Несущие конструкции имеют степень огнестойкости R120. перекрытия REI60, стены лестничных клеток REI120, лестничные марши R60. Лестничные клетки незадымляемые. Характеристики материалов представлены в табл. 1.

Таблица 1. Прочностные характеристики бетонов

	Характеристики, МПа	
Класс бетона по СП 63.13330.2012 «Бетонные и железобетонные конструкции». Основные положения Актуализированная редакция СНиП 52-01-2003	В40	В80
Начальный модуль упругости, Eb	36 000,0	42 000,0
Расчетное сопротивление осевому сжатию, Rb	22	41
Расчетное сопротивление осевому растяжению, Rbt	1,4	2,1
Нормативное сопротивление осевому сжатию, Rbn	29	57
Нормативное сопротивление осевому растяжению, Rbtn	2,1	3,3

Характеристики арматуры.

Класс арматуры: А500

Модуль упругости, МПа: Es = 200000.0

Расчетное сопротивление растяжению продольной арматуры, МПа: Rs = 435.0

Расчетное сопротивление растяжению поперечной арматуры, МПа: Rsw= 300.0

Расчетное сопротивление сжатию, МПа: Rsc= 435.0

Нормативное сопротивление растяжению, МПа: Rs,ser= 500.0

Модель бизнес-центра созданная в среде САПФИР с нагрузками переносится в ПК ЛИРА-САПР. Отдельно задаются жёсткости: типы элементов и материал. Сравнение ведётся с расчётом для бетона класса В40 и сечения колонн 600х600 мм. Последовательно задаётся сечение колонн 400х400 мм, 500х500 мм и 600х600 мм. Каждое проверяется для высокопрочных бетонов класса В80. Поскольку предельные перемещения и деформации для исходных данных не превышают допустимые, сравнения по ним не проводится.

При расчёте фиксируется максимальное значение площади армирования вертикальных стержневых несущих элементов – колонн, предлагаемые варианты армирования и расчётные параметры. В данной работе рассматриваются только вертикальные несущие элементы – колонны квадратного сечения.

Для анализа данные по площади армирования для колонн различного сечения представлены в табл. 2.

Необходимая суммарная площадь арматуры для сечения 400х400 больше оптимальной конструктивно возможной, т.к. 8 стержней диаметром 40 мм составляют площадь 100.56 см^2. В соответствии с СП 63.13330.2012 «Бетонные и железобетонные конструкции». Основные положения Актуализированная редакция СНиП 52-01-2003 можно использовать 12 стержней для армирования колонны. Для сечения 500х500 мм тоже имеется

конструктивная возможность использовать 8 стержней, что сильно расширяет рамки возможных сочетаний арматуры. Из приведённых данных видно, что оптимально использовать вариант с сечением 500х500 мм. Для дальнейшего определения эффективности конструктивного решения необходимо провести анализ экономического влияния экономии материалов на стоимость строительства.

Таблица 2. Зависимость площади армирования от сечения и класса бетона

Класс бетона по СП 63.13330.2012	Площадь армирования, см^2		
	для колонн сечением, мм		
	400х400	500х500	600х600
B40	-	-	76.97
B80	122.00	67.54	49.30

Полученные данные наглядно демонстрируют возможность применения современных высокопрочных бетонов в вертикальных несущих элементах – железобетонных колоннах высотных зданий. Видно, что требуемая площадь армирования при сохранении сечения 600х600 мм значительно меньше при использовании бетона B80. Возможный экономический эффект составит разница между более высокой стоимостью бетона и меньшим количеством арматуры. Или же можно уменьшить сечение, площадь армирования требуется всё так же меньше, однако дополнительно будет экономия на бетоне. Следует отметить, что подобное уменьшение сечения должно удовлетворять требованиям пожарной безопасности, что может потребовать дополнительных затрат.

ЛИТЕРАТУРА

1. Korsun V.I., Kalmykov Yu.Yu., Makarenko S.Yu. A version of the failure criterion modification for plane concrete Key Engineering Materials. 2017. Т. 755. С. 300-321.

2. Korsun V., Vatin N., Korsun A., Nemova D. Heterogeneous shrinkage of high-strength concrete by the volume of large-size structural elements. Applied Mechanics and Materials. 2015. Т. 723. С. 445-450.

3. Борисов Н.О. Применение современных бетонов в конструкциях бизнес-центра высотой более 100 метров [Электронный ресурс]: выпускная квалификационная работа бакалавра / Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Инженерно-строительный институт; науч. рук. В.И. Корсун; консультант по нормоконтролю. М.Д. Терех. — Санкт-Петербург, 2019.

АКУСТИЧЕСКАЯ АНИЗОТРОПИЯ НА ПОЗДНИХ СТАДИЯХ ПЛАСТИЧЕСКОГО РАЗРУШЕНИЯ МЕТАЛЛОВ

А.Р. Галяутдинова*, Д.А. Третьяков*
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

Важнейшей задачей промышленности является разработка новых и развитие существующих методов неразрушающего контроля работоспособности технических конструкций в атомной и теплоэнергетике, в нефтегазовой отрасли и строительстве, в авиационной и транспортной сферах.

Акустические методы неразрушающего контроля обладают рядом преимуществ по сравнению с рентгеновскими, магнитострикционными и другими методами контроля. Они отличаются низкой себестоимостью и безопасностью для здоровья специалиста, а также поддерживаются гостированными методиками, широко используемыми в промышленности.

Перспективным акустическим методом оценки напряженно-деформированного состояния при упругих деформациях конструкций является метод акустоупругости [1,3-4], основанный на измерении относительной разности скоростей поперечных волн взаимно ортогональной поляризации – акустической анизотропии [2]:

$$\Delta a = 2(v_1 - v_2)/(v_1 + v_2), \quad (1)$$

где v_1 и v_2 – скорости распространения поперечных волн в двух ортогональных направлениях. Данный метод сертифицирован для расчета механических напряжений, а его применение обеспечивается серийным оборудованием отечественного производства.

Возможность оценки механических напряжений в упругой области с помощью данного метода была многократно подтверждена экспериментально [3]. Однако больший интерес для технической диагностики предоставляет случай неупругого деформирования конструкций, при котором происходит накопление в них пластических деформаций и поврежденности.

На базе нелинейно упругой модели Мурнагана [5] в 1985 году было получено соотношение Y.H.Pao-M.Hirao для акустической анизотропии в случае малых пластических деформаций [6], устанавливающее линейную связь между акустической анизотропией и главными пластическими деформациями.

Предложенный авторами подход получил название теории акустопластичности [6]. Его экспериментальной проверке было посвящено значительное число работ [7-10]. В частности, авторами [10] утверждается существование монотонной зависимости акустической анизотропии от величины пластических деформаций в стальных образцах. Ими исследовались структурные изменения в случае статического растяжения корсетных образцов из конструкционных сталей 08ПС, 09Г2С и стали 40. Путем аппроксимации кривой "Δa - ε" полиномом второй степени, авторами были получены формулы для оценки величины пластических деформаций по результатам измерения акустической анизотропии [10].

Настоящая работа посвящена исследованию зависимости акустической анизотропии и скоростей распространения ультразвуковых волн от пластических деформаций в широком диапазоне, включая стадию вблизи предела временного сопротивления.

Исследования проводились на партии корсетных образцов из холоднокатаного алюминия марки АМц, вырезанных поперек проката. Образцы были испытаны на одноосное растяжение на разрывной гидравлической машине INSTRON-8801. На каждом этапе жесткого нагружения осуществлялось измерение скоростей продольной v_3 и двух поперечных волн взаимно перпендикулярной поляризации v_1 и v_2, в различных угловых направлениях поворота ультразвукового датчика 5 МГц относительно оси образца. Измерения осуществлялись при помощи сертифицированного анализатора акустической анизотропии ИН-5101А. Расчет акустической анизотропии осуществлялся согласно формуле (1).

Был установлен немонотонный характер зависимости акустической анизотропии от пластических деформаций для образцов из промышленного проката. Было установлено, что немонотонное изменение акустической анизотропии приходится на значения деформаций, соответствующие пределу текучести и пределу временного сопротивления на диаграмме деформирования. На рис. 1 представлены графики зависимости акустической анизотропии от деформаций для различных углов поворота датчика относительно оси нагружения образца. Видно, что нелинейный характер наблюдается во всех исследуемых случаях.

Из полученных результатов следует, что соотношение, приведенное в [6], не является универсальным, и может быть использовано только на специально подготовленных образцах и в малом диапазоне пластических деформаций. Кроме того, способ однозначной диагностики пластических деформаций, предложенный авторами [10] для стальных образцов, не может быть применен в алюминиевом прокате. Это также подтверждается результатами исследований, опубликованных в [11,12]. Причиной различного характера зависимостей в случае стальных образцов [10] по сравнению с алюминиевыми может являться разница в величине упругих модулей у данных материалов, однако данное предположение требует экспериментального подтверждения.

Также была проведена оценка остаточного ресурса образцов с помощью метода акустоповрежденности [12,13]. Данный метод связывает скорости ультразвуковых волн с главными значениями тензора поврежденности второго ранга с помощью соотношений, полученных для различных схем симметризации тензора эффективных напряжений. Подробный вывод данных соотношений проведен в работе [13]. На рис. 2 приведены зависимости компонент тензора поврежденности D_1 и D_2, отвечающих за накопление повреждений вдоль и перпендикулярно оси образца, от деформаций для трех схем симметризации: явной аддитивной, явной мультипликативной и неявной аддитивной [13].

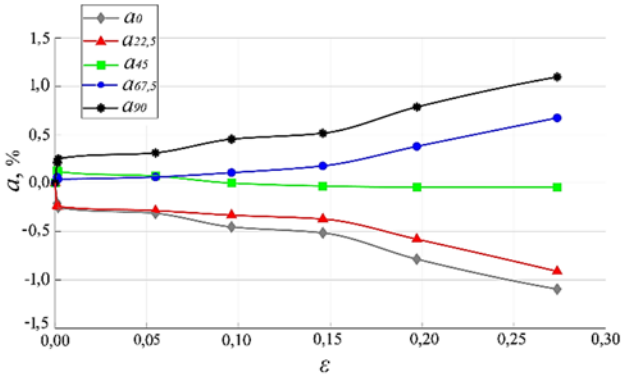


Рис. 1. Зависимость акустической анизотропии от неупругих деформаций ε

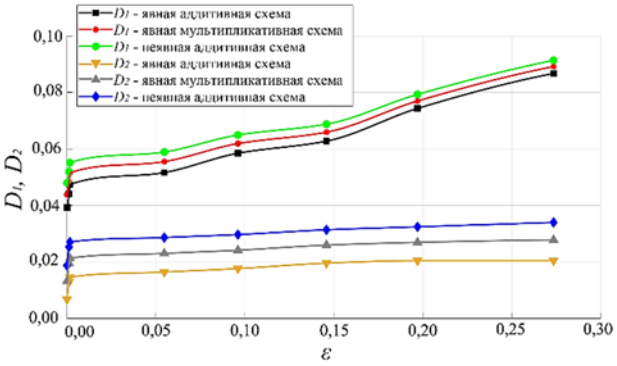


Рис. 2. Зависимость компонент тензора поврежденности D_1 и D_2 для различных схем симметризации от неупругих деформаций

С ростом величины неупругих деформаций происходит рост повреждений, накапливающихся в образце. Из данных рис. 2 видно, что скорость роста компоненты D_1, направленной вдоль оси образца, выше скорости роста ортогональной ей компоненты D_2. Это объясняется тем, что в случае монотонного одноосного растяжения образца возникновение микротрещин происходит в направлении, ортогональном направлению действия нагрузки.

Установленные в результате исследования нелинейные зависимости акустической анизотропии и компонент тензора поврежденности от больших пластических деформаций могут быть использованы для

разработки методики неразрушающего контроля остаточного ресурса конструкций из промышленного проката с помощью акустической анизотропии.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда, грант № 18-19-00413.

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ Р. 52330-2005. Контроль неразрушающий // Акустический метод контроля механических напряжений. Общие требования. – 2007.

2. Benson R.W, Raelson V.J. Acoustoelasticity // Product Engineering. – 1959. – Vol. 30. – P. 56-59.

3. Никитина Н.Е. Акустоупругость. Опыт практического применения // Н. Новгород: Талам. – 2005. – 208 с.

4. Камышев А.В. и др. Метод расчетно-инструментальной оценки напряженно-деформированного состояния элементов трубопроводов с использованием силовых граничных условий // Контроль. Диагностика. – 2015. – № 9. – С. 45-51.

5. Murnaghan F.D. Finite deformations of an elastic solid // American Journal of Mathematics. – 1937. – Vol. 59. – No. 2. – P. 235-260.

6. Hirao M., Pao Y H. Dependence of acoustoelastic birefringence on plastic strains in a beam // The Journal of the Acoustical society of America. – 1985. – Vol. 77. – No. 5. – P. 1659-1664.

7. Kobayashi M. Ultrasonic nondestructive evaluation of microstructural changes of solid materials under plastic deformation—Part I. Theory // International Journal of Plasticity. – 1998. – Vol. 14. – No. 6. – P. 511-522.

8. Беляев А.К. и др. Оценка величины пластических деформаций с использованием акустической анизотропии // Известия Российской академии наук. Механика твердого тела. – 2016. – № 5. – С. 124-131.

9. Belyaev A.K. et al. Propagation of sound waves in stressed elasto-plastic material // Days on Diffraction (DD), 2016. – IEEE, 2016. – P. 56-61.

10. Мишакин В.В. и др. Акустический метод оценки поврежденности материалов и конструкций, подвергаемых силовому нагружению // Вестник научно-технического развития. – 2008. – № 5. – С. 61-66.

11. Зуев Л.Б., Семухин Б.С., Бушмелева К.И. Скорость распространения ультразвука и стадийность пластического течения поликристаллов Al // Письма в ЖТФ. – 1996. – Т. 22. – С. 76-79.

12. Галяутдинова А. Р., Третьяков Д. А. Эволюция акустической анизотропии и мер поврежденности при усталостном разрушении металлов // Неделя науки СПбПУ. – 2018. – С. 210-213.

13. Semenov A.S. Symmetrization of the effective stress tensor for anisotropic damaged continua // St. Petersburg Polytechnical University Journal: Physics and Mathematicsю – 2017. – Vol. 3. – No. 3. – P. 271-283.

КОМПОЗИТНАЯ АРМАТУРА. ПРОБЛЕМЫ ПРОИЗВОДСТВА И ПРИМЕНЕНИЯ

А.Д. Гроховский, *Д.В. Нижегородцев*

Санкт-петербургский государственный архитектурно-строительный университет

Арматура композитная полимерная (АКП) на основе стеклянных, углеродных, арамидных, базальтовых волокон – сравнительно новый строительный материал, который используют в качестве альтернативы стальной арматуре, применяемой в бетонных конструкциях. Применение АКП в России регламентируется нормативно-технической документацией (НТД) [1–3]. Особенности использования АКП в строительных конструкциях рассмотрены в различных исследованиях [4, 5].

На данный момент, применение композитной арматуры сильно ограничено в реальном строительстве. Этому способствует целый ряд причин, таких как:

1) новизна материала и как следствие страх, проблемы с осведомленностью;
2) технические условия материалов;
3) неготовность проектных организаций к использованию в проектах композитной арматуры;
4) наличие проверенного армирующего материала, такого как стальные арматурные стержни, и т.д.

В данной работе мы рассмотрим только технические условия использования материала на примере композитной арматуры на основе стеклопластиковых волокон (АСК – арматура стеклопластиковая композитная). В рамках эксперимента были проведены исследования арматуры, предоставленной компанией ООО «Композит Групп Челябинск». Подготовка и испытание образцов проводились в Центре механических испытаний строительных конструкций (ЦМИСК) СПбГАСУ.

Цель эксперимента заключалась в уточнении процесса проверки АСК в рамках нынешних ГОСТ, а в частности определение подходящих клеевых составов для закрепления АСК в стальных муфтах с последующим испытанием на растяжение. В связи с плохой адгезией АСК со многими материалами и клеевыми составами, при испытании образцов разрушение происходило не по арматуре (что являлось бы показателем качества) а по клеевому составу.

Технические условия:

1) АСК диаметром 10мм с навивкой из стеклопластика;
2) рабочая длина образца (между муфтами) 30 см.
3) модуль упругости АСК - 50Гпа;

4) клеевые составы (чистый и с песком фракции 0-1,25мм смешанный в отношении 1:1);
5) муфты стальные;
6) центрирующие кольца.

После проведения испытаний были получены результаты (графики) зависимости удлинения образцов от приложенных усилий. Было установлено, что образцы, установленные на клеевой состав, смешанный с кварцевым песком, показывает разрушения образцов по арматуре и по результатам более приближен к заявленным характеристикам АСК. График зависимости для образцов, установленных на клеевой состав с песком приведен на рис. 1. Результаты испытаний также приведены в табл. 1.

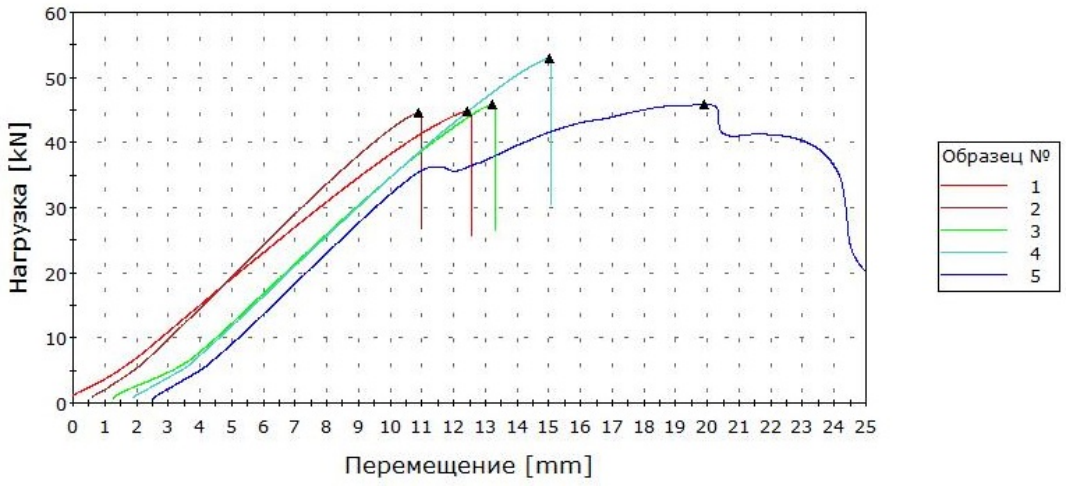


Рис. 1

Таблица 1

Номер образца	Максимальная нагрузка, кН	Маркировка образца
1	44,83	КП1
2	44,63	КП2
3	45,76	КП3
4	52,98	КП4
5	45,85	КП5

Разрушение всех образцов произошло в пределах муфты вследствие срыва навивки с тела стержней АСК. Среднее усилие – 46,81 кН. Зная диаметр арматуры, можем найти предел прочности арматуры, он равен для среднего значения – 593,2 МПа. Для сравнения, предел текучести для стальной арматуры марки А500С – 435МПа. Так же, по графику можно заметить, что удлинение стержней до разрыва в среднем равно 12 мм при заявленном муделе Юнга 50ГПа, отмечается значительное удлинение образца. Это связано с тем, что разрушение происходит не по телу стержня, а по навивке.

Так как целью эксперимента было уточнение процесса проверки АСК, то в рамках этого можно сделать следующие выводы: сходимость результатов для образцов с клеем и песком выше, чем для образцов с чистым клеем, причём это наблюдается как в численных значениях разрушающей нагрузки, так и в характере разрушения образцов. Это позволяет предположить, что при испытании образцов, рекомендованных ГОСТ, использование клеевого состава с песком позволит достичь более точных результатов. Однако, для окончательного вывода необходимо проведение дополнительных исследований как отдельных свойств клеевых составов, так и их совместной работы с различными видами полимерной композитной арматуры.

Что касается в целом композитной арматуры, то по результатам испытаний можно сделать следующие выводы:

1) АСК нельзя назвать надежным материалом, так как даже в рамках лабораторных испытаний не были достигнуты заявленные характеристики, указанные производителем. При длине образца 30 см, по заявленному модулю Юнга 50 Гпа и полученному расчетному сопротивлению 593,2 МПа, относительное удлинение должно составлять 0,011. В нашем же случае оно равно 12/30=0,4, что в 36,4 раза больше заявленного. Как было уже указано выше, такое большое относительное удлинение получается вследствие разрушения образца по навивке, но данная навивка обеспечивает адгезию или сцепление АСК с материалом для армирования (бетоном), поэтому существовать АСК в связи с низкой адгезией тела стержня без навивки не может. Можно сделать вывод, что на данном этапе развития производства АСК нет достаточных средств передачи рабочего усилия с материала (бетон) на арматуру, которые обеспечат заявленные характеристики работы данной арматуры. В противовес этому, стальная арматура работает надежно, так как имеет достаточную адгезию с бетоном и в реальных конструкциях показывает характеристики, приближенные к расчетным.

2) Несмотря на большое расчетное сопротивление композитной арматуры осевому растяжению, относительное ее удлинение не позволяет ее использование в изгибаемых конструкциях в качестве нижней рабочей арматуры. При раскрытии трещин, когда в работу вступает только сама арматура, удлинения стержней не позволят остаться трещинам в их предельной ширине раскрытия. В противовес этому стальная арматура прекрасно работает в трещинах и позволяет оставлять ширину их раскрытия меньше предельных.

3) В связи с анизотропностью материала, несмотря на большое расчетное сопротивление композитной арматуры осевому растяжению, она имеет малое сопротивление на срез («трещит»). Данный фактор не позволяет ее использовать в изгибаемых конструкциях, вследствие возникновения приопорных касательных усилий. Для обеспечения прочности в приопорных участках процент армирования должен быть либо значительно увеличен армированием композитной арматурой, либо добавлением стальных стержней. В противовес этому, стальная арматура имеет на срез сопротивление равное сопротивлению на растяжение и сжатие и не требует переармирования в приопорных участках.

Из всех вышеперечисленных выводов можно заключить, что применение композитной арматуры целесообразно:

1) в малонапрягаемых элементах конструкций, как конструктивной арматуры;
2) в монолитных крупных неизгибемых конструкциях – массивах;
3) в местах, где применение стальной арматуры невозможно (высокая активность внешней среды, радиопроницаемость).

В дальнейшем планируется сравнение теоретической и практической частей испытания бетонной балки, армированной АСК, для получения более обширных данных касательно вопросов, поднятых в данной работе.

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 31938-2012. Арматура композитная полимерная для армирования бетонных конструкций. Общие технические условия. М.: ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ», 2014. 35 с.

2. СП 295.1325800.2017. Конструкции бетонные, армированные полимерной композитной арматурой. Правила проектирования. М.: Минстрой России, 2017, 48 с.

3. ГОСТ 32492-2015. Арматура композитная полимерная для армирования бетонных конструкций. Методы определения физико-механических характеристик. М.: ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ», 2016. 17 с.

4. Староверов В.Д., Бароев Р.В., Цурупа А.А., Кришталевич А.К. Композитная арматура: проблемы применения // Вестник гражданских инженеров. 2015. № 3 (50). С. 171-178.

5. Окольникова Г.Э., Герасимов С.В. Перспективы использования композитной арматуры в строительстве // Экология и строительство. 2015. № 3. С. 14-21.

АНИЗОТРОПИЯ ЖЁСТКОСТИ АРМАТУРЫ КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА С ЯЧЕЙКАМИ ШТЕЙНЕРА

А.И. Драцкая[1], *А.А. Скворцова*[2]

[1]*Муниципальное бюджетное общеобразовательное учреждение «Гимназия № 5» городского округа Королёв (мкр. Юбилейный) Московской области*

[2]*ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)»*

Объект исследования – новый композиционный материал. Материал изучается на основе мыльных плёнок. Они самые лёгкие и прочные, поэтому такая форма рёбер мыльных плёнок должна быть у арматуры перед заливкой наполнителем. Показано решение задачи самого лёгкого армирования не только квадрата, как у Штейнера, но и куба – это 13 отрезков. Арматурные ячейки Штейнера по-разному изгибаются в разных направлениях. Доказана анизотропия жёсткости, получены численные результаты. По этим данным изготовлено несколько образцов композиционного материала. Предложена технология эпоксидного литья в парафиновые формы. Появилась задача изучить не только плоские, но и объёмные ячейки композиционного материала. Исследуется соединение четырёх вершин квадрата самой короткой линией. Это математическая задача Штейнера. Предложен новый способ решения этой задачи с помощью мыльных плёнок. Если посмотреть на мыльные плёнки на кубическом каркасе, то сразу видно решение этой задачи из пяти отрезков. Это квадратная ячейка Штейнера. Потом был изучен вопрос о соединении восьми вершин куба самой короткой линией. Сначала была гипотеза, что такая линия содержит 12 отрезков, потому что это показывали мыльные плёнки на кубическом каркасе. Физическая модель не смогла показать правильное математическое решение. До него пришлось догадаться с помощью мыльных плёнок и уже известной квадратной ячейки Штейнера. Получилась линия из 13 отрезков, а не из 12, как показывали мыльные плёнки. Полученное решение названо кубической ячейкой Штейнера. Интересны физические свойства ячеек Штейнера [1,2]. Квадратная ячейка Штейнера – это 5 отрезков, которые соединяют 4 вершины квадрата самой короткой линией, она показана на рис.1. Полученные короткие линии не полностью симметричны. Это значит, что ячейка Штейнера анизотропна по прочности и жёсткости. В

разных направлениях она по-разному будет изгибаться. Цель работы – создание нового легкого и прочного композиционного материала. Ячейка Штейнера – это силовая арматура, которую надо залить эпоксидной смолой. Арматура будет самой лёгкой, потому что ячейка Штейнера самая короткая. Это математическая основа нового лёгкого композиционного материала. Новая задача – как соединить множество ячеек Штейнера между собой в новом материале. Для кубической ячейки существует три способа взаимного соединения. В этой работе я изучаю только квадратную ячейку. Две квадратные ячейки можно соединить двумя способами, прочность и жёсткость материала будет различной. Было изготовлено несколько образцов новых композиционных с квадратными ячейками Штейнера. У новых материалов различная гибкость. Можно заранее предсказать гибкость новых композиционных материалов. На рис. 1 показана одна арматурная ячейка Штейнера и её гибкости в разных направлениях. На этом рисунке ячейка закрепляется жёстко на одной стороне квадрата, а сила прикладывается на другой стороне. В положении плашмя анизотропия гибкости слабая 7,8-9,7 мм/Н. Настолько мм прогнётся одна ячейка от силы 1 Н в положении плашмя. Гибкость различается меньше чем в 1,5 раза. Зато в положении рёбрами вверх анизотропия гибкости очень большая 0,6-4,0 мм/Н. В этом направлении гибкость различается в 7 раз.

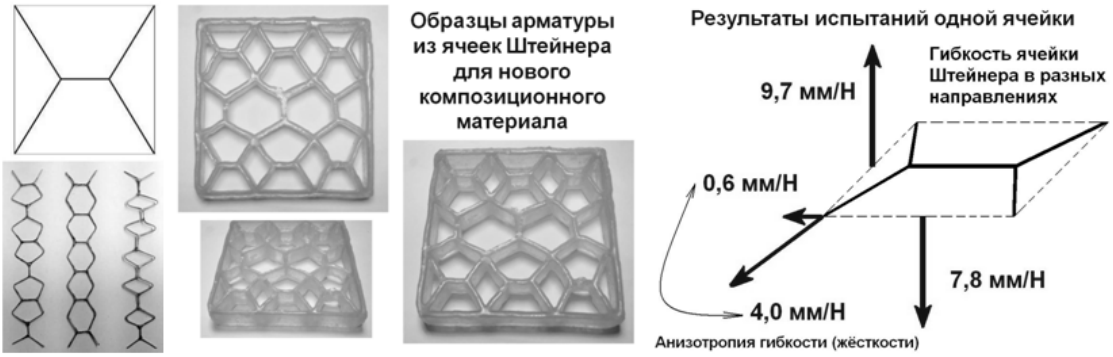


Рис. 1. Соединение анизотропных квадратных ячеек Штейнера в арматуру

На рис. 1 показана одна квадратная ячейка Штейнера и цепочки таких ячеек. Изучены три арматуры композиционного материала. В первой арматуре все перемычки лежат на одной линии, во второй расположены поперечно, в третьей чередуются. Есть много других вариантов. Задача – изучить жёсткость и гибкость всех соединений и одной ячейки Штейнера в разных направлениях. Для решения этой задачи цепочки нагружались, а потом измерялся их прогиб. На рис. 2 показаны графики прогиба каждой из трёх конструкций арматуры в двух направлениях: плашмя и рёбрами вверх. Цель работы заключается в практическом применении анизотропии гибкости и жёсткости. После доказательства анизотропии гибкости и жёсткости ячеек Штейнера был изучен прогиб цепочек арматуры в двух направлениях: плашмя – большой прогиб, рёбрами вверх – малый прогиб. На рис. 2 в правой части графики расположены парами. На каждом графике показаны свойства гибкости одной и той же цепочки арматуры в двух направлениях. Анизотропия гибкости очень большая, на первом графике гибкость различается в 12 раз. Первый график самый важный, потому что показывает, как надо располагать жёсткую цепочку, чтобы прогиб был самый маленький. Рёбрами вверх.

После компьютерных вычислений результаты были перенесены на одну арматурную ячейку Штейнера и показано, как она изгибается в различных направлениях. Всего у ячейки Штейнера 4 гибкости, потому что её можно изгибать в четырёх направлениях. Два направления плашмя не очень важные, но могут понадобиться потом. Другие два направления рёбрами вверх очень важные, анизотропию гибкости и жёсткости можно применять уже сейчас на практике.

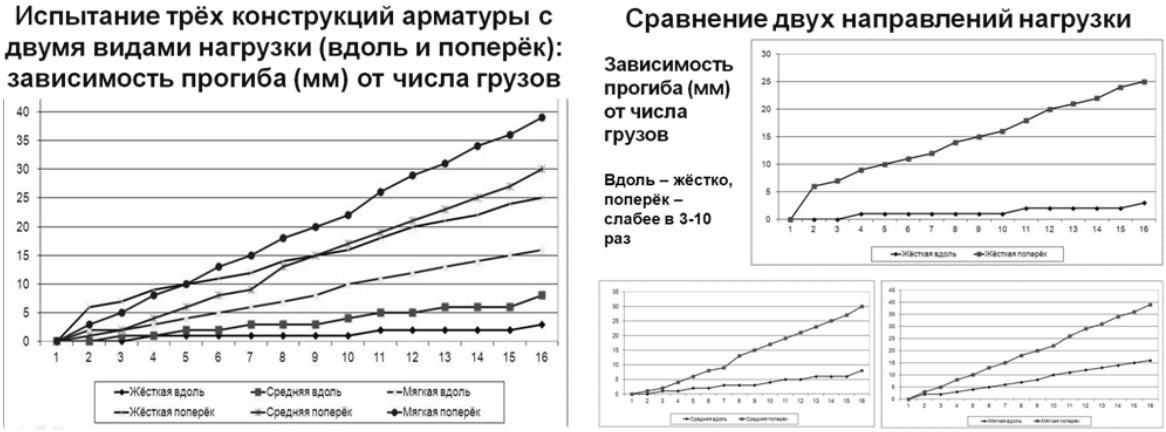


Рис. 2. Гибкость при повороте цепочек на 90 градусов

Полученные результаты применены для создания новых композиционных материалов, разработана технология эпоксидного литья в парафиновую форму. На рис. 1 показан образец эпоксидной арматуры композиционного материала с квадратными ячейками Штейнера. В нём есть ориентация ячеек перемычками вдоль и перемычками поперёк. Это демонстрационный образец. Внешняя квадратная рамка сделана для удобства, чтобы не поломать перемычки.

Выводы подтвердили гипотезу об анизотропии жёсткости и прочности ячейки Штейнера.

1. У каждой квадратной ячейки Штейнера есть три главные гибкости, или наоборот, жёсткости. Под жёсткостью понимается традиционный коэффициент упругости, а под гибкостью – обратная величина.

2. Если сила приложена поперёк ячейки, то гибкость конструкции почти не зависит от способа соединения ячеек Штейнера и равна 8-9 мм/Н. То есть на столько мм прогибается одна ячейка от силы 1 Н.

3. Если сила приложена вдоль ячейки, то гибкость сильно зависит от способа соединения ячеек. Это означает, что гибкость одной ячейки различна в разных направлениях, то есть анизотропна.

4. Самая большая гибкость 4 мм/Н одной ячейки Штейнера будет при горизонтальном расположении перемычки, а самая маленькая гибкость 0,6 мм/Н будет при вертикальном расположении перемычки. Гибкость ячейки Штейнера в двух направлениях различается почти в семь раз.

5. Анизотропию жёсткости ячейки Штейнера можно применить практически. Я доказала это изготовлением нескольких образцов не только арматуры, но и нового композиционного материала. Арматура – это капроновые нити, наполнитель – это эпоксидная смола.

6. Предложена парафиновая технология отливки нового композиционного материала из эпоксидной смолы. Парафиновая форма для литья изготавливается без затруднений.

7. Появилась гипотеза об анизотропии тепловых свойств ячейки Штейнера, которую я хочу применить при создании новых кирпичей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Драцкая А.И. Геометрические формы новых композиционных материалов на основе мыльных плёнок / V Международный конкурс научно-исследовательских и творческих работ учащихся «Старт в науке V», февраль-май 2018 г. – М.: Российская Академия естествознания (РАЕ), 2018. – Электронный ресурс: http://files.school-science.ru/pdf/5/35386.pdf.

2. Драцкая А.И. Прямой метод решения задачи Штейнера о соединении восьми вершин куба самой короткой линией/ VI Международный конкурс научно-исследовательских и творческих работ учащихся «Старт в науке VI», октябрь-декабрь 2018 г. – М.: Российская Академия естествознания (РАЕ), 2018. – Старт в науке. Научный журнал для школьников ISSN 2542-0186. – 2019. – № 1 (часть 3). – С. 381-388. - Электронный ресурс: http://files.school-science.ru/pdf/6/5c08dce6bb499.pdf.

СТРУЙНАЯ ЭЛЕКТРОЛИТНО-ПЛАЗМЕННАЯ ОБРАБОТКА СПЛАЙНОВЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

*В.С. Петрович, **Д.А. Левин**, М.В. Новоселов*
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

В современном машиностроении полировка криволинейных поверхностей полированием представляет определенную трудность. Еще большую трудность представляет обработка внутренних поверхностей, при соотношении глубины отверстия L к его диаметру D равному $D \leq 3L$. Это существенно затрудняет обработку изделий, так как связано с малым размером инструмента, криволинейной поверхностью, а для электрофизических и электрохимических методов с малой напряженностью электромагнитного поля в полости отверстия [1]. Среди современных развивающихся технологий, относящихся к электрофизическим и электрохимическим методам отдельную нишу занимают электролитно – плазменные технологии в электролитической ванне [2, 3], так и за счет обработки электролитической струей [4]. Данные технологии позволяют удалять коррозию, а также полировать поверхность, а в отдельных случаях проводить размерную обработку [5-7]. Среди данных методов, метод обработки электролитической струёй характеризуется более высокой точностью обработки, низким уровнем температур и локальной зоной обработкой [8, 9]. Однако недостаточно исследований, посвященных обработки сплайновых поверхностей, в частности внутренних. Поэтому целью работы является изучение технологической возможности обработки внутренней цилиндрической поверхности струей сформированной электролитной плазмой. Задачами работы являются установление зависимости угла наклона от величины силы тока электролитно – плазменного разряда, зависимости силы тока от температуры электролита, зависимости угла наклона трубки токоподвода от скорости потока электролита.

В качестве оборудования использовалась установка, предложенная в работе [10], состоящая из емкости для электролита, клапана регулирующего подачу электролита обрабатываемого контура из нержавеющей стали 08Х18Н9Т, медной трубки токоподвода, из которой идет подача электролита, емкости, в которую стекает электролит, вольтметра, амперметра (рис. 1). Для электролита был выбран раствор аммония сернокислого ($(NH_4)_2SO_4$) – 10 г и аммония лимоннокислого ($(NH_4)_3C_6H_5O_7$) –8 г в водопроводной воде. Электролит подается

струёй по трубке диаметром 3 мм со скоростью потока 3-8,13 л/ч. Подается напряжение на контур из нержавеющей стали равное 180-240В.

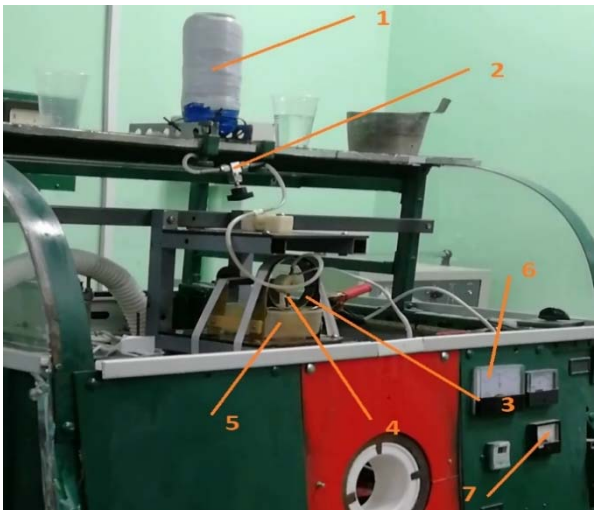


Рис. 1. Устройство установки: 1. – емкость для электролита; 2. – клапан, регулирующий подачу электролита; 3. – обрабатываемый контур из нержавеющей стали; 4. – трубка, из подачи электролита; 5. – емкость, в которую стекает электролит; 6. – вольтметр; 7. – амперметр

С помощью данной технологии можно обрабатывать или удалять дефекты и избавляться от последствий влияния окружающей среды. Например, обрабатывать трубы изнутри, не прибегая к ее извлечению из рабочей среды ее применения. В данный момент такое невозможно, поэтому ремонт труб является долгим и дорогостоящим процессом. Также, данный метод позволяет обрабатывать внутренние поверхности шестерней. Этот метод намного экономичнее и качественнее существующих на сегодня. Струйная электроплазменная обработка сплайновых поверхностей – это технология будущего, с помощью которой можно обрабатывать труднодоступные поверхности, а также поверхности, которые невозможно обработать механическим способом.

Применение электролитно-плазменного полирования высоколегированных сталей позволит снизить долю механической обработки поскольку не оставляет острых кромок, а скругляет и притупляет имеющиеся кромки, позволяя отказаться от слесарных операций [11, 12]. Метод струйной обработки является более экологически чистым и имеет более высокую точность обработки обрабатываемых поверхностей (по сравнению с методом погружения в ванну) за счет возможности программирования перемещения области электролитной плазмы по поверхности изделия. К недостаткам технологии можно отнести среднюю производительность, которую можно увеличивать за счет скорости перемещения токоподвода или создания группы токоподводов.

При подаче напряжение на контур от 180-240В возникает сила тока, максимально равная 4 А. При таких условиях, не вооруженным глазом фиксируется изменения на происходящие на поверхности материала (появление матовости). Нами было исследованы следующие зависимости, угла наклона от величины силы тока электролитно – плазменного разряда, силы тока от температуры электролита, угла наклона трубки токоподвода от скорости потока электролита. Результаты исследований представлены в виде зависимостей (рис. 2).

Рис. 2. Зависимость силы тока от угла наклона

Опыты показали, что при приближении угла наклонна полого токоподвода к верхней точке 180°, сила тока значительно возрастает. Видимый эффект обработки (изменение цвета обрабатываемой поверхности) достигался, при отношении I >1.5А. По результатам опытов был замечен эффект нагрева электролита. Также в ходе проведения исследований, геометрическая форма потока струи электролита изменялась от прямой до конусообразной.

Выводы:

1. Получены зависимости угла наклона от величины силы тока электролитно-плазменного разряда, силы тока от температуры электролита, угла наклона трубки токоподвода от скорости потока электролита.
2. Зафиксировано что изменение угла наклона трубки токоподвода, позволяет обрабатывать поверхность при различных условиях.
3. Результаты исследований возможно использовать для разработки технологии.

обработки внутренней поверхности труб, наружных сплайновых поверхностей турбинных лопаток кардиохирургических стентов, блисков, моноколес.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гайсин Ф.М., Сон Э.Е. Электрические разряды в парогазовой среде с нетрадиционными электродами// Энциклопедия низкотемпературной плазмы / Под ред. Фортова В.Е. М.: Наука, 2000. – С. 241.

2. Новиков В.И., Попов А.И., Тюхтяев М.И., Зейдан М.Н. Возможности электролитно-плазменного полирования при обработке деталей с различным начальным уровнем шероховатости поверхности//Технология металлов. 2019. № 5. С. 24-29.

3. Danilov I., Hackert-Oschätzchen M., Zinecker M., Meichsner G., Edelmann J. and Schubert A. Process Understanding of Plasma Electrolytic Polishing through Multiphysics Simulation and Inline Metrology // Micromachines. 2019. 10(3). P. 214.

4. Галимзянов И.И., Гайсин Ал.Ф., Фахрутдинова И.Т., Шакирова Э.Ф., Ахатов М.Ф., Каюмов Р.Р. // Некоторые особенности развития электрического разряда между струйным анодом и жидким катодом ТВТ. 2018. Т.56. № 2. С. 306.

5. Попов А.И., Радкевич М.М., Новоселов М.В. Особенности электролитно-плазменного полирования стентов // Технология металлов. 2019. № 5. С. 18.

6. М.В. Новоселов, Н.Г. Шиллинг, А.А. Рудавин, М.М. Радкевич, А.И. Попов. Оценка возможности полирования Нержавеющих сталей струйной электролитно-плазменной обработкой. Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Машиностроение, материаловедение. 2018. Т. 20. № 1. С. 94-102.

7. Попов А.И., Радкевич М.М., Медко В.С., Новоселов М.В. Устройство для электролитно-плазменной обработки металлических изделий // Патент на изобретение RUS 2681239 13.06.2018.

8. Popov A.I., Novikov V.I., Radkevich M.M. Characteristics of the Development of Electric Discharge between the Jet Electrolyte Cathode and the Metal Anode at Atmospheric Pressure // High temperature. 2019. Vol. 57. No. 4. P. 483-495.

9. Попов А.И., Тюхтяев М.И., Радкевич М.М., Новиков В.И. Анализ тепловых явлений при струйной фокусированной электролитно-плазменной обработке // Научно-технические ведомости СПбГПУ. 2016. № 4 (254). С. 141.

10. Попов А.И., Радкевич М.М., Кудрявцев В.Н., Захаров С.В., Кузьмичев И.С. Установка для электролитно-плазменной обработки турбинных лопаток. Патент на изобретение РФ № 2623555. Кл. МПК: C25F7/00. 27.06.2017.

11. *Electrolytic Plasma Polishing of Pipe Inner Surfaces*/ Matthias Cornelsen, Carolin Deutsch and Hermann Seitz/ University of Rostock/METALS/MDPI.

12. *Influence of the Velocity and the Number of Polishing Passages on the Roughness of Electrolytic Plasma Polished Pipe Inner Surfaces* / Matthias Cornelsen, Carolin Deutsch and Hermann Seitz / University of Rostock/METALS/MDPI.

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ МАГНИТНО-ИМПУЛЬСНОЙ ОБРАБОТКИ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ УДАРНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ТОНКОСТЕННЫЕ МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ ИЗДЕЛИЯ

А.С. Мельников

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)

Современные требования к показателям скорости и энергоэффективности производственного процесса порождают ряд специфических задач, решить которые за счёт применяемых повсеместно технических решений не представляется возможным. Одной из таких задач является осуществление ударного механического

воздействия на поверхность, выполненную из тонкостенного металла – корпуса электрофильтров и циклонов, стенки бункеров для сыпучих материалов, кузовные детали транспортных средств и многое другое. Одной из перспективных технологий решения подобных задач является метод магнитно-импульсной обработки металлов (МИОМ), преимуществами которого являются:

- импульсное приложение усилия за промежуток времени порядка 10^{-3} – 10^{-6} с;
- осуществление воздействия без физического контакта с обрабатываемой поверхностью;
- малые габариты установки;
- низкое энергопотребление.

В основе идеи данного метода лежит взаимодействие тока в рабочем инструменте – индукторе и вихревых токов в обрабатываемой детали. Для достижения усилия, достаточного для получения необходимой амплитуды колебания или деформации металла, через индуктор-инструмент пропускается импульс тока большой амплитуды за счёт разряда емкостного накопителя. Принципиальная схема магнитно-импульсной установки (МИУ) приведена на рис. 1, где ЗУ – зарядное устройство, ЕН – емкостной накопитель, КУ – коммутирующее устройство, ИС – индукторная система, СУ – система управления.

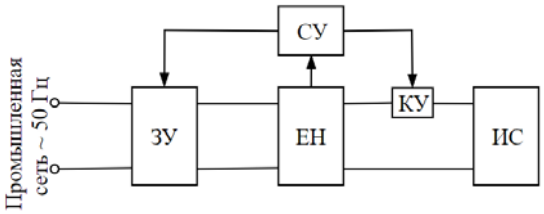


Рис. 1. Принципиальная схема магнитно-импульсной установки

Варьируя параметры элементов установки, можно адаптировать её для решения широкого спектра задач. Например, как было показано в статье [1], изменение собственной частоты f_0 контура, состоящего из ЕН и ИС, приводит к изменению направления действующей на металл силы. На основе данного принципа автором был разработан проект МИУ, предназначенной для рихтовки кузовных элементов транспортных средств. Исходные данные для проектирования представлены на рис. 2, где t – толщина листового металла, h – глубина вмятины, b – радиус окружности вмятины, R – радиус кривизны поверхности вмятины.

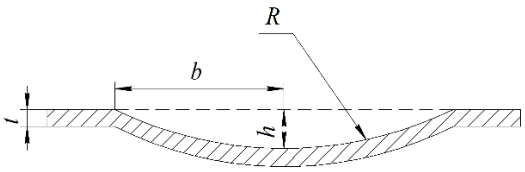


Рис. 2. Геометрические параметры рассматриваемой системы

Согласно утверждениям, представленным в [1], для осуществления притяжения магнитно-импульсным методом, глубина проникновения электромагнитной волны в тонкостенный металл должна быть больше или равна его толщине, то есть должно соблюдаться условие:

$$\Delta = 503\sqrt{\frac{\rho}{\mu f_0}} \geq t\,,$$

где ρ – удельное электрическое сопротивление металла, Ом/м; μ – относительная магнитная проницаемость металла.

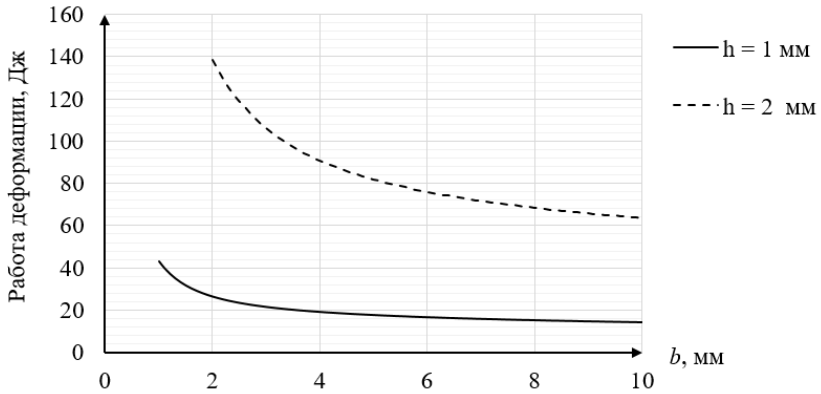


Рис. 3. Зависимость работы деформации от радиуса вмятины при разной глубине

Сталь, используемая в автомобилестроении, имеет толщину проката 0,5 – 1,0 мм, исходя из чего собственная частота разрядного контура была выбрана равной 2 кГц. При длительности импульса,

соответствующей данной частоте, металл проявляет свойства сверхпластичности. Для вычисления энергии деформации была использована методика, описанная в [2] и адаптированная для геометрической системы, изображенной на рисю 2. Результаты расчёта представлены графически на рис. 3.

Конструктивное исполнение индуктора-инструмента предполагает его размещение в корпусе рукояти (рис. 4). Коэффициент преобразования магнитной энергии в работу деформации данного индуктора, оцененный методом, описанным в [3], составил 27,6%.

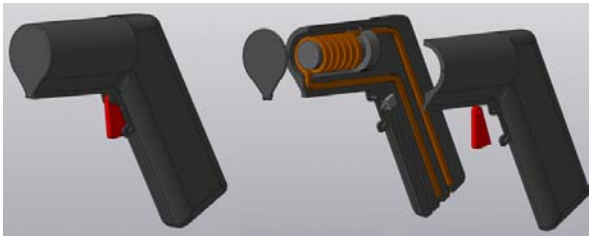


Рис. 4. Индуктор-инструмент с корпусом

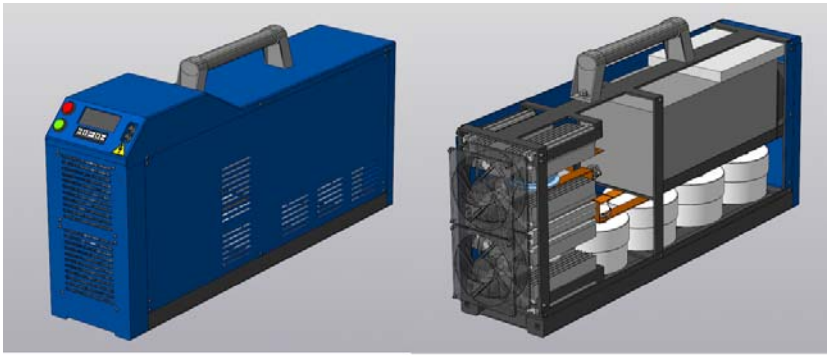


Рис. 5. 3D модель МИУ для рихтовки кузовных элементов транспортных средств

Опираясь на условие эффективности преобразования энергии, а также соблюдения нужной резонансной частоты контура, в качестве накопителя выбраны компактные плёночные конденсаторы ёмкостью 280 мкФ с рабочим напряжением 1,1 кВ. Для заряда накопителя выбран программируемый источник питания TDK-Lambda 202А мощностью 2 кВт. В качестве коммутирующего устройства предполагается использовать тиристор. Общий вид возможной компоновки разрабатываемой установки показан на рис. 5. Габаритные размеры данного устройства составляют 720x164x353,5 мм, а расчётный вес – 20 кг.

Данный пример демонстрирует то, как применение современной элементной базы позволяет использовать технологию МИОМ для создания компактных устройств и установок с малым энергопотреблением и контролируемой энергией импульса, которые позволят решать задачи, недоступные для других методов обработки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Батыгин Ю.В., Гнатов А.В., Трунова И.С. Магнитно-импульсные технологии для восстановления корпусных элементов транспортных средств. Часть 2. Оборудование для практической реализации внешней бесконтактной магнитно-импульсной рихтовки. Науковий вісник Херсонської державної морської ака-демії. № 2 (9), 2013.

2. Глущенков, В.А. Специальные виды штамповки. Часть 2. Динамические методы деформирования [Текст]: учебное пособие / В.А.Глущенков. – Самара.: СГАУ, 2008. - 106 с.

3. Справочник по магнитно-импульсной обработке металлов. Белый И.В., Фертик С.М., Хименко Л.Т. Харьков, издательское объединение «Вища школа», 1977. – 168 с.

ТЕРМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА БИОСОВМЕСТИМЫХ ПИГМЕНТОВ НА ОСНОВЕ НАНОЧАСТИЦ ГИДРОКСИАПАТИТА РАЗЛИЧНОЙ МОРФОЛОГИИ

А.В. Садецкая, *Е.А. Сюккалова, А.С. Вепрева, М.Г. Осмоловский, Н.П. Бобрышева, М.А. Вознесенский, О.М. Осмоловская*
Санкт-Петербургский государственный университет

В наши дни биосовместимые пигменты активно внедряются в косметическую промышленность для замены токсичных материалов: органических красителей и неорганических соединений. Кроме того, все более

популярной становится многофункциональная косметика с эффектом ухода за кожей. Соответственно, необходимо, чтобы используемые материалы, воздействуя на кожу, оказывали, например, омолаживающее и увлажняющее действие. Поэтому многообещающей является разработка пигментов на основе материалов, обладающих заданными функциональными свойствами, которые можно успешно внедрить в косметическую индустрию. Однако используемые пигменты должны быть еще и термически стабильными, так как технология косметического производства включает высокотемпературную обработку материалов. В настоящее время одним из наиболее широко применяемых в косметической промышленности материалов является гидроксиапатит (HAp) - основной компонент костной ткани и стимулятор естественной выработки коллагена, в связи с чем он перспективен для использования в качестве основы для биосовместимых пигментов.

Регулирование функциональных свойств керамических материалов можно проводить путем допирования 3d-элементами, которые могут также выступать в качестве окрашивающих компонентов. Не менее важными являются морфология получаемых наночастиц, их фазовый состав, отсутствие нежелательных примесей, а также термическая стабильность при высоких температурах.

В данной работе в качестве допантов использовались Cu^{II}, Co^{II} и Ni^{II}, которые образуют окрашенные соединения, соответствующие цветовой модели RGB (синие, красные и зеленые). Следует ожидать, что меньший радиус атомов выбранных допантов будет способствовать встраиванию их в кристаллическую структуру и, соответственно, приводить к изменению цвета изначально белых продуктов. Более того, известно, что положение атома допанта в кристаллической ячейке оказывает влияние на функциональные свойства допированных оксидов, следовательно, важно изучить не только то, какое положение занимает допант в структуре, но и возможность регулирования этого положения. Поэтому для изучения этого вопроса допирование проводилось с использованием гидроксид ионов с различными противоионами, которые могут или не могут образовывать комплексы с ионами допантов.

Образцы получали гидротермальным методом при температуре 180°C из тетракристаллогидрата нитрата кальция, фосфорной кислоты (в мольном соотношении Ca/P = 1.68), двух источников гидроксид-ионов: гидроксида аммония и гидроксида натрия. В качестве допирующих агентов были взяты соли нитрата кобальта(II), хлоридов меди(II) и никеля(II) в концентрации 11 мол%. Морфология и состав поверхности полученных порошков были изучены методами рентгенофазового анализа (РФА), просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ), ИК-спектроскопии. Удельная поверхность образцов была определена методом БЭТ. Также были получены данные термогравиметрического анализа (ТГА) и дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК) в температурном интервале от 20 до 1200 °C на воздухе.

Для определения положения допанта в кристаллической структуре гидроксиапатита были использованы квантово-химические расчеты, основанные на методе DFT (Density Functional Theory). За основу была взята кристаллическая ячейка гидроксиапатита, имеющая гексагональную сингонию (пространственная группа P63/m) с двумя неэквивалентными позициями: 4 атома элементарной ячейки относятся к Ca(1) и 6 - к Ca(2). Для используемой нами концентрации наиболее вероятным будет замещение одного атома кальция на атом допанта в кристаллической ячейке. В связи с этим полная энергия ячейки была рассчитана для двух возможных конфигураций системы, с учетом того, что замещение остальных положений кальция для каждой из этих двух конфигураций будут эквивалентны. В дальнейшем это предположение было подкреплено расчетами. Определение наиболее выгодного положения замещения проводилось по минимуму энергии кристаллической ячейки в программной пакете Abinit с использованием метода PAW и функционала LDA. На основании полученных результатов были также рассчитаны, построены и проанализированы плотности состояния (DOS) в полученных нами системах.

В результате допирования гидроксиапатита были получены порошки разных цветов, характерных для гидроксидов соответствующих ионов допантов или их комплексов.

Результаты РФА и ИК-спектроскопии подтверждили, что для образцов, полученных с использованием NH_4OH, основной фазой является гидроксиапатит, а использование NaOH приводит к образованию фазы трикальций фосфата (TCP). Для некоторых образцов были обнаружены следы примесей соединений, включающих в себя атомы допантов. Изменение параметров кристаллической решетки относительно чистого гидроксиапатита, а также изменения параметров для TCP в зависимости от природы допанта указывали на успешно проведенное допирование.

Моделирование с использованием метода DFT было проведено для образцов, характеризующихся фазой гидроксиапатита, для каждого из двух неэквивалентных положений атомов кальция. Согласно полученным данным, допант может замещать атом кальция в обоих положениях, однако, наиболее предпочтительным оказалось замещение во втором положении. На основании расчетов по методу DFT были построены зависимости плотности состояний от энергии электронных уровней, на которых четко видно смещение положения запрещенной зоны относительно данного параметра чистого гидроксиапатита, и появление дополнительных энергетических уровней.

Согласно данным ПЭМ и БЭТ, частицы большинства образцов имели стержнеобразную форму различной длины и ширины.

На кривых ТГА ожидаемо было отмечено уменьшение массы для всех порошков. Кроме того, для образцов, характеризующихся фазой гидроксиапатита, наблюдался фазовый переход в TCP, что можно фиксировать по положению эндотермического пика при достижении интервала температур от 800 до 1100°C в зависимости от природы используемого допанта. Образец, допированный Cu^{II} и полученный с использованием

NaOH, оказался неустойчив к высоким температурам и полностью разложился. Зависимость температуры от энергии в ряду Co^{II} - Ni^{II} - Cu^{II} продемонстрировала, что наиболее устойчивая конфигурация (с минимальной энергией) разрушается только при более высоких температурах.

Образование ТСР из НАр после термообработке при температуре 1200°С было подтверждено результатами РФА. Было продемонстрировано изменение параметров кристаллической решетки для всех образцов, в том числе порошков, претерпевших фазовый переход НАр-ТСР, на более характерные для ТСР размеры ячейки, а также появление новых фаз.

Таким образом, в результате данной работы были получены допированные наночастицы гидроксиапатита и трикальций фосфата разных цветов в зависимости от природы используемого допанта и-показана возможность регулирования механизма роста частиц путем изменения состава исходной реакционной среды. С помощью метода DFT были установлены наиболее выгодное положение замещения атома кальция на атом допанта и общая энергия кристаллической ячейки. По данным ТГ и ДСК был зафиксирован фазовый переход НАр-ТСР, а также установлены пределы термической устойчивости и зависимость фазового перехода от рассчитанной полной энергии системы в конкретной конфигурации.

Исследования были проведены на базе Ресурсных центров Научного парка СПбГУ: Рентгенодифракционные методы исследования, Методы анализа состава вещества, Инновационные технологии композитных наноматериалов и Термогравиметрические и калориметрические методы исследования.

КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ПРОИЗВОДСТВА ЗАГОТОВОК ДЕТАЛЕЙ ИЗ КОНСТРУКЦИОННОЙ РЕССОРНО-ПРУЖИННОЙ СТАЛИ

А.А. Стрельникова

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

Важной частью современного машиностроения является обеспечение качества продукции, так, например, при производстве из конструкционной рессорно-пружинной стали деталей небольших сечений, такие как плоские и круглые пружины, рессоры, пружинные кольца и другие детали пружинного типа, от которых требуются высокие упругие свойства и износостойкость. Для производства таких деталей широко используются горячекатаные заготовки из стали марки 60Г.

Рис. 1. Горячекатаные заготовки из стали 60Г

Производство стальных заготовок осуществляется в виде горячекатаного проката с сечением в форме круга диаметром 90 мм, рис. 1.

Для обеспечения соответствия продукции требованиям нормативно-технической документации на промышленных предприятиях осуществляется входной контроль материалов, закупаемых на производстве, и пооперационный технологический контроль изготовляемой продукции, а также предъявление готовой продукции военному представителю или заказчику.

Применение на этапе входного контроля материала заготовок, оптической микроскопии, ультразвукового, рентгеноструктурного и микрорентгеноспектрального анализа, позволяют своевременно обнаруживать дефекты технологического и металлургического характера.

В данной работе при производстве заготовок из стали 60Г на поверхности круглого горячекатаного проката диаметром 90 мм были обнаружены дефекты в виде разрывов, рис. 2.

Целью данной работы явилось установление характера дефектов на поверхностности горячедеформированных круглых заготовок рессорно-пружинной стали и причин их возникновения.

Для достижения поставленной цели были сформулированы следующие задачи: проверка химического состава заготовки на соответствие ГОСТ14959-79; исследование структуры материала; установление причин образования дефекта.

В качестве материала для исследования являлись образцы из горячекатаных круглых заготовок из стали 60Г с обнаруженными дефектами на поверхности (в виде трещин). Исследуемый материал из стали 60Г относится к классу конструкционных сталей, применяемых для производства деталей пружинного типа. При производстве круглого проката диаметром 90 мм, литая заготовка из стали марки 60Г была подвергнута горячей деформации на прокатном стане 350. Исследование проводилось в два этапа: визуальный осмотр, микроструктурный анализ.

Химический состав исследуемого сплава 60Г и механические свойства, согласно ГОСТ14959-79, представлены в табл. 1 и 2.

Таблица 1. Химический состав исследуемой стали 60Г

Марка материала	Массовая доля, %								
	C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Cu	Fe
60Г ГОСТ14959-79	0,57-0,65	0,17-0,37	0,7- 1,0	до 0,25	до 0,035	до 0,035	до 0,25	до 0,2	Основа

Таблица 2. Механические свойства исследуемой стали 60Г при Т=20ºС

Сортамент	Размер мм	$\sigma_в$ МПа	$\sigma_{0,2}$ МПа	δ %	Ψ %	Термообработка
Пруток, ГОСТ14959-79	Ø 90	980	785	8	30	Закалка 830ºС, масло, Отпуск 470ºС, воздух

При входном контроле круглого проката, на его поверхности были обнаружены дефекты.

Микроструктурный анализ проводили на микроскопе «Neophot 21» на поперечных микрошлифах, изготовленных по дефектной зоне круглых заготовок и протравленных в 4% спиртовом растворе азотной кислоты.

Визуальный осмотр поверхности горячекатаных заготовок круглого проката выявил поверхностные дефекты в виде нерегулярно расположенных разрывов (трещин), расположенных в продольном направлении и растущих в глубь материала. Согласно, атласу дефектов стали, описанный дефект является растрескиванием (рваниной) [1]. Фотография поверхности и структуры круглого горячекатаного проката диаметром 90 мм с дефектом в виде трещин представлена на рис. 2.

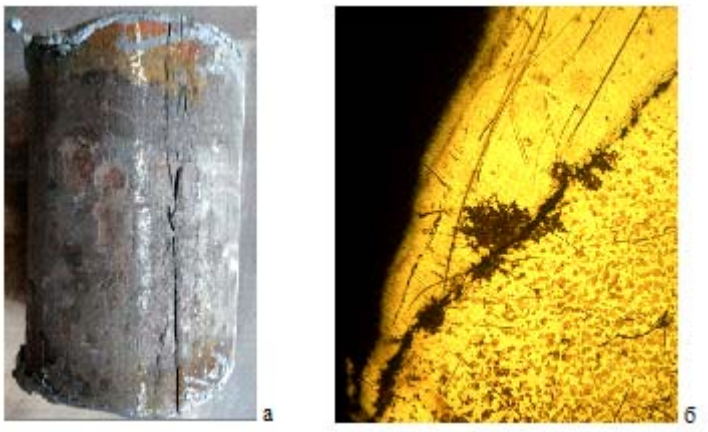


Рис. 2. Поверхность (а) и структура (б) круглого горячекатаного проката диаметром 90 мм с дефектом в виде разрыва

Как показал микрорентгеноспектральный анализ, химический состав исследуемой стали 60Г соответствовал ГОСТ14959-79.

Для более тщательного изучения глубины залегания и распространения дефектов внутри материала проводили микроструктурный анализ на поперечных микрошлифах, изготовленных по дефектной зоне заготовки, при увеличении 50х, 100х.

Микроструктура исследуемого материала представляет собой перлит и феррит. На микрошлифе в зоне дефекта наблюдаются разветвлённые разрывы металла. Глубина дефекта ~ до 3 мм. Также в зоне дефекта обнаружены обезуглероживание и оксиды.

Заключение.

Проведён анализ причин возникновения брака заготовки круглого проката. Дефекты, выявленные на поверхности образца, являются рваниной.

Согласно атласу дефектов стали, рванина (растрескивание) — это нерегулярно расположенные надрывы различной глубины, сконцентрированные преимущественно у ребер, однако встречаются также по всей поверхности. Характер поверхности разрушения был кристаллическим, волокнистым и шиферным [1].

Причинами возникновения растрескивания поверхности могли быть:

- неоднородный химический состав по сечению заготовки - разное содержание углерода, кислорода, марганца, серы, фосфора, хрома [1];

- наличие концентраторов напряжения в результате резкого изменения формы изделия, то есть, перепады по толщине стенки [1];

- дефектная поверхность слитков из-за неправильной технологии разливки и наличия грубых включений вблизи поверхности [1].

- возникновение в металле заготовки структурных напряжений первого и второго рода. Напряжения возникают из-за разности объемов, образующихся в процессе горячей прокатки и последующего перепада температур между поверхностными и внутренними слоями при охлаждении, чем и обусловлено возникновение разности напряжений, разрывающих металл.

ЛИТЕРАТУРА

1. Атлас дефектов стали. Пер. с нем. – М.: «Металлургия», 1979. – 181 с.

АКУСТИЧЕСКАЯ АНИЗОТРОПИЯ ПРИ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОМ УСТАЛОСТНОМ НАГРУЖЕНИИ МОНОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ СПЛАВОВ

***Д.А. Третьяков**, А.Р. Галяутдинова*
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

Лопатки современных газотурбинных двигателей работают в условиях предельных высокотемпературных и силовых нагрузок. Максимальные температурные показатели одного цикла нагружения в современном авиадвигателе могут превышать 900-1000°С. При этом лопатки должны осуществлять работу по сопротивлению ползучести и термомеханической усталости на данном режиме в течение длительного времени. Для повышения эксплуатационных характеристик, в том числе жаропрочности, турбинные лопатки изготавливают методом направленной кристаллизации от затравок или методом Бриджмена [1]. В качестве материала обычно используются жаропрочные сплавы на никелевой основе, называемые также суперсплавами благодаря своей способности к длительному сопротивлению высокотемпературному термомеханическому воздействию.

Лопатки, изготовленные данным методом, близки по своим свойствам к монокристаллическим, а потому обладают сильной анизотропией механических свойств в заданном кристаллографическом направлении. Выбор направления, вдоль которого будут выращиваться лопатки, зависит от конкретной задачи. Например, возможны случаи, когда выбор направления [111] позволяет достичь большей прочности до достижения предела текучести, в то время как большим запасом по напряжениям до предела временного сопротивления обладают лопатки, выращенные вдоль направления [011], и так далее [2].

Модернизация существующих и разработка новейших отечественных двигателей тесно связана с проблемой дальнейшего увеличения их мощности путем повышения давления и температуры газа на входе в турбину и увеличения окружных скоростей. Для этого необходимо эффективное прогнозирование ресурса лопаток газотурбинных двигателей, что невозможно без совершенствования методов неразрушающего контроля, которые были бы эффективны в диагностике монокристаллических сплавов на никелевой основе.

Сильная анизотропия свойств затрудняет диагностику монокристаллических сплавов. Кроме того, зачастую ограничены возможности самих методов неразрушающего контроля. Используемые в диагностике монокристаллических лопаток капиллярные и рентгеновские методы обладают низкой проникающей способностью и не могут дать информацию о наличии дефектов и неоднородностей структуры во всем объеме материала. Разрушающие микроскопические исследования микроструктуры срезов лопаток не могут быть проведены на большом числе образцов, что повышает вероятность пропуска бракованных лопаток и может стать причиной снижения срока службы двигателя и его преждевременному выходу из строя.

Неразрушающий ультразвуковой контроль используются для дефектоскопии и диагностики состояния конструкционных материалов уже более 90 лет. Наибольшее распространение получили эхо-импульсные методы контроля. К их числу относится категория методов, основанных на измерении акустической анизотропии – параметра, характеризующего различие в характере распространения ультразвуковых волн в материале в разных направлениях. Акустическая анизотропия является проявлением акустоупругого эффекта, предсказанного теоретически в работах Био [3] и Труселла [4] и экспериментально обнаруженного при одноосном растяжении призматических образцов в конце 50-х годов прошлого века Бенсоном и Рилсоном [5].

Исследованию акустоупругого эффекта посвящено большое число работ зарубежных и отечественных авторов [6-10]. Промышленная технология оценки напряженно-деформированного состояния методом акустоупругости основана преимущественно на разработках 70-90-х годов научных коллективов из ВНИИНК [8] (г. Кишинёв, Молдавия), Института электросварки имени Е. О. Патона [9] (г. Киев, Украина) и Нижегородского филиала Института проблем машиноведения РАН [10] (г. Нижний Новгород, Россия).

В то же время, вопрос применения акустической анизотропии к диагностике монокристаллических материалов практически не исследовался. Среди отечественных работ можно выделить публикации научной группы под руководством Н.Е. Никитиной (1951-2016), посвященные контролю лопаток турбокомпрессора высокого давления двигателя ДЖ59Л из жаропрочного сплава ЭИ961 (14Х17Н2Ш) [11]. Наблюдаемые на конкретных образцах значения акустической анизотропии не превышали 1,65% [12], что может быть описано в рамках линеаризованных уравнений, лежащих в основе методов акустоупругости и акустопластичности [13].

Авторами делается вывод о перспективе использования эхо-импульсного метода для неразрушающего контроля структуры материала лопаток при изготовлении, ремонте и по окончании эксплуатации лопаток.

Целью данной работы является исследование акустической анизотропии отечественных жаропрочных суперсплавов на никелевой основе, используемых в газотурбиностроении. Они разрабатываются в качестве альтернативы сплавам ЕРМ102 и CMSX-10 и имеют температурный уровень работоспособности на 50-60°С выше, чем зарубежные аналоги [2].

Для исследования были выбраны плоские монокристаллические образцы, используемые в испытаниях на рост трещины (на рис. 1). Для оценки влияния температурных факторов образцы из одного сплава на никелевой основе испытывались как при комнатной температуре, так и при температуре 1000°С вплоть до разрушения (на рис. 1). Для испытаний была изготовлена партия из 20-ти образцов с различной кристаллографической ориентацией.

Рис. 1. Образцы после усталостного разрушения

Рис. 2. Ультразвуковой датчик 5 МГц

Измерения акустической анизотропии осуществлялись с помощью ультразвукового приемо-передающего датчика с частотой излучения волн 5 МГц (на рис. 2). Датчик входит в состав отечественного сертифицированного прибора ИН-5101А, используемого в неразрушающем контроле в атомной энергетике и нефтегазовой отрасли. Акустическая анизотропия измерялась как фазовый сдвиг между скоростями распространения объемных поперечных волн v_1 и v_2 взаимно ортогональной поляризации согласно формуле (1):

$$a = 2(v_1 - v_2)/(v_1 + v_2)\,. \qquad (1)$$

В табл. 1 приведены результаты измерения акустической анизотропии в образцах, выращенных вдоль различных кристаллографических направлений ([1,-1,0] и [1,0,0]), после усталостного разрушения при комнатной температуре и в условиях высокотемпературного циклического нагружения при 1000°С.

Таблица 1. Результаты измерения акустической анизотропии в монокристаллических образцах

Номер образца	Акустическая анизотропия, %	Кристаллографическое направление	Температура
№1	47,7947	[1,-1,0]	20
№2	46,8177	[1,-1,0]	1000
№3	0,4622	[1,0,0]	1000

Измерения, проведенные на образцах №1 и №2, говорят о значительном (порядка 1%) влиянии температурных факторов на величину акустической анизотропии. Их экспериментальная оценка может осуществляться с высокой точностью возможностям прецизионного измерения времени распространения поперечных волн с точностью 10^{-9} секунды с помощью стандартного анализатора акустической анизотропии.

Кроме того, видно, что кристаллографическая ориентация вносит определяющий вклад в величину акустической анизотропии, значения которой могут отличаться более чем в 100 раз. Столь значительная (порядка 50%) акустическая анизотропия ранее в известной научной литературе экспериментально не исследовалась. В этом случае возникает проблема линеаризации аналитических соотношений, используемых в теориях акустоупругости и акустопластичности. В то же время экспериментальные результаты дают адекватный результат, который подтверждается результатами теории, предложенной в работе [14].

Полученные результаты могут быть использованы для разработки методики неразрушающего контроля монокристаллических сплавов на никелевой основе с помощью акустической анизотропии.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РНФ, грант № 18-19-00413.

ЛИТЕРАТУРА

1. Толорайя В.Н. и др. Усовершенствованный метод монокристаллического литья турбинных лопаток ГТД и ГТУ // Металловедение и термическая обработка металлов. – 2002. – № 7. – С. 11-16.

2. Шарова Н.А. и др. К вопросу о выборе новых жаропрочных никелевых сплавов для перспективных авиационных ГТД // Вестник СГАУ им. академика С.П. Королёва. – 2009. – № 3. – С. 249-255.

3. Biot M A. The influence of initial stress on elastic waves // J. Appl. Phys. – 1940. – Vol. 1 (8). – P. 522-530.

4. Truesdell C. General and exact theory of waves in finite elastic strain // Archive for Rational Mechanics and analysis. – 1961. – Vol. 8, No. 1. – P. 263-296.

5. Benson R.W. From ultrasonics to a new stress-analysis technique // Acoustoelasticity. – 1959. – Vol.30 (29). – P. 56-59.

6. Belyaev A.K. et al. Investigation of the correlation between acoustic anisotropy, damage and measures of the stress-strain state // Procedia Structural Integrity. – 2017. – Vol. 6. – P. 201-207.

7. Semenov A.S. et al. Effect of Surface Layer Damage on Acoustic Anisotropy // Journal of Applied Mechanics and Technical Physics. – 2018. – Vol. 59 (6). – P. 1136-1144.

8. Bobrenko V.M. Ultrasonic methods and devices for inspecting mechanical stresses // Soviet Journal of Nondestructive Testing. – 1984. – Vol. 19 (12). – P. 886-891.

9. Guz' A.N. et al. Theory underlying the determination of initial stresses from the results of ultrasonic measurements // International Applied Mechanics. – 1971. – Vol. 7 (6). – P. 676-679.

10. Никитина Н. Е. Акустоупругость. Опыт практического применения // Н. Новгород: Талам. – 2005. – 208 с.

12. Тарасенко Ю.П. и др. Исследование структурной и акустической анизотропии материала рабочих лопаток турбокомпрессора высокого давления // Проблемы машиностроения и надежности машин. – 2015. – № 2. – С. 93-96.

13. Тарасенко Ю. П. и др. Структурная и акустическая анизотропии материала лопаток турбокомпрессора // Вестник СГАУ им. С.П. Королёва. – 2014. – № 4. – С. 35-39.

14. Pao Y.H. Theory of acoustoelasticity and acoustoplasticity // Solid mech. res. for quant. NDE. – 1987. – P. 257-273.

СЕКЦИЯ

«ЭНЕРГОРЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ И ЭКОЛОГИЯ»

РАЗРАБОТКА ПРОЕКТА ПО ВНЕДРЕНИЮ «УМНОГО» КОНТЕЙНЕРА ДЛЯ ЭФФЕКТИВНОГО РАЗДЕЛЬНОГО НАКОПЛЕНИЯ И ТРАНСПОРТИРОВКИ ТВЕРДЫХ КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ

С.Н. Бородин

Северо-Западный институт управления – филиал Российской академии народного хозяйства и государственной службы при президенте РФ

В феврале 2019 года Президент Российской Федерации выступил с ежегодным посланием к федеральному собранию [2], где обозначил приоритетные задачи развития России на ближайшие годы. Среди этих задач была задача создания эффективной системы обращения с твердыми коммунальными отходами (далее – ТКО). Для выполнения этой задачи Президент дал ряд поручений, среди которых: закрыть 30 объектов размещения отходов в 2019 году, повысить долю обработки отходов с 8% в 2018 году к 60% в 2024 году. Для выполнения поставленной задачи необходимо изменить действующую технологию обращения с твердыми коммунальными отходами. Данная сфера деятельности регулируется преимущественно Федеральным законом «Об отходах производства и потребления» от 24.06.1998 №89 [1]. В данном законе уже были внесены изменения, законодательно закрепляющие раздельное накопление отходов. На сегодняшний день в России существуют две противоположные технологии обращения с отходами. Согласно первой технологии ТКО накапливаются в квартирах, в домах, на территории юридических лиц, находящихся в многоквартирных домах. При этом накапливаются в одном баке, затем эти отходы вывозятся региональным оператором по обращению с отходами, либо оператором по обращению с отходами в место обезвреживания (мусоросжигающий завод), либо захоронения отходов (полигон). Согласно второй технологии ТКО накапливаются раздельно, по нескольким фракциям, затем накопленные отходы также по фракциям вывозятся на утилизацию (мусороперерабатывающий завод), где привезенные отходы проходят процедуру рециклинга, регенерации, рекуперации. У обоих технологий есть свои достоинства и недостатки, но в рамках реализации стратегии обеспечения экологической безопасности необходимо использовать вторую технологию. На сегодняшний день до конца не разработана эффективная система обращения с отходами, вместе с тем нельзя резко перейти с одной технологии на другую. Это связано с множеством причин, среди которых:

1. отсутствие технологий переработки;
2. отсутствие соответствующей инфраструктуры;
3. недостаточное количество операторов по обращению с отходами, которые имеют мусоровозы с разделением отсеков на фракции;
4. неопределенность общих принципов и фракций разделения отходов при накоплении;
5. сложность домашнего раздельного накопления отходов;
6. низкая экологическая культура населения.

В рамках углубленного изучения практической значимости грамотной утилизации ТКО было проведено полевое наблюдение, в ходе которого выяснилось, что граждане, желающие избавиться от какой-либо вещи и решают выбросить ее в бак, где предусмотрено раздельное накопление, выбрасывают в отсек, где должна накапливаться другая фракция отходов. Таким образом, на сегодняшний день мы имеем ситуацию, где гражданам сложно раздельно накапливать отходы в своих домах ввиду нежелания или недостаточности пространства в жилом помещении. При этом граждане не выбрасывают отходы согласно фракциям в баке, где предусмотрено накопление. Переход на новую технологию обращения с ТКО, в рамках которой строятся 60 мусороперерабатывающих заводов, создаёт дополнительные трудности. Также определенной проблемой является транспортирование отходов. Согласно требованиям законодательства, есть определенный срок, в течении которого оператор должен вывозить отходы. Операторы несут дополнительные издержки: например, в некоторых местах мусорные баки долгое время остаются пустыми или мало заполненными, тогда как в других районах они заполняются за считанные часы. В связи с чем, возникает потребность в создании «умного» контейнера, который обеспечил бы потребности всех сторон. Для этого необходимо разработать единый макет контейнера, удовлетворяющий следующим требованиям:

1. компактность;
2. строго определенное количество отсеков, каждый из которых соответствует определенным фракциям;
3. чёткое зонирование органических и неорганических отходов;
4. наличие системы оповещения оператора о наполняемости;
5. возможность накапливать информацию о наполняемости.

Макет контейнера представлен на рис. 1. Данный прототип, по мнению автора, хорошо вписывается в концепцию развития «умного города». Габариты такого контейнера позволяя устанавливать его в многоквартирных домах, где накопление отходов осуществляется по мусоропроводу. Контейнер состоит из удаленных датчиков, устанавливаемых в мусорных баках, и специализированного программного обеспечения. Датчики контролируют уровень наполненности мусорных баков и передают измеренные данные на центральный сервер. Они являются ультразвуковыми. Датчик фиксирует отраженные звуковые волны, в соответствии со

скоростью отражения определяет объем свободного пространства. Данные на сервер передаются в режиме реального времени, где они обрабатываются специализированным программным обеспечением. Процесс передачи осуществляется по радиосреде с помощью встроенных GPS и GPRS-модулей. Обрабатывая полученную информацию, специализированное программное обеспечение предоставляет подробную детализацию уровня заполнения каждого контейнера. Далее на основе полученных результатов строятся оптимальные планы-маршруты по сбору отходов.

Собирая данные с мусорных баков, система способна накапливать статистику за большие периоды времени. В результате, ее «интеллект» со временем повышается. Система получает возможность предугадывать, когда те или иные контейнеры заполнятся до отказа, и составлять графики сбора ТКО заблаговременно. При составлении маршрутов может учитываться не только наполненность контейнеров и количество имеющихся мусоровозов, но и текущая загруженность дорог.

Оптимальные маршруты, построенные системами управления сбором ТКО, позволяют:

1. оптимизировать рабочее время персонала;
2. уменьшить количество расходуемого мусоровозами топлива;
3. снизить количество закупаемых мусоровозов, которые требуются для сбора мусора;
4. уменьшить износ техники/дорожного полотна.

Инфраструктура по раздельному сбору отходов развивается постепенно путем исполнения указа Президента от 7 мая 2018 года № 204 «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года» [3], в котором установлена задача формирования комплексной системы обращения с твёрдыми коммунальными отходами, включая ликвидацию свалок и рекультивацию территорий, на которых они размещены, создание условий для вторичной переработки всех запрещённых для захоронения отходов производства и потребления, взаимодействия эко-активистов с социально-ответственными в сфере охраны окружающей среды коммерческими организациями, осуществляющими сбор и переработку вторичного сырья, создание института общественного инспектора. Необходимым условием осуществления проекта «умного контейнера» является согласование типов фракций и соотношения пропорций места в контейнере, а также обязательное раздельное накопление органических и неорганических отходов между Российским экологическим оператором и региональными операторами по обращению с отходами.

Целесообразно осуществлять установку контейнеров за счёт регионального оператора или операторов по сбору и транспортированию отходов, осуществляющих данные виды деятельности на соответствующей территории. Содержание контейнерных площадок, в соответствии с действующим законодательством, является обязанностью органов местного самоуправления муниципальных образований.

Таким образом, для достижения цели, поставленной Президентом в послании Федеральному собранию об уровне переработки ТКО в 60% целесообразно создать единый, унифицированный «умный» контейнер накопления ТКО, который не усложнял бы жизнь граждан, заставляя сортировать отходы дома. Такой контейнер также дает возможность сэкономить на рабочем персонале мусороперерабатывающего завода, который следит и сортирует тонны мусора вручную, дает возможность не задействовать дополнительные мощности для мусороперерабатывающих заводов. Вместе с тем, необходимо достичь единого соглашения, определив фракции отходов, среди которых обязательно должно быть разделение на органические и неорганические, поскольку неорганические отходы, которые до переработки находились с органическими отходами после обработки приобретают четвертый класс опасности, в связи с чем их необходимо отвести на полигон, поскольку в качестве вторичного сырья их по закону использовать запрещено. Распространение и закупка таких контейнеров может проходить согласно Федеральному закону «О контрактной системе в сфере закупок товаров, работ, услуг для обеспечения государственных и муниципальных нужд» от 05.04. 2003 №44», установка должна осуществляться за счет операторов по сбору и транспортированию ТКО.

Рис. 1. Макет «умного» контейнера для накопления ТКО

ЛИТЕРАТУРА

1. Закон Российской Федерации "Об отходах производства и потребления" от 24.06.1998 № 89 // доступ из справочно-правовой системы "Консультант-плюс".

2. Послание Президента Российской Федерации Федеральному Собранию Российской Федерации // официальный сайт Президента России URL: http://kremlin.ru/events/president/news/59863 (дата обращения: 30.09.2019).

3. Указ Президента Российской Федерации "О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года" от 07.05.2018 № 204 // доступ из справочно-правовой системы "Консультант-плюс".

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ СНИЖЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО МИНИМУМА МЕТОДОМ ОБВОДА НА ПРИМЕРЕ ЭНЕРГОБЛОКОВ С ТУРБИНАМИ Т-100-130 И Т-250/300-240

Д.В. Григорьева

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

В настоящее время тепловые электрические станции (ТЭС) являются основой электроэнергетики России. Так, по состоянию на 2016 год функционирует 537 ТЭС, суммарная электрическая мощность которых составляет 148,6 тыс. МВт, выработка электрической энергии на этих ТЭС – 640,5 млн. МВт·ч в год. Годовой расход топлива ТЭС общего пользования в 2016 году оценивается в 265,8 млн. т.у.т. В настоящее время большинство ТЭС РФ функционируют в условиях оптового рынка электроэнергии и мощности. Существенную долю ТЭС в РФ составляют теплоэлектроцентрали (ТЭЦ), осуществляющие комбинированное производство тепловой и электрической энергии.

Методики прохождения ночных провалов на ТЭЦ, используемые сегодня энергетическими компаниями, основаны на упрощенных методах выбора состава основного оборудования, что не дает возможности найти выгодные решения, и недостаточно учитывают ожидаемую динамику изменения тепловых нагрузок и неопределенность цен на рынке электроэнергии [1, 2, 5].

Одним из методов прохождения ночных провалов является метод обвода или отключения ПВД, в котором снижение электрической мощности происходит за счет уменьшения расхода пара в головную часть турбины на значение вытесненных отборов. Нагрузка и параметры теплофикационных отборов в этом случае остаются неизменными. При полном открытии обводного канала через ПВД расход питательной воды составляет 25÷30% от ее общего расхода, подогреватели работают надежно с нормированными параметрами греющего пара и воды [3]. Данный метод имеет следующие ограничения:

- регулирование большого количества арматуры;
- сложности при снижении давления пара, скорость не должна превышать 0,6 кгс/см^2 в минуту (установка уровня конденсата);
- вследствие обвода ПВД происходит также понижение температуры питательной воды, в свою очередь все котлоагрегаты рассчитаны на определенную температуру питательной воды, поэтому должен быть обеспечен определенный регулировочный диапазон по питательной воде.

Целью данной работы является оценка экологических аспектов эффективности снижения технологического минимума ТЭЦ. В качестве исходных данных для расчета были использованы результаты испытаний турбины Т-100-130 ТЭЦ-21 и Т-250/300-240 ТЭЦ-22 филиала «Невский ПАО «ТГК-1», приведенные в табл. 1. В табл. 1 приведены результаты испытаний прохождения технологического минимума путем применения метода обвода ПВД на блоке Т-100-130 и Т-250/300-240.

Таблица 1. Показания испытаний

Характеристика	Исходный (режим 1)		Обвод подогревателей высокого давления (режим 2)	
	Т-100-130	Т-250/300-240	Т-100-130	Т-250/300-240
Электрическая мощность, МВт	85	170	70	130
Расход пара на турбину, кг/с	96,5	530	79,7	425
Расход топлива, кг/с	8,9	25,8	8,6	22,3
Отпуск теплоты, МВт	154	195,6	154	195,6

Таким образом, можно заключить, что при отключении части отборов регенерации (отборов на ПВД) возможно снизить на ту же величину расход пара на турбину [3, 4].

Исследования обвода ПВД показали, что:

1. Обвод части питательной воды вокруг ПВД может быть эффективным методом разгрузки.

2. Снижение температуры питательной воды в режиме свободного распределения питательной воды не на много выше в сравнении с исходным состоянием, что не нарушает надежность работы трубопроводов и поверхностей нагрева котла.

3. Использование данного метода приводит к уменьшению расхода пара на турбину и снижению электрической мощности на 15-20%. Отпуск теплоты из отборов турбины оставался неизменен.

4. В теплофикационных турбинах примерно 15% электроэнергии вырабатывается потоком пара регенеративных отборов, то есть регулирование методом переменного коэффициента регенерации изменяет мощность в этих пределах.

На основе данных испытаний, средней продолжительности отопительного периода и длительности ночного провала была рассчитана величина возможной экономии топлива, которая составила 0,60-0,70% от среднегодового расхода.

Проведены расчеты выбросов загрязняющих веществ с использованием метода обвода ПВД и без него для энергоблоков Т-100-130 и Т-250/300-240 (при условии, что обе ТЭЦ работают на природном газе). Результаты расчетов приведены в табл. 2 и 3.

Таблица 2. Выбросы загрязняющих веществ для энергоблоков Т-100-130

	NO		NO_2		SO_2	
	Выброс (тонн/год)	ПДВ (тонн/год)	Выброс (тонн/год)	ПДВ (тонн/год)	Выброс (тонн/год)	ПДВ (тонн/год)
1 режим работы	511,008	510,6	2501,3	3142,1	21,097	5855,5
2 режим работы	507,786	510,6	2484,3	3142,1	20,937	5855,5

Таблица 3. Выбросы загрязняющих веществ для энергоблоков Т-250/300-240

	NO		NO_2		SO_2	
	Выброс (тонн/год)	ПДВ (тонн/год)	Выброс (тонн/год)	ПДВ (тонн/год)	Выброс (тонн/год)	ПДВ (тонн/год)
1 режим работы	489,4	510,6	2870,4	3142,1	15,1	5855,5
2 режим работы	480,3	510,6	2522,5	3142,1	13,4	5855,5

Количественное определение выбросов основных загрязняющих веществ (диоксида азота и диоксида серы) от двух энергоблоков ТЭЦ производилось следующим образом:

$$\text{Выброс диоксида азота } (NO_2) = m \cdot Q_н \cdot K_{NO2} \cdot (1-\beta) \cdot 10^{-3},$$

где $Q_н$ – низшая теплота сгорания топлива, m – количество потраченного топлива, K_{NO2} – параметр, характеризующий количество оксидов азота, образующихся на один ГДж тепла, кг/ГДж, β - коэффициент, зависящий от степени снижения выбросов оксидов азота.

Расчет выбросов оксида азота (NO) аналогичен расчету выбросов диоксида азота (NO_2).

Определение количества выбросов диоксида серы:

$$\text{Выброс диоксида серы}(SO_2) = 0{,}02 \cdot m \cdot S \cdot (1-\eta') \cdot (1-\eta''),$$

где S – содержание серы в топливе; η' – доля оксидов серы, связываемых летучей золой топлива, η'' – доля оксидов серы, улавливаемых в золоуловителе.

Как видно из табл. 2 и 3, снижение технологического минимума не оказало существенного влияния на величину выбросов загрязняющих веществ, но при этом позволило однозначно уложиться в нормативные требования по предельно допустимым выбросам, что при работе энергоблока в номинальном режиме не всегда выполняется.

Выводы. Проведенные расчеты показали, что снижение выброса загрязняющих веществ на ТЭЦ при использовании метода обвода на энергоблоках с турбинами Т-100-130 и Т-250/300-240 оказалось не столь существенным. Однако, в масштабах энергетики страны применение данного метода может оказать значительное благотворное влияние на экологическую обстановку.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Безлепкин В.П., Михайлов С.Я. Регулировочный диапазон тепловых электростанций. Л.: Энергоатомиздат. 1990 – 168 с.

2. Скворцова И.В., Свитин В.П., Федорец О.В. Экономика природопользования: учебное пособие. – СПб., Изд.-во Политехнического университета, 2010.

3. Безлепкин В.П. Регулирование электрической мощности теплофикационных турбин, работающих по тепловому графику. Теплоэнергетика. № 12. 1985. С. 49-52.

4. Иванов В.А., Боровков В.М., Ванчиков В.В., Кутахов А.Г. К вопросу повышение маневренности ТЭЦ, работающих по тепловому графику. Энергетика. № 7. 1982. С. 39-43.

5. Под ред. Бродов Ю.М., Кортенко В.В. Паровые турбины и турбоустановки Уральского турбинного завода. Екатеринбург: Апарино, 2010. – 488 с.

АДСОРБЦИЯ 2,4-ДИХЛОРФЕНОЛА СИЛИКАТНЫМ АДСОРБЕНТОМ – ДИАТОМИТОМ

Г.И. Гусев, *А.А. Гущин, В.А. Бондарев, Е.А. Москаленко, М.А. Шильке*
Ивановский государственный химико-технологический университет

Хлорированные углеводороды относятся к одним из наиболее опасных загрязнителей природных и питьевых вод. Хлорорганические соединения оказывают прямое токсичное действие на организм живых организмов, а также обладают канцерогенной активностью и способны накапливаться в организме [1].

К представителям класса хлорированных ароматических углеводородов относится 2,4-дихлорфенол (2,4-ДХФ), который является одним из наиболее токсичных соединений. Помимо токсических эффектов присутствие 2,4-ДХФ даже в следовых количествах (на уровне присутствие 5–10 мкг/л) придает воде специфический запах и делает ее непригодной для питья. Поэтому очистка воды от присутствующих в ней хлорированных ароматических углеводородов (на примере 2,4-ДХФ) является актуальной задачей.

Целью представленной работы являюсь исследование физическо-химических процессов сорбции 2,4-ДХФ из водных растворов на природном силикатном сорбенте – диатомите.

Условия проведения эксперимента: начальная концентрация 2,4-ДХФ (C_0) варьировалась в диапазоне 10-100 мг/л, объём раствора (V_0), пропускаемого через сорбент – 100 мл, масса сорбента (m) составляла 2 г. Сорбционный процесс исследовался в динамических условиях, т.е. модельные растворы пропускались через слой сорбента, что позволяло использовать емкость сорбционного материала в полном объёме. Концентрация 2,4-ДХФ до и после очистки определялась хроматографически [2].

Сорбционная ёмкость сорбентов оценивалась по формуле [3]:

$$J_i = \frac{V_0 \times \left(C_{0,i} - C_i\right)}{m}, \text{ мг/г,}$$

где J_i – сорбционная ёмкость, мг/г; V_0 – объём пробы модельного раствора, пропущенный через сорбент, л; C_0 и C – начальная и конечная концентрации соответственно, мг/л; m – масса образца сорбента, г.

Исследование поверхности диатомита помощью сканирующей электронной микроскопии, показало, что он состоит из практически неповрежденных окаменелых останков диатомовых водорослей, относящихся к типу твёрдых водорослей. Поверхность образцов имеет сложную упорядоченную структуру, характерную для кизельгуровых пород, с множеством макропор со средним диаметром от 0,1 до 1,5 микрон. Результаты электродисперсионной рентгеновской спектроскопии (рис. 1) показали, что в состав исследуемого сорбента всходят следующие основных соединений SiO_2 – 76-88 %, Al_2O_3 – 3,5-9,75 %, а также присутствуют CaO (0,45-0,85 %) и MgO (0,61-1,71 %). Полученные результаты хорошо согласуются с работами, посвященными исследованию морфологии диатомита [4] и подтверждают, что для исследования были взяты активированные образцы сорбента. SEM-анализ показал, что на поверхности сорбента в основном присутствуют мезо и макропоры диаметром 0,2-1,5 микрона.

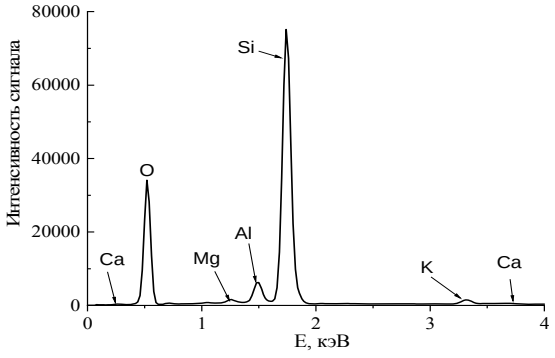


Рис. 1. Элементный состав диатомита (с использованием энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии)

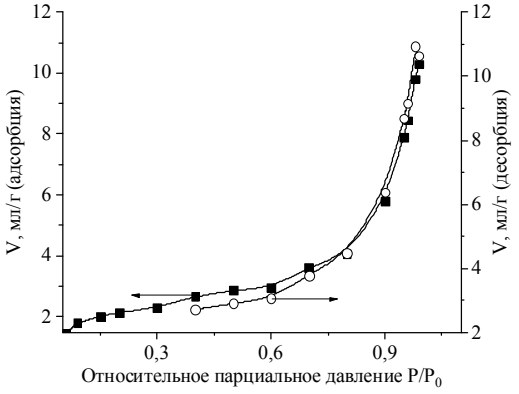


Рис. 2. Изотерма адсорбции диатомита (метод БЭТ)

По результатам исследования сорбционных свойств адсорбента диатомита, оцененных по удельной поверхности методом низкотемпературной адсорбции инертного газа, были построены изотермы адсорбции/десорбции жидкого азота на поверхности диатомита (рис. 2), обработка которых по методу БЭТ показала, что удельная поверхность сорбента и объем мезопор составляют 8,1 $м^2/г$ и 0,016 $см^3/г$ соответственно, что является достаточно низкими значениями, по сравнению с активированными углями. Однако прошлые исследования показали невозможность использования активированных углей в реакторе ДБР из-за их углеродного состава.

Для нахождения термодинамических параметров равновесия необходим переход к полным величинам адсорбции $\mathbf{a_i}$ [5]. Для этого были построены изотермы адсорбции в координатах: $Q_x = f(Q_y)$, где Q_x – равновесная концентрация 2,4-ДХФ после пропускания через сорбент, мг/л, Q_y – сорбционная ёмкость сорбента, мг/г. Обработка полученных изотерм адсорбции для всех образцов сорбентов осуществлялась в рамках модели

мономолекулярной адсорбции Лэнгмюра. В рамках формальной обработки по величинам адсорбции a_i и определенной предельной адсорбции a_m для сорбента были рассчитаны максимальные степени заполнения поверхности θ_i. Кроме того, по известным термодинамическим соотношениям было определено изменение энергии Гиббса $\Delta_a G^o(\theta)$ в ходе адсорбции в условиях проведения эксперимента.

Результаты экспериментов по влиянию начальной концентрации 2,4-ДХФ в модельном растворе на сорбционную емкость исследуемого сорбента показывают, увеличение концентрации и температуры, при которой протекает процесс адсорбция, приводит к росту сорбционной емкости диатомита по отношению к 2,4-ДХФ (рис. 3). Так наибольшая сорбционная емкость в условиях эксперимента наблюдается для концентрации 2,4-ДХФ равной 100 мг/л.

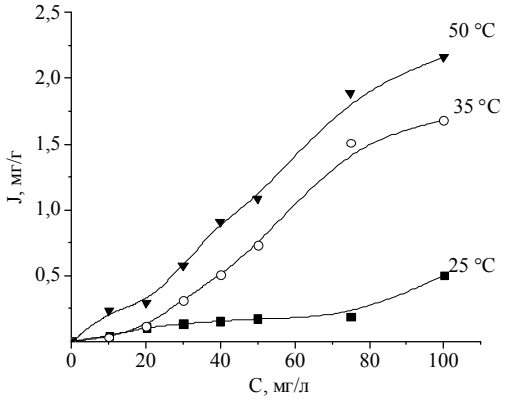


Рис. 3. Зависимость сорбционной емкости диатомита от начальной концентрации 2,4-ДХФ и температуры

Полученные изотермы имеют практически идентичный характер с ярко выраженным линейным участком в области невысоких концентраций и соответствуют изотермам мономолекулярной адсорбции (рис. 3). Результаты формальной обработки полученных изотерм адсорбции для всех температур представлены в табл. 1.

Результаты расчетов свидетельствуют о том, что коэффициенты распределения для температурного интервала находятся в интервале 0.004÷0.0024, что гораздо меньше, чем коэффициент распределения по нефтепродуктам (НП), найденный в прошлых исследованиях по адсорбции диатомитом [4]. Интересен и тот факт, что аналогичная закономерность прослеживается при анализе максимальной степени заполнения поверхности сорбентов. При увеличении температуры, снижение степени заполнения поверхности наблюдается практически в два раза.

Таблица 1. Результаты формальной обработки полученных изотерм адсорбции

t, ° C	K_d	a_m, мг/г	b	H	$\Delta_a G^o$	θ
25 (НП) [4]	0,565	20,49	0,006	0,123	12,67	0,7
25 (ДХФ)	0,004	0,255	0,0378	0,0096	8,11	0,52
35 (ДХФ)	0,024	2,549	0,0194	0,0495	10,09	0,18
50 (ДХФ)	0,021	2,208	0,0118	0,0261	11,55	0,21

Величины предельной адсорбции, рассчитанные по линейным координатам изотермы Лэнгмюра, варьируются в интервале от 0,25 до 2,55 мг/г сорбента. Полученные значения согласуются с экспериментальными данными по сорбционной емкости. Однако полученные величины в 10 раз меньше по сравнению с величиной предельной адсорбции для диатомита по НП.

Таким образом, анализируя исключительно адсорбционные характеристики изученного адсорбента, можно заключить, что адсорбция 2,4-дихлофенола протекает с низкой эффективностью, о чем свидетельствуют как низкие показатели адсорбционной емкости данного сорбента, так и результаты расчетов величин коэффициентов распределения, предельной адсорбции, адсорбционных коэффициентов, констант Генри, изменения энергии Гиббса и максимальной степени заполнения.

Работа выполнена в рамках Государственного задания (проектная часть) № 3.1371.2017/4.6. Авторы благодарят РФФИ за финансовую поддержку исследований (грант № 18-08-01239).

ЛИТЕРАТУРА

1. Салех М.М. Электрокаталитическое окисление 4-хлорфенола на титане, модифицированном оксидом иридия / М.М. Салех, Е.Н. Колосов, И.И. Михаленко // Актуальные проблемы химии и биотехнологии: мат-лы I Всерос. науч.-прак. конф., посвящ. 85-летию ИРНИТУ (28-29 апреля 2015 г.). – Иркутск: Изд. ИРНИТУ, 2015. – С. 3-5.

2. ГОСТ Р 51209-98 Вода питьевая. Метод определения содержания хлорорганических пестицидов газожидкостной хроматографией.

3. Gusev G.I., Gushchin A.A., Grinevich V.I., Osti A.A., Izvekova T.V., Kvitkova E.Yu. Regeneration of natural sorbents contaminated with oil products in dielectric barrier discharge plasma. Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. KhimKhim. Tekhnol. 2017. T. 60. № 6. C. 72-76.

4. A.Q. Selim. Microscopic evaluation of diatomite for advanced application: Case study. Microscopy: Science, Technology, Applications and Education.

5. Gusev G.I. et al. Physical and chemical properties of sorbents used for wastewater purification from oil products Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. KhimKhim. Tekhnol. – 2018. – T. 61. – № 7. – C. 137-143.

ГЕОМЕТРИЯ МНОГОКРАТНОГО ДРОБЛЕНИЯ ОПАСНОГО АСТЕРОИДА

В.А. Екимовская

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ)

Начато исследование возможности отклонения траектории фрагментов опасного астероида после многократных дроблений тела. Изучено двойное отклонение фрагментов опасного астероида от направления подлёта к Земле. Первое дробление выполняется так, чтобы траектория фрагментов отклонилась, но тела продолжали двигаться на Землю. Следующие дробления выполняются в ортогональной плоскости по сравнению с первым воздействием. Новые фрагменты пролетают мимо Земли. Однократное дробление оказывается более эффективным с геометрической точки зрения. Однако с позиции энергетики эта задача полностью не исследована. Проблема защиты Земли от опасных астероидов тесно связана с антропогенным засорением околоземного космического пространства фрагментами космического мусора [1]. Общими чертами этих двух проблем являются большие относительные скорости столкновения объектов. Даже при сравнительно небольших размерах космического тела, например, астероида, порядка ста метров, последствия его столкновения с Землёй будут катастрофическими [2]. Обе проблемы начали изучаться как в организациях науки и промышленности, так и в военных организациях более двадцати лет назад [3].

Для однократного дробления тела задача решается в один этап определением угла отклонения траектории фрагмента в сторону от Земли [4]. В результате такого дробления образуются два фрагмента, траектории которых не пересекаются с Землёй [5]. Схема однократного дробления астероида показана на рис. 1.

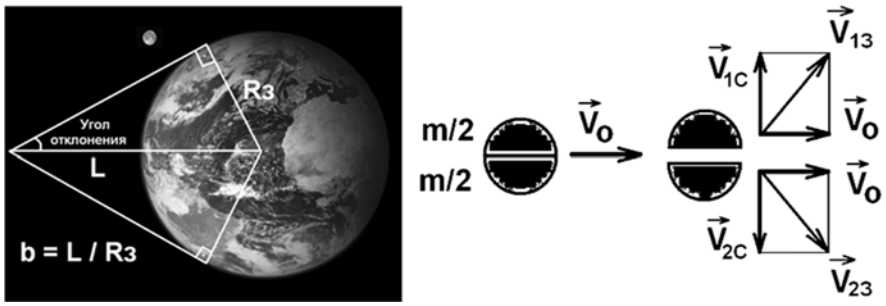


Рис. 1. Схема однократного дробления астероида

В этой работе изучен вопрос двукратного и даже многократного разрушения объекта. Решение задачи состоит из двух частей. Первое дробление проводится на два равных фрагмента, но, в отличие от первой задачи, траектории движения этих фрагментов пересекают Землю, то есть образовавшиеся новые объекты продолжают оставаться опасными для нашей планеты. Целью первого дробления объекта на два равных фрагмента является отклонение траектории новых тел на сравнительно небольшой угол α . Решение задачи о дроблении тела основано на законах сохранения импульса и энергии, что схематично показано на рис. 1.

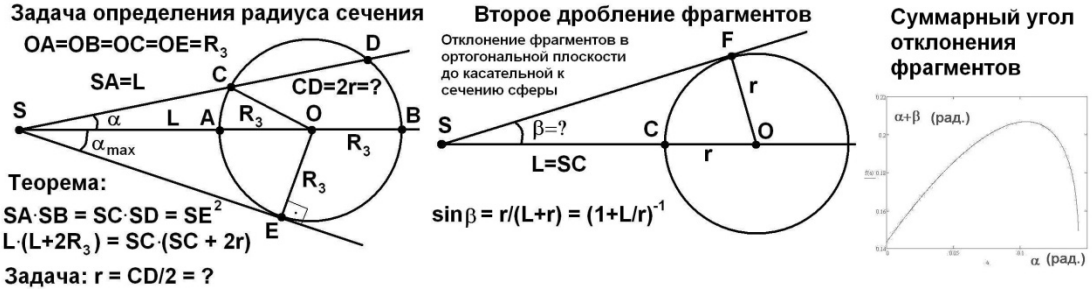


Рис. 2. Первое и второе дробления и углы отклонения скоростей фрагментов

На рис. 2 показана геометрическая часть задачи дробления объекта. Предполагается, что опасный объект движется к центру Земли. Задан угол α первого отклонения фрагментов от центральной оси, который предполагается меньше угла касательной, то есть $\alpha < \alpha_{max}$. Требуется найти диаметр $2r=CD$ сечения сферы, в плоскости которой двигается новый образовавшийся фрагмент. Второй фрагмент двигается в симметричном направлении. Задача решается методом планиметрии с помощью теоремы о секущих к окружности. Точка S дробления объекта предполагается известной и характеризуется расстоянием L от поверхности Земли. Для обобщения результатов в рассмотрение введено относительное безразмерное удаление $b=L/R_3$ объекта от поверхности Земли. Получена формула для расчёта радиуса сечения сферы в плоскости движения нового фрагмента:

$$r(\alpha)=\frac{L^2+2LR_3-(L+R_3)^2\cos^2\alpha+(L+R_3)\cos\alpha\sqrt{(L+R_3)^2\cos^2\alpha-(L^2+2LR_3)}}{(L+R_3)\cos\alpha-\sqrt{(L+R_3)^2\cos^2\alpha-(L^2+2LR_3)}}.$$

Вторая задача заключается в следующих двух дроблениях двух новых фрагментов – половинок исходного опасного объекта, которые продолжают двигаться в направлении Земли, но уже не центрально. Требуется определить второй угол β отклонения частей дробления этих фрагментов, чтобы те не пересекли поверхность Земли. На рис.2 в середине показана геометрическая схема дробления вторичных фрагментов, но уже в ортогональной плоскости относительно первого дробления. Второй угол отклонения β(α) является функцией первого угла отклонения α, он выражается следующей формулой

$$\beta(\alpha)=\arcsin\left[1+\frac{L\left[(L+R_3)\cos\alpha-\sqrt{(L+R_3)^2\cos^2\alpha-(L^2+2LR_3)}\right]}{L^2+2LR_3-(L+R_3)^2\cos^2\alpha+(L+R_3)\cos\alpha\sqrt{(L+R_3)^2\cos^2\alpha-(L^2+2LR_3)}}\right]^{-1}.$$

После решения двух геометрических задач была записана целевая функция в виде суммы двух углов отклонения вторичных фрагментов последовательного деления опасного объекта $f(\alpha)=\alpha+\beta(\alpha)$. Полученная формула была преобразована для возможности учёта удалённости точки S дробления опасного объекта от поверхности Земли. Для этого было введено понятие безразмерного относительного удаления b, выражаемого в удалении точки S дробления опасного объекта в количестве радиусов Земли $b=L/R_3$. Получена формула

$$f(\alpha)=\alpha+\arcsin\left[1+\frac{b\left[(b+1)\cos\alpha-\sqrt{(b+1)^2\cos^2\alpha-(b^2+2b)}\right]}{b^2+2b-(b+1)^2\cos^2\alpha+(b+1)\cos\alpha\sqrt{(b+1)^2\cos^2\alpha-(b^2+2b)}}\right]^{-1}.$$

Целевая функция $f(\alpha)=\alpha+\beta(\alpha)$ не имеет локальных минимумов, напротив, имеет локальный максимум, потому что первое слагаемое α до точки пересечения графиков растёт очень быстро по прямой линии графика. Это означает, что с геометрической точки зрения для минимизации углов отклонения выгодно проводить однократное деление опасного объекта, а не последовательные многократные целенаправленные дробления. Однако энергетическая эффективность такой схемы фрагментации опасного объекта не является следствием геометрической минимизации, потому что в процессе дробления изменяются скорости движения образовавшихся новых фрагментов. Результаты решения геометрической задачи целенаправленного дробления опасного объекта стали исходными данными для дальнейшего решения энергетической задачи.

Выводы:

1. Решена геометрическая задача о последовательной фрагментации опасного для Земли объекта, определены необходимые углы отклонения фрагментов.

2. С геометрической точки зрения доказана рациональность однократного целенаправленного дробления опасного объекта, при которой необходимый суммарный угол отклонения фрагментов будет минимальным.

3. Полученные результаты являются исходными данными для следующего исследования об энергетической эффективности дробления опасного для Земли объекта с учётом изменения скоростей, импульсов и кинетических энергий вторичных фрагментов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Иванов В.Л., Меньшиков В.А., Плечинцев Л.А., Лебедев В.В. Космический мусор. В 3-х томах. – Т. 1. – М.: Патриот, 1996. – 360 с.

2. Меньшиков В.А., Перминов А.Н., Урличич Ю.М. Глобальные проблемы человечества и космос. – М.: ОАО «Издательство «МАКД», 2010. – 570 с.

3. Алексеев Э.В., Меньшиков В.А., Мещеряков И.В. На передовых рубежах. Очерки истории 50 ЦНИИ МО им. М.К. Тихонравова. – М.: НИИ КС им. А.А. Максимова, 2018. – 273 с.

4. Екимовская В.А. Дробление опасного астероида - от школьной задачи к мировой проблеме / Материалы XXX Международной конференции "Современные информационные технологии в образовании 2019". Часть 2. Ред. группа: Алексеева О.С., Григоренко М.М., Киревнина Е.И., Новикова Т.С. - Фонд "Байтик". - Троицк-Москва, 25 июня 2019 г. - Москва-Троицк: Изд-во "Тровант", 2019. - 167 с. - С. 95-97. - Эл. ресурс: https://ito2019.bytic.ru/uploads/files/compilation2019.pdf.

5. Екимовская В.А. Многократное дробление опасного астероида / П99 V Музруковские чтения: Материалы Международной научно-практической конференции, 3-4 октября 2019 г. ГБПОУ СПТ им. Б.Г. Музрукова, отв. за выпуск И.В. Столяров. – Саров: Интерконтакт, 2019. – 271 с. – С. 14-16.

ВОССТАНОВЛЕНИЕ-ОКИСЛЕНИЕ ИОНОВ ХРОМА И МАРГАНЦА В ВОДНОМ РАСТВОРЕ ПОД ДЕЙСТВИЕМ РАЗРЯДА ПОСТОЯННОГО ТОКА АТМОСФЕРНОГО ДАВЛЕНИЯ В ВОЗДУХЕ

***А.А. Извекова**, А.В. Сунгурова, В.В. Рыбкин*
Ивановский государственный химико-технологический университет

В настоящее время проблема подготовки воды с доведением ее до необходимых норм является одной из наиболее актуальных. Сточные воды производств всех отраслей промышленности содержат множество загрязнителей. Для повторного использования в производстве, а также для предотвращения попадания токсичных компонентов в окружающую среду необходимо подвергать очистке сточные воды. Промышленные, бытовые и дождевые городские стоки всегда содержат не только органические, но и неорганические загрязнения [1]. Одни из опасных — соли тяжелых металлов. Обычно используемые методы очистки воды, такие как хлорирование, озонирование, УФ облучение относительно дороги и не всегда обеспечивают нужную эффективность. Поэтому необходима разработка новых методов очистки воды от органических солей тяжелых металлов.

Большое количество исследований посвящено изучению деградации вредных органических веществ в их водных растворах. Возможности плазменных технологий в отношении очистки воды от загрязнений тяжелых металлов мало изучены. Плазма является источником таких активных частиц, как озон, атомарный кислород, радикалов ОН, пероксида водорода, ионов и др. [2-4].

В данной работе рассмотрено состояние вопроса применимости плазменных методов для очистки воды от органических и неорганических загрязнений. Спектрофотометрическим методом изучена кинетика процессов восстановления ионов Cr^{6+} и Mn^{7+} в водном катоде разряда постоянного тока атмосферного давления в воздухе в диапазоне токов разряда 20-80 мА, концентраций ионов Cr^{6+} (0,06-0,19) ммоль/л, ионов Mn^{7+} — (0,29-1,5) ммоль/л. С ростом тока разряда при фиксированной начальной концентрации увеличивается как эффективность восстановления, так и начальные скорости этого процесса. При заданном токе разряда эффективность восстановления зависит от начальной концентрации раствора. Для ионов Cr^{6+} процесс восстановления протекает обратимо, а для ионов Mn^{7+} -практически необратимо. Эффективность восстановления для Mn^{7+} достигает 100 % для всех исследованных концентраций при времени обработки 300 с и токе разряда 40 мА. Максимальная степень восстановления ионов Cr^{6+} достигает 60 % при начальной концентрации 0,06 ммоль/л, токе разряда 40 мА и времени обработки 300 с.

В качестве восстановителей используются сульфат железа (II), сульфит натрия или метабисульфит натрия. Недостаток химических методов обусловлен тем, что реакция восстановления-окисления является обратимой, то есть для достижения высокой степени восстановления требуются избытки реагентов, которые приводят к вторичному загрязнению воды. В тоже время известно, что действие электрических разрядов атмосферного давления в различных газах на воду приводит к появлению в ней активных частиц, которые в зависимости от условий могут быть как окислителями, так и восстановителями. Частицы с высокой окислительной способностью представлены радикалами ·ОН, атомами О(3Р), пероксидом водорода, озоном, радикалами HO_2·. Хорошей восстановительной способностью обладают атомы Н, молекулы водорода и сольватированные электроны. Образование этих частиц происходит без участия каких-либо химических реагентов.

Поэтому целью работы было выявление закономерностей кинетики восстановления-окисления ионов хрома и марганца под действием разряда постоянного тока в воздухе и сравнение их с имеющимися литературными данными для разряда в воздухе.

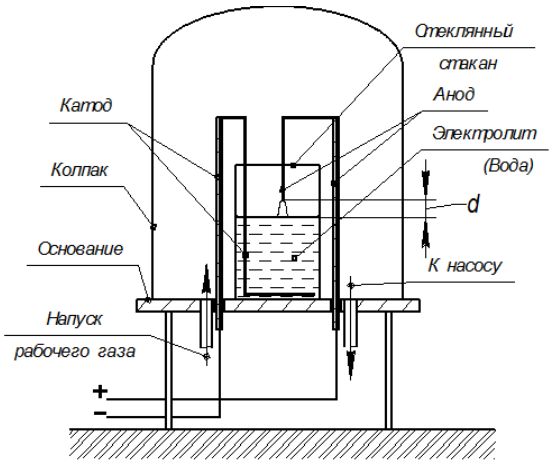


Рис. 1. Схема экспериментальной установки

В работе использовалась установка, представленная на рис. 1.

Сосуд с раствором (70 мл) помещался под вакуумный колпак (5 л), через который пропускался воздух высокой чистоты (99.994%) при расходе 3 $см^3/с$ (н.у.). Разряд при атмосферном давлении возбуждали приложением постоянного напряжения между металлическим анодом и раствором. Расстояние анод-поверхность электролита составляло 10 мм. Ток разряда меняли в пределах 20-80 мА. Раствор нужной концентрации готовили растворением навески бихромата калия ($K_2Cr_2O_7$) и перманганата калия (KMnO4) квалификации ЧДА в дистиллированной воде.

После воздействия разряда в течение определенного времени раствор анализировали на концентрацию бихромат-ионов $Cr_2O_7^{2-}$ по поглощению на длине волны 350 нм и перманганат ионов MnO_4 на длине волны 550 нм.

Указанные длины волн соответствуют максимумам полос поглощения водных растворов рассматриваемых веществ [5]. В работе использовался спектрофотометр Hitachi U-2001.

Полученные в данной работе результаты показывают, что плазменная обработка является эффективным методом очистки воды от ионов хрома (VI) и марганца (VII), переводя их в менее токсичные формы. Результат очистки зависит от начальной концентрации растворов и параметров разряда.

Работа выполнена в рамках Государственного задания (проектная часть) № 3.1371.2017/4.6.

ЛИТЕРАТУРА

1. Grinevich V.I., Kvitkova E.Y., Plastinina N.A., Rybkin V.V. Application of dielectric barrier discharge for waste water purification. Plasma Chem. Plasma Process, 2011, vol. 31, no. 4, pp. 573-583.

2. Bobkova E.S. Modeling chemical composition for an atmospheric pressure DC discharge in air with water cathode / E.S. Bobkova, S.A. Smirnov, Y.V. Zalipaeva, V.V. Rybkin // Plasma Chem. Plasma Process. 2014. V. 34. № 4. P. 721-743.

3. P. Jamrz, K. Greda, P. Pohl, W. Zyrnicki. Atmospheric pressure glow discharges generated in contact with flowing liquid cathode: production of active species and application in wastewater puri cation processes // Plasma Chem. Plasma Process. 2014. V. 34. № 1. P. 25-37.

4. Бобкова Е.С., Кобелева Н.А., Сунгурова А.В., Рыбкин В.В. Очистка воды от ионов Cr^{6+} и Mn^{7+} с использованием разряда постоянного тока атмосферного давления в воздухе // ВОДА: ХИМИЯ и ЭКОЛОГИЯ № 12 декабрь 2015. с. 77–82.

5. Селеменев В.Ф. Спектральные методы анализа: практическое руководство / В.Ф. Селеменев, В.Н. Семенова. СПб.: Лань. 2014. 412 с.

РАЗРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО СТЕНДА ПО ОЦЕНКЕ АЭРОТЕХНОГЕННОЙ НАГРУЗКИ ОТ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ КАРЬЕРОВ И РАЗРЕЗОВ

С.В. Ковшов, ***И.С. Ильяшенко***
Санкт-Петербургский горный университет

Анализ статистических данных экологического и санитарного мониторинга показывает, что значительной проблемой атмосферного воздуха предприятий минерально-сырьевого комплекса, связанных с открытой разработкой месторождений полезных ископаемых, является аэротехногенная нагрузка в виде пылевого загрязнения воздушной среды предприятия и прилегающих территорий [1, 2]. При открытой разработке месторождений негативное воздействие оказывается на природу, здоровье работников предприятия и здоровье жителей населенных пунктов, расположенных в зоне влияния пылевой нагрузки. В частности, данная проблема актуальна для производственных объектов, занятых отработкой карьеров и разрезов, поскольку в воздухе рабочей зоны и прилегающих территорий, вследствие ведения горных работ, преобладают респирабельные фракции органической и неорганической пыли с содержанием оксида кремния $SiO_2 < 20\%$, что способствует развитию тяжелых хронических форм пневмокониозов и других заболеваний органов дыхания [4].

Следовательно, остается актуальной проблема снижения пылевой нагрузки на предприятиях минерально-сырьевого комплекса, состоящая в разработке различных технических мероприятий по пылеподавлению [1, 3]. В качестве объекта исследований и экспериментов были выбраны автомобильные дороги как один из основных и наиболее значимых источников пыления на карьерах и разрезах.

Прежде всего, в результате экспериментов был разработан пылеподавляющий состав на основе органических соединений в определенных концентрациях, теоретически более эффективный, чем применяемая в большинстве случаев мероприятий по пылеподавлению обычная вода. В табл. 1 приведены основные физико-химические свойства разработанных растворов разной концентрации клеящих компонентов, определенные по стандартизированным методикам и сертифицированными приборами. Исследовались свойства и параметры растворов, способные повлиять на возможность применения поливочных машин, состоящих в автопарке карьерного транспорта, а также на устойчивость к разному роду воздействий: механическому, микроклиматическому, климатическому и другим. Таким образом, к ним были отнесены вязкость жидкости, плотность, адгезионные свойства.

Таблица 1. Физико-химические свойства предлагаемых пылеподавляющих составов

Концентрация раствора, %	Плотность раствора, кг/м^3	Адгезия раствора, кг/м^2	Коэффициент кинематической вязкости*, 10^{-6} м^2/с
1	931,5	32,84	0,74
2	932,3	33,09	17,49
3	933,1	33,59	29,88
5	934,6	34,08	36,01

* – для температуры жидкости $\Theta = 25$ °C.

Определение вязкости разработанного пылеподавляющего состава для изучения возможности применения уже используемых технологий и устройств без их конструктивного изменения осуществлялось с помощью вискозиметра Энглера для капельных жидкостей ВУ-М-ПХП.

Условная вязкость °Е исследуемой жидкости может быть определена по формуле (1):

$$°E = \frac{t}{t_0}, \tag{1}$$

где t – время истечения исследуемой жидкости объемом 200 см^3, с; t_0 – водное число, время истечения 200 см^3 дистиллированной воды при температуре Θ = 20 °С.

Для перехода от условной вязкости к коэффициенту кинематической вязкости жидкости ν используется формула Уббелоде (2):

$$\nu = \left(0,0731 \cdot °E - \frac{0,0631}{°E}\right) \cdot 10^{-4}, \tag{2}$$

где ν – в м^2/с.

Вязкость исследуемой жидкости определялась также при разной ее температуре для наблюдения зависимости одного параметра от другого.

Расчет динамического коэффициента вязкости μ, характеризующего силовую составляющую внутреннего трения жидкости, осуществлялся по формуле (3), определяющей связь динамической и кинематической вязкости жидкости:

$$\mu = \nu \cdot \rho, \tag{3}$$

где μ – в Па · с; ρ – плотность исследуемой жидкости, кг/м^3.

Плотность растворов измерялась ареометром АНТ-2 при комнатной температуре составов Θ = 23 °С.

Например, при температуре исследуемого 2% раствора Θ = 45 °С время истечения составило t = 84 с. Водное число является константой и равно t_0 = 52 с. Тогда условная вязкость, согласно формуле (1), составит:

$$°E = \frac{84}{52} = 1,615.$$

Коэффициент кинематической вязкости ν по формуле Уббелоде (2) будет равен:

$$\nu = \left(0,0731 \cdot 1,615 - \frac{0,0631}{1,615}\right) \cdot 10^{-4} = 0,079 \cdot 10^{-4}\ м^2/с.$$

Исследование адгезионных свойств растворов для определения степени налипания на колеса карьерного автотранспорта и разрушения связывающего слоя осуществлялось с помощью динамометра ДОСМ-3. Для определения адгезионных свойств к динамометру была приспособлена пластина площадью S = 401,94 см^2.

Динамометр пластиной помещался на модель дороги, покрытую исследуемым раствором. После застывания раствора производился отрыв динамометра от поверхности и фиксировалось показание величины деформации в мм. По показаниям и тарировочной таблице соответствия смещения и нагрузки методом линейной интерполяции определялась фактическая нагрузка отрыва пластины от поверхности m в кг. Адгезия исследуемого раствора рассчитывалась по формуле (4):

$$W = \frac{m}{S \cdot 10^{-4}}, \tag{4}$$

где S – площадь пластины динамометра, см^2.

Например, для 2% раствора полученное значение смещения при отрыве составляет Δ = 0,096 мм, что соответствует силе отрыва m = 1,29 кг. Тогда адгезия 2% раствора составит по формуле (4):

$$W = \frac{1,29}{(401,94 \cdot 10^{-4})} = 32,1\ кг/м^2.$$

Для проверки выдвигаемых предположений об эффективности применения данного раствора была собрана модель автомобильной дороги угольного разреза (рис. 1) в 2 вариантах: горизонтальном и наклонном, – для проверки текучести состава в случае применения на наклонных участках дорог. Модель создавалась в масштабе 1:40 с применением технологии изготовления аналогов горных пород, основанной на смешении кварцевой пыли, эпоксидной смолы и ПЭПА (полиэтиленполиамин) и дальнейшей укладке и утрамбовке.

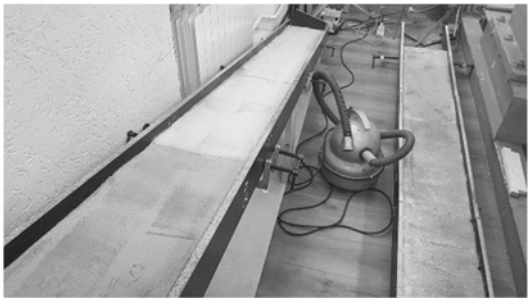


Рис. 1. Модели автомобильных дорог

В ходе экспериментов, связанных с прогоном игрушечной модели автосамосвала, исследовались адгезионные свойства испытываемых растворов, изучалась способность каждого раствора закреплять пылящие поверхности различного дисперсного и химического состава (кварцевая и угольная пыль). Также исследовалась способность растворов защищать поверхность от пылевыноса (рис. 1).

Параллельно производилась аэротехногенная съемка для контроля пылевыноса и оценки эффективности пылеподавления разработанными составами.

В результате проведенных экспериментов раствор с концентрацией закрепляющих компонентов, равной 2%, был признан наиболее эффективным и экономически выгодным.

Отдельно следует отметить, что предлагаемый пылеподавляющий раствор не только эффективен в применении, но и является экономически выгодным, поскольку для производства требует незначительных затрат. Также предлагаемый раствор представляет собой экологически чистый и безопасный аналог применяемых на некоторых производствах ПАВ, так как некоторые поверхностно-активные вещества при разложении, испарении или растворении способны выделять токсичные газы, а также загрязнять почву и грунтовые воды в силу химической природы своего происхождения [1], в отличие от разработанного раствора. Таким образом, устраняется избыточное воздействие не только на чистоту атмосферного воздуха, воды и почвы, но и на здоровье работников предприятия.

ЛИТЕРАТУРА

1. Баркан М.Ш. К проблеме распыления воды и пылеподавляющих растворов / М.Ш. Баркан, С.В. Ковшов, Ф.А. Орлов // Problem of modern science and education, Т. 11 (41), 2015. – С. 100-103.

2. Горшков Е.В., Насими М.Х. Исследование загрязнения городской воздушной среды мелкодисперсной пылью природного происхождения // Инженерный вестник Дона. – 2016. – № 4.

3. Калмыков А. В. Борьба с пылью и шумом на обогатительных фабриках. – М.: Недра, 1984. – 222 с.

4. Шаров Н.А. Методы пылеподавления на угольных разрезах крайнего севера / Н.А. Шаров, Р.Р. Дудаев, Д.И. Крищук, М.Ю. Лискова // Вестник ПНИПУ. Геология. Нефтегазовое и горное дело, № 2, 2019. – С. 184-200.

КОНТРОЛЬ УРОВНЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ СНЕЖНОГО ПОКРОВА ПАУ НА ТЕРРИТОРИИ Г. ИВАНОВО

И.А. Искинова, *В.В. Воронина, Н.А. Кобелева, А.А. Гущин, Т.В. Извекова*
Ивановский Государственный химико-технологический университет

В настоящее время в окружающую среду попадает большое количество различных химических загрязнителей, представляющие опасность для здоровья населения и состояния природных элементов городских систем.

К одним из приоритетных загрязнителей ОС относятся полициклические ароматические углеводороды (ПАУ). ПАУ – это группа органических соединений, содержащих два и более конденсированных ароматических кольца. ПАУ привлекают к себе особое внимание тем, что они способны негативно влиять на живые организмы, а именно оказывать токсическое, канцерогенное, мутагенное и тератогенное воздействие. После попадания в ОС, ПАУ распространяются повсеместно, характеризуются высокой устойчивостью и способностью к биоаккумуляции в различных объектах окружающей среды. Таким образом, актуальной задачей становится мониторинг содержания и оценка путей миграции ПАУ в объектах окружающей среды [1].

Целью данной работы являлась оценка уровня загрязнения ПАУ в снежном покрове на территории г. Иваново Ивановской области.

Анализ содержания ПАУ в объекте исследования осуществлялся в 2017-2018 г. Для установления фонового уровня загрязнения были отобраны пробы снежного покрова вне зоны антропогенного влияния, на достаточном удалении от промышленных объектов (с наветренной стороны), не менее чем в 500 м от автодорог в загородной зоне.

Отбор проб снежного покрова на рассматриваемых участках осуществляли в соответствии с требованиями [2]. Согласно рекомендациям, пробы снега отбирали в период с января по март включительно (т.е. в то время, когда установился устойчивый снежный покров). Пробу отбирали методом «конверта» с использованием снегомерной рейки.

Содержание ПАУ в подготовленных пробах определяли с использованием высокоэффективной жидкостной хроматографии (жидкостной хроматограф «Люмахром» с флуорометрическим детектором) [3].

В целом уровень загрязнения варьируется в диапазоне от 1,3 до 587,7 нг/л в 2017 г, и от 0,2 до 233,8 нг/л в 2018 году.

Согласно данным видно, что суммарное содержание ПАУ в снежном покрове составило 1835 нг/л в 2017 году и 989,6 нг/л – в 2018. Значение концентраций 2018 года практически в два раза меньше концентраций предыдущего года. Отметим, что основной вклад в суммарное загрязнение снежного покрова вносят ПАУ с высокой молекулярной массой (HMW) (≥ 4 ароматических кольца), содержание которых составляет ~ 70 % от общего содержания ПАУ.

Минимальные значения для средних концентраций характерны для хризена (1,3 нг/л и 0,2 нг/л), дибенз[a,h]антрацена (4,9 нг/л и 0,8 нг/л) и бенз[a]пирена (6,3 нг/л и 3,7 нг/л) в 2017 и 2018 годах, соответственно

Максимальные значения в 2017 году для средних концентраций характерны для флуорантена (587,7 нг/л), фенатрена (394 нг/л) и пирена (267,3 нг/л), в 2018 – для пирена (233,8 нг/л), бенз[k]флуорантена (208 нг/л) и флуорена (167,3 нг/л).

По результатам исследования наблюдается, что средний уровень содержания ПАУ в 8 раз превышает фоновый уровень в 2017 году и в 4,5 раза в 2018 году, поэтому можно сделать заключение о том, что одним из основных каналов их поступления являются локальные источники выброса.

Концентрации нафталина, бенз[b]флуорантена, а также, вероятно, пирена, бенз[a]пирена и дибенз[a,h]антрацена формируются за счет преимущественно процессов трансграничного переноса, а флуорен, фенантрен, антрацен, флуорантен, хризен, бенз[k]флуорантен и бенз[g,h,i]перилен в основном связаны с локальными источниками.

Для выявления локальных источников поступления загрязнителей была построена карта пространственного распределения суммарного содержания ПАУ в снежном покрове по территории города (рис. 1). Карта распределения была построена по 51 точке с использованием программных продуктов ArcGis и Google Maps, используя метод геостатистической интерполяции кригинга. Минимальным концентрациям ПАУ в снежном покрове соответствуют синие области и изолинии, а максимальным – красные, значения которых варьируются от 5395 нг/л (парк имени Степанова) до 123 нг/л (ул. Некрасова).

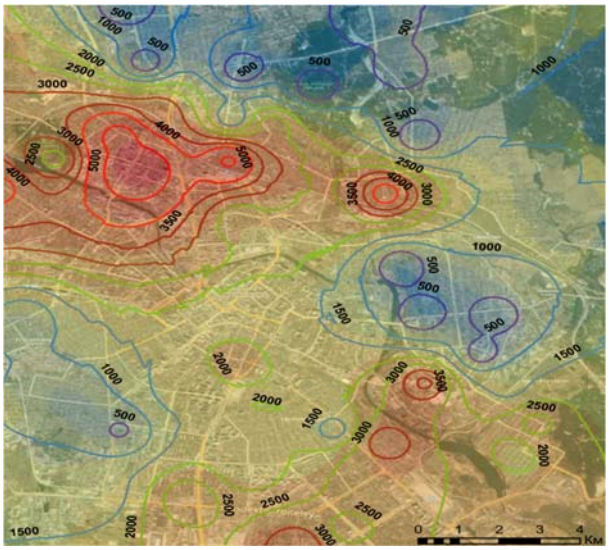


Рис. 1. Пространственное распределение суммарного содержания ПАУ
в снежном покрове (нг/л) на территории г. Иваново

Результаты анализа пространственного распределения позволили установить, что наибольшие уровни связаны с расположением сети автомобильных дорог, а также наиболее крупных промышленных объектов, которые, вероятно, и являются основными источниками поступления ПАУ в атмосферный воздух. Максимальные уровни наблюдаются в юго-восточной части, где основной вклад предположительно помимо автотранспорта вносит ТЭЦ, расположенная в 3 км от юго-восточной границы города.

Также в центральной части, где наблюдается большое скопление автотранспорта, и расположены железнодорожный вокзал и железнодорожное сортировочное депо. Максимум в северо-западной части объясняется наличием в данном районе окружной автомобильной дороги города и расположением промышленных предприятий.

Работа выполнена в рамках Государственного задания (проектная часть) № 3.1371.2017/4.6. Авторы благодарят РФФИ за финансовую поддержку исследований (грант № 18-08-01239).

ЛИТЕРАТУРА

1. Ровинский, Ф.Я. Фоновый мониторинг полициклических ароматических углеводородов / Ф.Я. Ровинский, Т.А. Теплицкая, Т.Д. Алексеева. – Л.: Гидрометеоиздат, 1988. – 224 с.

2. Wang, C. Pollution levels and risks of polycyclic aromatic hydrocarbons in surface sediments from two typical estuaries in China / C. Wang, X. Zou, Y. Li, Y. Zhao, Q. Song, W. Yu // Marine Pollution Bulletin. – 2017. – Vol. 114. – P. 917 – 925.

3. Stogiannidis, E. Source characterization of polycyclic aromatic hydrocarbons by using their molecular indices: an overview of possibilities / E. Stogiannidis, R. Laane // Reviews of environmental contamination and toxicology: Springer. – 2015. – P. 49-133.

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО СНИЖЕНИЮ ВЫБРОСОВ УГЛЕДОБЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ С ЦЕЛЬЮ УМЕНЬШЕНИЯ УРОВНЯ ЗАБОЛЕВАЕМОСТИ В КЕМЕРОВСКОЙ ОБЛАСТИ

***А.Н. Коваленко**, Д.С. Корельский*
ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет»

В Кемеровской области сосредоточено около одной трети основных производственных фондов Западной Сибири. Ведущая роль принадлежит топливно-энергетическому комплексу, а его основа – угольная промышленность. За десятилетия развития угольной отрасли Кемеровской области произошло сильное изменение границы между промышленными объектами угледобычи, а также селитебными зонами за счет их расширения. Это привело к многочисленным случаям попадания жилых территорий в санитарно-защитные зоны предприятий, что определяет социально-гигиенические проблемы и отражается на состоянии здоровья населения. Также было проанализировано, что в последние годы сокращается продолжительность жизни местных жителей области, которая меньше на 2-3 года, чем в среднем по России и соседних регионах, что пропорционально росту объемов добычи угля и еще большему ухудшению экологической обстановки.

На сегодняшний день угольные предприятия – основные налогоплательщики Кемеровской области. Благодаря шахтам и разрезам создаются и сохраняются рабочие места, поэтому сократить выбросы угольных промпредприятий путем закрытия опасных производств не представляется возможным, что указывает на необходимость снижения негативного воздействия на окружающую среду другими способами.

Основными методами исследования являлись: системный анализ и изучение фундаментальных научных работ российских ученых по данной тематике, а также сопоставление различных документов, литературных источников, картографического материала; исследовательская беседа и консультация по теоретическим аспектам со специалистами-разработчиками санитарно-защитных зон; сбор данных о динамике выбросов, динамике заболеваемости, и оценка результатов. экспериментальные и аналитические работы в полевых и лабораторных условиях с использованием современной научной приборной базы. Во время краткосрочных экспедиционных поездок выполнялись картографические и визуальные наблюдения, фотографирование объектов, отбор проб пыли. Всю научную приборную базу для проведения лабораторных исследований проб угольной пыли предоставила аккредитованная испытательная лаборатория ООО «Центр Экологических Ремонтно-Строительных и Противопожарных мероприятия «Сидиус», № РОСС RU.0001.21АУ12) г. Кемерово, а также лаборатория моделирования экологической обстановки Санкт-Петербургского горного университета.

Исследование проводилось на предприятиях, имеющих одни из наиболее высоких объемов добычи в Кузбассе, а также расположенные в различных районах Кемеровской области: ООО «Участок Коксовый»; «Ерунаковский угольный разрез»; ОАО «УК «Кузбассразрезуголь» «Кедровский угольный разрез».

Изучив опыт проектирования и эксплуатации данных предприятий, были выделены следующие проблемы:

1. Значительная часть населения области проживает на территориях Санитарно-защитных зон различных угледобывающих разрезов.
2. Проектирование Санитарно-защитной зоны ведется без учета оценки медицинских статистических данных и районирования территорий.
3. Не производится определение территорий с опасными для населения уровнями загрязнения окружающей среды, на основании которых должны проводиться защитные мероприятия.

В первую очередь негативное воздействие оказывается на атмосферный воздух: в процессе буровзрывных и добывающих работ, выветривания отвалов, движения технологического транспорта по автодорогам и т.д. Природа источников выбросов на предприятиях по добыче угля многообразна, что указывает на необходимость в применении комплекса защитных мероприятий [2].

Так как здоровье населения формируется под влиянием совокупности факторов среды, а добыча угля является основой экономики в Кемеровской области, в результате этого отмечается высокий уровень заболеваемости и повышен риск смертности.

В работе была рассмотрена и сопоставлена динамика заболеваемости населения, проживающего в селе Большая Талда (непосредственно вблизи которого находится предприятие «Талдинский угольный разрез» - один из самых крупных разрезов Кузбасса) с районом и областью. Показатель заболеваемости болезнями органов дыхания у жителей села стабильно превышает показатель района в 2 раза и показатель области в 1,5 раза. Показатели заболеваемости злокачественными новообразованиями в селе Большая Талда и Прокопьевском районе также имели тенденцию к росту. То есть можно утверждать, что выбросы данного предприятия оказывают значительное влияние на экологическую обстановку села Большая Талда и Прокопьевского района, и в следствии на здоровье местных жителей. В программе УПРЗА "Эколог" была построена карта распространения выбросов от основных производственных комплексов предприятия «Талдинский угольный разрез», где отчетливо видно, что населенный пункт, выделенный красным контуром, полностью находится в ареале загрязнения (рис. 1).

В ходе исследования было выявлено, что наибольший процент выбросов в атмосферу приходится на угольную и породную пыль в результате движения транспорта по технологическим дорогам разрезов, что обуславливается распространенностью у местного населения заболеваний органов дыхания. Для снижения негативного воздействия на здоровье необходимо активно использовать средства пылеподавления [4].

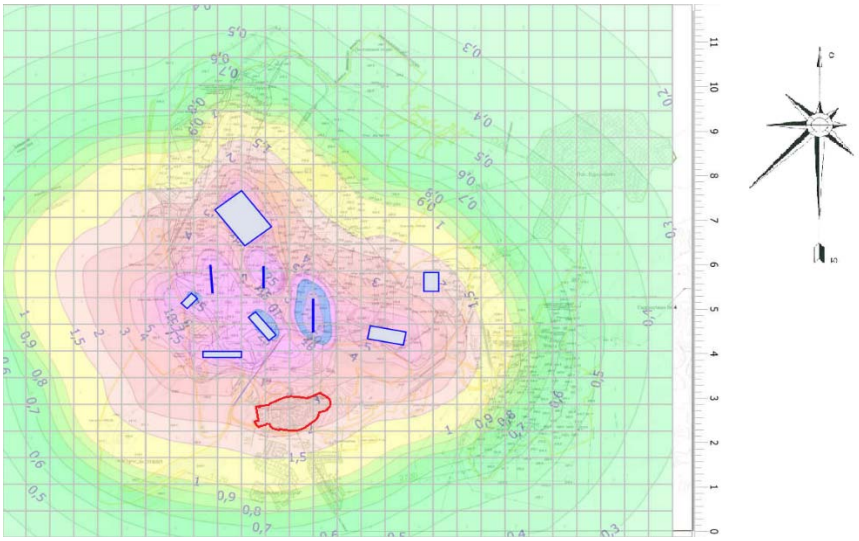


Рис. 1. Распространение выбросов от предприятия «Талдинский угольный разрез»

Известно, что на эффективность пылеподавления влияет смачиваемость угольной пыли [1]. При этом в лабораторных условиях она может быть оценена различными методами, в данной работе – по показателю относительной влагоемкости. Проведя исследование в лаборатории, было выявлено, что орошение угольной пыли водой неэффективно, так как показатель влагоемкости составил 35,2%, что нерационально, так как ухудшается качество угля из-за повышенной обводненности.

В связи с нерациональностью использования воды, как природного источника пылеподавления, появилась необходимость в поиске иного средства снижения выбросов в атмосферный воздух. Проанализировав некоторые источники литературы, мы сделали вывод о том, что необходимо использовать химические растворы ПАВ (поверхностно активные вещества). При этом величина поверхностного натяжения зависит в первую очередь от концентрации применяемого раствора.

При увеличении концентрации в воде одних веществ величина поверхностного натяжения снижается, а при использовании других – возрастает. В качестве доказательства этого свойства, приводится исследование, которое было проведено Ерзиным А.Х [1]. Рассматриваемый параметр поверхностного натяжения снижается в наибольшей степени при увеличении концентрации ПАВ с 0,025 % до 0,05 %. В связи с этим применение при орошении раствора с концентрацией в указанном интервале оптимальна, так как большая концентрация ПАВ экономически не выгодна, а меньшая – неэффективна для пылеподавления. Также следует отметить, что рассматриваемые виды ПАВ отрицательно не влияют на окружающую среду и организм человека [3]:

1. $Na_5P_3O_{10}$ (Триполифосфат натрия безвреден для человека, так как нетоксичен);
2. NaCl (никаких признаков системной токсичности);
3. Эльфор-М (имеет хорошую биоразлагаемость, но сложный состав и более высокую стоимость).

Таким образом, повышенный уровень заболеваемости населения, а именно распространение таких заболеваний как: астма, астматический статус, хронический бронхит, эмфизема, которые приходятся на 31,3% человек, является основанием для пересмотра методики проектирования Санитарно-защитных зон предприятий и разработки комплекса защитных мероприятий в том числе и орошения технологических дорог разрезов с применением растворов ПАВ в концентрации от 0.025% до 0.05%.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Ерзин А.Х. // Диссертационная работа «Повышение эффективности пылеподавления при подземной разработке угольных месторождений с использованием поверхностно-активных веществ». – СПб.: 2015. – С.148.
2. Коваленко А.Н. Применение Поверхностно-активных веществ на угледобывающих предприятиях Кемеровской области для снижения аварийности и выбросов в окружающую среду // Сборник тезисов работ участников XIII Всероссийского молодежного форума по проблемам культурного наследия, экологии и безопасности жизнедеятельности «ЮНЭКО-2015». – НС «ИНТЕГРАЦИЯ», Государственная Дума ФС РФ, Минобрнауки России, РОСКОСМОС, Минтранс России, Минсельхоз России. – М., 2015. – С. 203-204.
3. Плетнев М.Ю. // Поверхностно-активные вещества и композиции // М.: Клавель, 2002. – С. 768.
4. Сидоров Р.В., Самохин С.В. // Проект комплексного обеспыливания и пылевзрывозащиты. – Кемерово, 2015. – С. 62.

ВЗАИМОСВЯЗЬ «СОСТАВ-СТРОЕНИЕ-СВОЙСТВА» В ДОПИРОВАННЫХ ЕВРОПИЕМ НАНОЧАСТИЦАХ ДИОКСИДА ОЛОВА

***Д.С. Колоколов**, И.Е. Колесников, М.А. Вознесенский, Н.П. Бобрышева, М.Г. Осмоловский, О.М. Осмоловская*
Санкт-Петербургский государственный университет

Красители, которые широко используются во многих отраслях промышленности, токсичны, канцерогенны, мутагенны и обладают низкой биоразлагаемостью. Они содержатся в сточных водах, поэтому сброс сточных вод в естественные водоемы влияет на баланс водных экосистем, что представляет собой серьезную экологическую проблему нашего времени.

Для очистки сточных вод используют различные физико-химические методы, которые, однако, в ряде случаев дорогостоящи, требуют сложных в эксплуатации установок или дополнительных реагентов. Одним из перспективных решений является фоторазложение красителей до углекислого газа и воды под действием УФ- или видимого света. В качестве фотокатализатора в таких процессах предложено использовать наночастицы широкозонных полупроводников. Считается, что их взаимодействие со светом приводит к генерации дырок в валентной зоне, которые способствуют образованию гидроксильных радикалов и быстрому протеканию процессов деградации красителей. В последнее время большое внимание исследователей направлено на получение фотокатализаторов на основе наночастиц SnO_2. Диоксид олова представляет собой широкозонный полупроводник с толерантной к замещениям структурой типа рутила, что позволяет вводить в состав наночастиц большое количество допантов, значительно изменяющих их функциональные свойства.

В значительном числе работ по данной тематике, как, например, в [1, 2] в качестве источника излучения использован свет УФ диапазона. Однако в [3] упоминается возможность использования более выгодного с экономической точки зрения видимого света в случае наночастиц, допированных лантаном. Также стоит отметить отсутствие ясной позиции по поводу факторов, влияющих на фотокаталитические свойства наночастиц.

Среди большого числа редкоземельных элементов отдельно стоит европий, особенностью которого является наличие характеристичного пика фотолюминесценции, положение которого не зависит от матрицы. Именно этим объясняется его широкое применение в качестве допанта для получения люминофоров различной природы, и большое количество информации о его фотолюминесцентных характеристиках.

Наночастицы сферической формы получали методом соосаждения с использованием в качестве исходных реагентов хлоридов соответствующих ионов и раствор аммиака, для получения наночастиц кубической формы использовали метод гидротермального синтеза. Структура и состав полученных образцов определялись с помощью РФА, РФЭС, Рамановской спектроскопии, ПЭМ, БЭТ, была измерена удельная поверхность.

Одной из важных задач работы было получение допированных наночастиц диоксида олова различной формы. В связи с этим, было необходимо решить вопрос разработки и оптимизации подходов к регулированию морфологии (размера и формы) наночастиц диоксида олова. При получении SnO_2 методом соосаждения продуктами являются наночастицы сферической формы. Проведенные нами исследования показали возможность их самоорганизации и срастания в гидротермальных условиях с получением наностержней с различным соотношением осей. Были определены оптимальные значения pH, температуры и длительности процесса, приводящие к значительному изменению морфологии.

Далее было изучено влияние концентрации допанта и формы допированных наночастиц на их функциональные (фотокаталитические и оптические) свойства. Для всех описанных ниже образцов надосадочные и промывные жидкости анализировались на содержание европия фотометрическим методом с помощью арзеназо III, все пробы были отрицательны. Этот подход был использован для подтверждения полного вхождения допанта в структуру диоксида олова. В рассмотрение были включены сферические наночастицы с концентрацией Eu от 1 до 25 молярных процентов, полученные методом соосаждения, и образцы 5, 15 и 25 мол.% Eu после гидротермальной обработки.

По данным ПЭМ и БЭТ было установлено, что термообработка приводит к формированию кубических наночастиц с размерами не более 10 нм, что указало на изменение процесса срастания допированных наночастиц в гидротермальных условиях по сравнению с реперным порошком.

Было показано, что полученные образцы могут работать в качестве фотокатализаторов разложения модельного красителя метиленового голубого как в УФ, так и в видимом диапазоне, при этом максимальный и минимальный процент деградации, соответственно, наблюдался для образцов с 15 мол.% Eu.

Полученные данные находятся в хорошем соответствии с фотолюминесцентные свойства полученных наночастиц. Было показано, что при 15 мол.% Eu и для сферических, и для кубических наночастиц зафиксированы минимальные времена жизни возбужденного состояния, связанные с максимальной вероятностью безизлучательных переходов, которые, как было установлено, и определяют возможность использования материала как фотокатализатора в УФ излучении. Кроме того, было обнаружено отсутствие концентрационного тушения люминесценции в случае сферических наночастиц и ее наличие для кубических. Нами была выдвинута гипотеза о том, что данный факт связан с различным расположением атомов допанта в решетке диоксида олова.

Для проверки данного предположения на основании экспериментально определенных методом Ритвельда параметров элементарной ячейки образцов проводились квантово-химические расчеты при помощи программного пакета Abinit, основанного на методе DFT. Были рассчитаны энергии суперячейки (8 элементарных ячеек) для всех возможных неэквивалентных положений атомов допанта в кристаллической решетке диоксида олова. Наиболее энергетически выгодным (предпочтительным) положениям замещения отвечала минимальная энергия. Было показано, что в случае 5 и 15 мол.% Eu наиболее выгодны одни и те же положения замещения для сферических и кубических частиц, а для 25 мол.% в кубических частицах атомы европия расположены рядом друг с другом, что и вызывает тушение люминесценции.

Таким образом, были получены и охарактеризованы концентрационные серии допированных европием наночастиц диоксида олова сферической и кубической формы. Были изучены фотолюминесцентные и фотокаталитические свойства полученных частиц. При помощи квантово-химических расчетов были определены различия расположения атомов допанта в структуре, что объяснило разницу в функциональных свойствах и тушении интенсивности фотолюминесценции.

Работа выполнена с использованием оборудования научного парка СПбГУ, в том числе ресурсных центров: «Инновационные технологии композитных наноматериалов», «Физические методы исследования поверхности», «Оптические и лазерные методы исследования», «Методы анализа состава вещества», «Рентгенодифракционные методы исследования».

ЛИТЕРАТУРА

1. Kumar Tammina S., Kumar Mandal B., Kanth Kadiyala N. Photocatalytic degradation of methylene blue dye by nonconventional synthesized SnO2 nanoparticles. 2018.

2. Kim S.P., Choi M.Y., Choi H.C. Photocatalytic activity of SnO2 nanoparticles in methylene blue degradation // Mater. Res. Bull. 2016. Vol. 74. P. 85–89.

3. Shahab Arif H. et al. Effect of La on structural and photocatalytic activity of SnO_2 nanoparticles under UV irradiation. 2017.

КОСМИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ РАЙОНА ОЗЕРА БАЙКАЛ

А.П. Константинова

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» (НИУ МАИ)

Изучается вопрос формирования трассы космического аппарата, заданной требованиями мониторинга поверхности Земли из космоса. На примере космического аппарата «Молния» выполнена отладка программного обеспечения и показана возможность расположения петли трассы над озером Байкал для экологического мониторинга. Предложены другие формы трасс для практического применения.

Период обращения космического аппарата (КА) зависит от высоты орбиты. С математической точки зрения важен факт увеличения периода обращения КА с возрастанием высоты орбиты. В частности, период обращения КА по орбите, равный T_{24}=24 часам, то есть периоду обращения Земли вокруг своей оси, будет на геостационарной орбите (ГСО). Если КА находится ниже ГСО, то он обгоняет вращающуюся Землю в процессе своего орбитального движения, а если выше – отстаёт от вращения Земли. На этом свойстве баллистики была создана система космических аппаратов «Молния» с орбитами, трассы которых описывают петли на поверхности Земли. Задача исследования заключается в детальном изучении свойств петли трассы для достижения цели работы, то есть для формирования рациональной или оптимальной орбиты для наблюдения за конкретным районом поверхности Земли из космоса. В частности, требуется сформировать орбиту КА для наилучшего наблюдения за районом озера Байкал [1]. Для решения сформулированной задачи необходимо было создать математическую модель движения КА относительно поверхности вращающейся Земли. Для первичной оценки и иллюстрации положительного эффекта от предполагаемого результата нет смысла пользоваться сложными баллистическими программами, но вполне достаточно изучить невозмущённое движение КА по эллиптической орбите [2]. Задача решалась аналитически с привлечением компьютера и созданием программ на языке ПАСКАЛЬ в несколько этапов [3–5]. Для контроля правильности полученных промежуточных результатов в процессе решения задачи за основу были приняты следующие исходные данные и характеристики известной орбиты «Молния» со следующими параметрами: наклонение i=62,8^0; большая полуось a=26561 км; эксцентриситет ε=0,725; высота перигея h_n=933 км; высота апогея h_a=39448 км; радиус Земли R_3=6371,210 км; гравитационный параметр Земли $\mu_3=GM_3$=3.986004414м^3/с^2 угловая скорость вращения Земли $\omega_3 = 7,2921158553 \cdot 10^{-5}$ рад/с. Сначала было проведено описание эллиптической траектории: удаление апогея от центра Земли $r_a = R_3 + h_a$, удаление перигея от центра Земли $r_n = R_3 + h_n$, фокальный параметр

$p = r_a(1-\varepsilon)$, уравнение эллипса в полярных координатах $(r;\varphi)$ записывается в виде $r = r(\varphi) = \dfrac{p}{1+\varepsilon\cdot\cos\varphi}$. Для моделирования движения КА по эллиптической орбите в полярных координатах $(r;\varphi)$ достаточно изменять полярный угол φ от 0^0 до 360^0 и вычислять полярное удаление r. Шаг изменения полярного угла удобно выбрать постоянным, а для повышения точности расчётов уменьшать его. При отладке программы этот шаг был 10^0, затем был уменьшен до 1^0, но табличный редактор EXCEL позволят работать с шагом $0{,}01^0$, чтобы строить графики по 36000 точкам. Учитывая начальные полярные координаты $(r;\varphi)$ и переход от них к плоскую декартову прямоугольную систему $(x;y)$, а затем в трёхмерную $(x;y;z)$, получаем общие формулы преобразования полярных координат в координаты $(x_1;y_1;z_1)$ повёрнутой вокруг оси OY на угол i системы $\begin{cases} x_1 = r\cos\varphi\cos i & ; \\ y_1 = r\sin\varphi & ; \\ z_1 = -r\cos\varphi\sin i & . \end{cases}$

Учёт времени движения КА по эллиптической орбите выполнен на основе второго закона Кеплера (закона площадей). При орбитальном движении радиус-вектор КА за равные промежутки времени описывает равные площади. Сначала в программе была вычислена площадь эллипса орбиты КА по формуле $S_{ell} = \pi ab = \pi a^2\sqrt{1-e^2}$, так как малая полуось b эллипса выражается через его большую полуось a и эксцентриситет ε по формуле $b = a\sqrt{1-e^2}$. Потом был вычислен период обращения КА по эллиптической орбите вокруг Земли по формуле $T = 2\pi\sqrt{\dfrac{a^3}{\mu_3}}$, который был сопоставлен площади эллипса орбиты S_{ell}. Далее шаг изменения времени при движении КА по эллиптической орбите был предположен маленьким, чтобы пренебречь величиной изменения Δr_i удалённости объекта от Земли на участке i орбиты, а также искривлением траектории на этом небольшом участке орбиты. Тогда ометаемую радиус-вектором площадь можно приближённо предполагать равной площади треугольника $S_{\Delta i} = 0{,}5r_i^2\sin\varphi_i$. Продолжительность движения КА по этому малому участку орбиты можно приближённо вычислить с помощью второго закона Кеплера (закона площадей) по формуле $\Delta t_i = \dfrac{S_{\Delta i}}{S_{ell}}T$. Общая продолжительность движения КА от точки перигея до текущего положения на эллиптической орбите получается суммированием продолжительностей всех предыдущих элементарных участков $t = \sum\Delta t_i = \sum\dfrac{S_{\Delta i}}{S_{ell}}T$. Подставляем это время в формулу для географической долготы $\begin{cases} \varphi_g = \varphi_{g0} = arctg\dfrac{z_1}{\sqrt{x_1^2+y_1^2}} & ; \\ \lambda_g = \lambda_{g0} - \omega_3 t = arctg\dfrac{y_1}{x_1} - \omega_3\sum\dfrac{S_{\Delta i}}{S_{ell}}T & . \end{cases}$

Решение задачи построения трассы КА реализовано на компьютере с помощью языка программирования ПАСКАЛЬ. На рис. 1 показан реальный вариант трассы КА «Молния» с учётом вращения Земли.

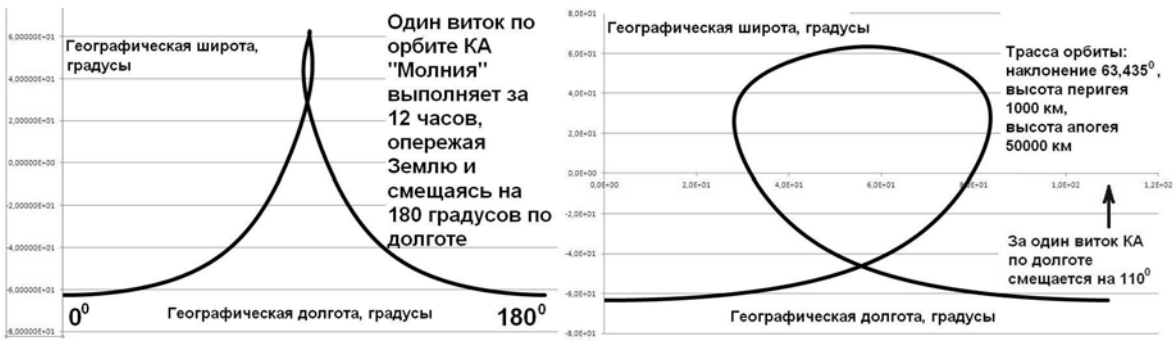


Рис. 1. Примеры построения двух трасс орбит КА

Разработанный методический материал позволяет исследовать любые эллиптические орбиты с позиции анализа трасс космических аппаратов. Например, на рис. 1 показана трасса КА, выведенного на орбиту с наклонением $i=63{,}435^0$, высотой перигея $h_n=1000$ км, высотой апогея $h_a=50000$ км. За один виток по орбите КА смещается по географической широте приблизительно на 110^0, то есть петля трассы будет вращаться по долготе. Полученные результаты позволяют сформулировать основной вывод. Подбирая параметры орбиты, можно сформировать трассу КА, наиболее благоприятную для наблюдения заданного района поверхности Земли. Для экомониторинга озера Байкал петля трассы должна находиться над водоёмом. Интересен факт относительного движения КА вдоль земной параллели при сильно вытянутых высоких эллиптических орбитах с эксцентриситетом, близким к единице. Такие орбиты требуют отдельного изучения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Меньшиков В.А., Перминов А.Н., Урлич Ю.М. Глобальные проблемы человечества и космос. – М.: «Изд. МАКД», 2010. – 570 с.

2. Акимов А., Гриценко А., Степанов А., Чазов В. Особенности построения и эксплуатации орбитальных группировок систем спутниковой связи / Спутниковая связь и вещание, 2016. – С. 72-87.

3. Константинова А.П. Получение новой информации об экологии Байкала с помощью старых орбит "Молния" / Материалы XXX Международной конференции "Современные информационные технологии в образовании 2019". Часть 2. Ред. группа: Алексеева О.С. и др. - Троицк-Москва, 25 июня 2019 г. - Изд-во "Тровант", 2019. - 167 с. - С. 113-115. - Эл. ресурс: https://ito2019.bytic.ru/uploads/files/compilation2019.pdf/.

4. Лебедев В.В., Иванов В.Л., Меньшиков В.А., Пчелинцев Л.А. Космический мусор. В 3-х томах. Том. 1. - М.: Патриот, 1996. - 360 с.

5. Константинова А.П. Использование геосинхронной петли трассы орбиты «Молния» для экомониторинга Байкала / П99 V Музруковские чтения: Материалы Международной научно-практической конференции, 3-4 октября 2019 г. ГБПОУ СПТ им. Б.Г. Музрукова, отв. за выпуск И.В. Столяров. – Саров: Интерконтакт, 2019. – 271 с. – С. 82-84.

ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОГО РАБОЧЕГО ТЕЛА ИНТЕГРИРУЕМОЙ В СХЕМУ ТЕПЛОФИКАЦИИ ТЕПЛОНАСОСНОЙ УСТАНОВКИ И ЕЕ ЭФФЕКТИВНОСТЬ

***И.Д. Налетов**, К.С. Калмыков, И.Д. Аникина*
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

Введение. В условиях энергоемких производств и развивающихся технологий все более важным становится вопрос энергетической эффективности, что выражается в снижении удельных затрат условного топлива на выработку электроэнергии и отпуск теплоты [1], применительно к ТЭЦ. Использование теплонасосных установок (ТНУ) для утилизации недоиспользованной (сбросной) теплоты с последующим ее возвращением в цикл – один из вариантов возможного решения проблемы. ТНУ на популярны в РФ из-за дешевизны энергоресурсов и «консервативных» подходов в теплоснабжении потребителей. Несмотря на перспективы и плюсы применения ТНУ в теплофикационном цикле, возникает вопрос ее влияния на режимы работы оборудования и ТЭЦ.

Цель работы – произвести анализ влияния включения парокомпрессионной ТНУ с регенеративным теплообменником (РТО) и переохладителем (ПО) в схему подогрева обратной сетевой воды (ОСВ) теплосети на работу энергоблоков (ЭБ) с турбинами ПТ-80 и Т-250.

Задачи – для достижения поставленной цели необходимо:

1. предложить схемные решения включения ТНУ для подогрева ОСВ;
2. создать имитационные модели реальных ЭБ с турбинами ПТ-80 и Т-250 без и с ТНУ;
3. сравнить эффективность работы ТНУ в схемах подогрева ОСВ паротурбинных ЭБ с турбинами ПТ-80 и Т-250 для различных рабочих тел (хладагентов);
4. произвести анализ влияния включения ТНУ на экономичность работы паротурбинных установок (ПТУ).

Анализ влияния ТНУ на режимы работы ТЭЦ выполнялся посредством реализации методов имитационного моделирования в САПР «United Cycle» (Россия). На примере тепловых схем ЭБ с ПТУ ПТ-80 и Т-250 рассматривается использование ТНУ в системе теплофикации и ее влияние на режимы работы ЭБ и ТЭЦ.

Для имитационного математического моделирования ЭБ принимаются исходные данные заводов-производителей оборудования. Расчетный режим работы, при котором происходит включение ТНУ и сравнение показателей – зимний с малыми отопительными нагрузками [2].

Источник низкопотенциальной теплоты (ИНТ) для ТНУ – охлаждающая вода на выходе из конденсатора ПТУ. Схема включения ТНУ к трубопроводу подачи ОСВ до сетевых подогревателей ЭБ (рис. 1) является оптимальной так как подходит как для закрытой, так и для открытой систем теплоснабжения [3].

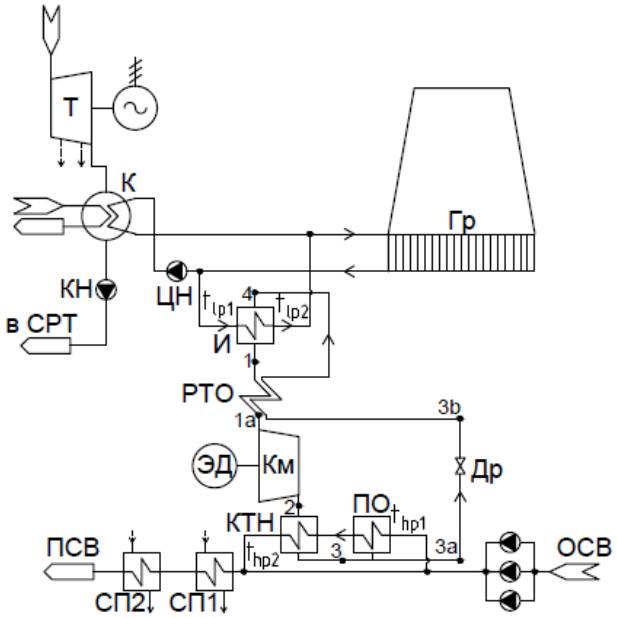


Рис. 1. Схема включения ТНУ с РТО и ПО для подогрева ОСВ

Путь реализации теплоты от ТНУ необходимо определять из актуальности для конкретной ТЭЦ в реальных условиях. Для моделирования и расчетов принимаем использование теплоты от ТНУ для увеличения отпуска теплоты от ТЭЦ (суммарная электрическая нагрузка и суммарный расход топлива неизменны) [4].

Популярный фреон R12 (группа опасности «А») из-за своей озоноопасности теряет массовость и повсеместно заменяется, в большинстве случаев, озонобезопасным хладоном R134a («С»). Хладон R22 принимаем для рассмотрения промежуточной группы опасности («В»).

Коэффициент преобразования теплоты (КПЭ):

$$\mu = \frac{\left(0.98\frac{273+t_{env}}{273+t_к}-1\right)h_1+h_{2a}-h_3}{h_{2a}-h_1}, \quad (1).$$

где h_1, h_{2a}, h_3 – энтальпии в соответствующих точках схемы (рис. 1); t_{env} – температура окружающей среды, °С; $t_к$ – температура конденсации хладагента, °С.

Целесообразно сравнивать эффективность работы ТНУ на различных хладагентах по КПЭ (формула 1), характеризующему процесс теплопередачи ТНУ от ИНТ к ОСВ (потребителю) и по величине СН ТНУ – мощности компрессора (формула 2).

Мощность компрессора ТНУ, МВт:

$$N_К = \frac{Q_{ТНУ}}{\eta_м \cdot \eta_э} \cdot \frac{h_{2a}-h_1}{\left(0.98\frac{273+t_{env}}{273+t_к}-1\right)h_1+h_{2a}-h_3} = \frac{Q_{ТНУ}}{\eta_м \cdot \eta_э} \cdot \frac{1}{\mu}, \quad (2).$$

где $\eta_м$ и $\eta_э$ – механический и электрический КПД электродвигателя компрессора; $Q_{ТНУ}$ – мощность компрессора, МВт.

Таблица 1. КПЭ и мощность компрессора ТНУ при различных хладагентах

Хладагент	ПТ-80		Т-250	
	КПЭ	$N_к$, МВт	КПЭ	$N_к$, МВт
R12	5,35	2,84	5,50	2,76
R22	5,13	2,97	5,21	2,92
R134a	5,28	2,88	5,45	2,79

Анализ табл. 1 показал преимущество ТНУ, работающей на хладагенте R12, однако, ввиду «озоноопасности» данного хладагента дальнейшие расчеты производились для рабочего тела R134a.

Из постоянства мощности ТНУ следует, что удельные затраты топлива на производство т/э постоянны для всех рассматриваемых вариантов хладагентов (R12, R22, R134a) и равны 104,12 г/кВт·ч и 117,91 г/кВт·ч для ЭБ с ПТУ ПТ-80 и Т-250, соответственно. Результаты расчетов удельных расходов топлива представлены в таблице 2 и на графике (рис. 2).

Экономический эффект модернизации системы теплофикации рассчитан из соотношения полученной выручки от работы ТНУ и соответствующего появления затрат э/э на привод компрессора ТНУ по тарифам на энергоносители компании ПАО «ТГК-1» в 2019 году по эксплуатационным характеристикам, без учета капитальных затрат, издержек, рисков и амортизационных отчислений. При включении ТНУ с хладагентом R134a экономия денежных средств в квартал составляет 9,54 и 9,79 млн рублей для энергоблоков с турбинами ПТ-80и Т-250, соответственно.

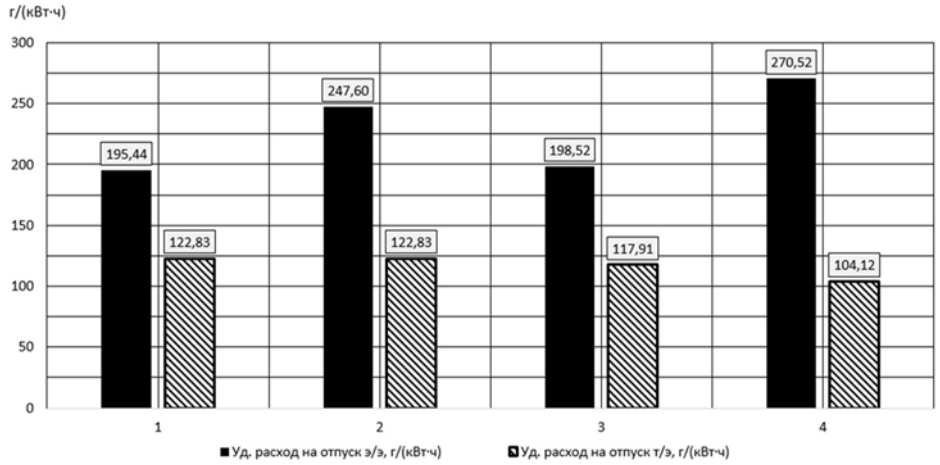


Рис. 2. Удельные расходы топлива на производство электрической и тепловой энергии для ЭБ с ПТУ ПТ-80 и Т-250 без и с включением ТНУ на хладоне R134a в схему подогрева ОСВ (1, 2 – Т-250 и ПТ-80; 3, 4 – Т-250 и ПТ-80 с ТНУ)

Выводы. Анализ влияния включения ТНУ на режим работы реальных ПТУ с турбинами ПТ-80 и Т-250 показал преимущество схемы включения ТНУ большой мощности (отпуск теплоты 13 МВт) с хладагентом R134a. Экономия денежных средств для такой установки может достигать порядка 10 млн рублей в квартал для ЭБ с ПТУ ПТ-80 и Т-250.

ЛИТЕРАТУРА

1. И.Д. Аникина и др. Применение тепловых насосов для повышения энергоэффективности паросиловых ТЭС. «Научно-технические ведомости СПбГПУ». Выпуск 3 (178), с. 56-61 (2013).

2. V.V. Sergeyev and etc. “Heat pumps application in flow-sheet of heat generation at thermal power plants”. *Int. Sc. Journal for Altern. Energy and Ecology* 3-4 (191-192), PP. 39-49 (2016).

3. N.T. Amosov and etc. Use of heat pumps in turbogenerator hydrogen cooling systems at thermal power plant. *Inter. Journal of Hydrogen Energy* 42. PP. 636-642 (2017).

4. I.D. Anikina. Influence of heat pumps inclusion in deaeration scheme of heating network make-up water on the operating modes of the TPP. “EECE-2018”. MATEC Web of Conferences 245, 15004 (2018).

ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОЙ КОМПОНОВКИ ТЕПЛОНАСОСНОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ СИСТЕМЫ ПОДОГРЕВА ОБРАТНОЙ СЕТЕВОЙ ВОДЫ В РЕАЛЬНЫХ ПАРОТУРБИННЫХ ЭНЕРГОБЛОКАХ С ТУРБИНАМИ ПТ-80 И Т-250

***И.Д. Налетов**, К.С. Калмыков, И.Д. Аникина*
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

Введение. Наличие большого количества низкопотенциальных источников теплоты в схеме работы теплоэлектроцентралей (ТЭЦ) может позволить модернизировать производство и повысить коэффициент использования теплоты топлива, что, как следствие, снизит удельные расходы топлива на производство энергии. Такая возможность повышает интерес к технологии тепловых насосов, позволяющей перераспределить потоки энергии.

Цель работы – провести анализ влияния интеграции различных компоновочных решений парокомпрессионных ТНУ в схему подогрева обратной сетевой воды (ОСВ) на работу энергоблоков (ЭБ) с паротурбинными установками (ПТУ) ПТ-80 и Т-250.

Задачи. Для достижения поставленной цели необходимо:

1. смоделировать работу реальных ЭБ с турбинами ПТ-80 и Т-250 без и с ТНУ;
2. проанализировать целесообразность включения различных вариантов схем ТНУ для подогрева ОСВ: простейшей схемы (без регенеративного теплообменника (РТО)), с РТО и с РТО и переохладителем (ПО) для характерного зимнего режима работы с малыми отопительными нагрузками;
3. сравнить эффективность работы ТНУ вышеуказанных компоновок в схемах подогрева ОСВ паротурбинных ЭБ с турбинами ПТ-80 и Т-250;
4. проанализировать влияние включения ТНУ на экономичность работы паротурбинных установок (ПТУ).

Анализ выполнялся посредством создания моделей в САПР «United Cycle» (Россия) тепловых схем ЭБ с ПТУ ПТ-80 и Т-250 для исследования использования ТНУ в системе теплофикации, а именно подогрева ОСВ, и

ее влияние на работу ТЭЦ. Будучи характерным для Северо-Запада России, рассматривался зимний режим с малыми отопительными нагрузками.

В ТНУ делался забор воды из циркуляционных водоводов к конденсатору ПТУ, которая служила источником низкопотенциальной теплоты (ИНТ). ТНУ подключались к трубопроводу подачи обратной сетевой воды тепловой сети до сетевых подогревателей (рис. 1), так как такое схемное решение подходит для ныне используемых открытой и закрытой систем теплоснабжения. Для моделирования и расчетов был выбран вариант использования теплоты от ТНУ (мощность составила 13 МВт) для увеличения суммарного отпуска теплоты от ТЭЦ при сохранении исходных уровней электрической нагрузки и расхода топлива.

Производился расчет следующих парокомпрессионных ТНУ: простейшей схемы (1), с РТО (2), с РТО и ПО (3). В качестве хладагента использовался озонобезопасный фреон R134a. Схемы представлены на рис. 1. Полученные удельные расходы топлива для исходных тепловых схем ЭБ представлены в табл. 1.

Эффективность работы ТНУ целесообразно сравнивать по коэффициенту преобразования энергии (КПЭ), характеризующему процесс передачи теплоты тепловым насосом от ИНТ к подогреваемой среде (потребителю) и по величине собственных нужд ТНУ, зависящей от энергопотребления компрессора ТНУ. Сравнение КПЭ и мощности компрессора приведено в табл. 2. Полученные удельные расходы топлива для тепловых схем ЭБ с включенным ТНУ представлены в табл. 3.

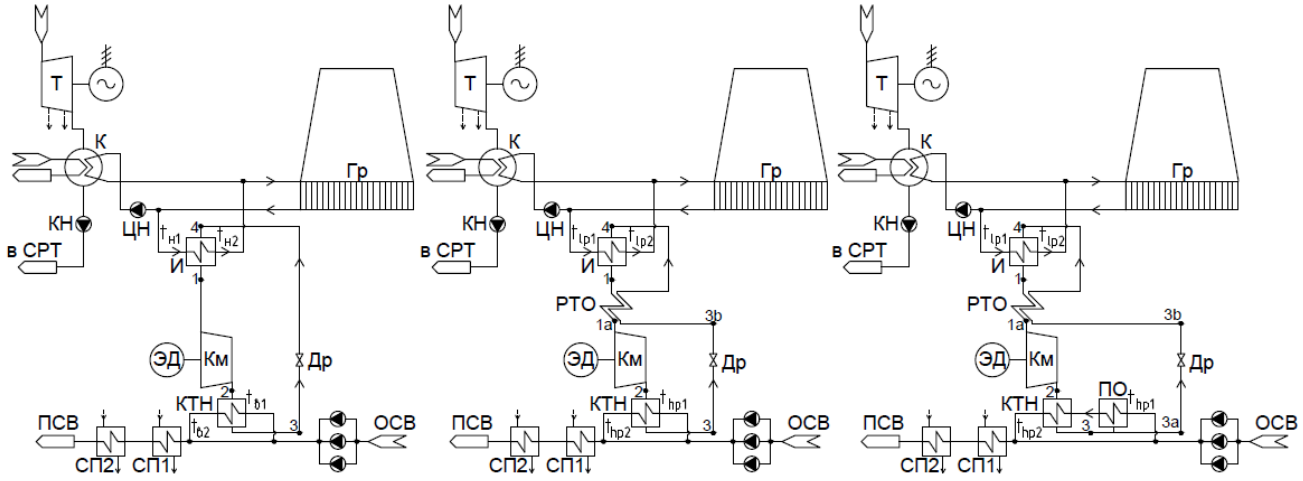


Рис. 1. Схемы включения ТНУ для подогрева ОСВ без РТО, с РТО, с РТО и ПО (Т – турбина, Гр – башенная градирня, К – конденсатор ПТУ, СРТ – система регенеративного подогрева питательной воды ПТУ, СП – подогреватель сетевой воды, ОСВ – обратная сетевая вода, ПСВ – прямая сетевая вода, КН – конденсатный насос, РТО – регенеративный теплообменник ТНУ, ПО – переохладитель ТНУ, И – испаритель, Др – дроссель, КТН – конденсатор ТНУ, Км – компрессор, ЭД – двигатель компрессора)

Таблица 1. Удельные расходы топлива для энергоблоков с турбинами ПТ-80 и Т-250

	Удельный расход на отпуск т/э, г/(кВт·ч)	Удельный расход на отпуск э/э, г/(кВт·ч)
ПТ-80	122,8	247,6
Т-250		195,4

Таблица 2. Значения КПЭ и величины мощности компрессора для ТНУ различных компоновок

ПТ-80						Т-250					
КПЭ			$N_к$, МВт			КПЭ			$N_к$, МВт		
1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
4,15	4,20	5,28	3,66	3,62	2,88	4,11	4,19	5,45	3,70	3,62	2,79

Таблица 3. Удельные расходы топлива для ЭБ с ТНУ различных компоновок

ПТ-80				Т-250			
Удельный расход на отпуск т/э, г/(кВт·ч)	Удельный расход на отпуск э/э, г/(кВт·ч)			Удельный расход на отпуск т/э, г/(кВт·ч)	Удельный расход на отпуск э/э, г/(кВт·ч)		
	1	2	3		1	2	3
104,1	273,7	273,5	270,5	117,9	199,3	199,2	198,5

Экономический эффект модернизации системы теплофикации посредством внедрения ТНУ рассчитывался из соотношения полученной выручки от работы ТНУ, а именно отпуска теплоты и соответствующего увеличения затрат электрической энергии на собственные нужды в связи с установкой

электродвигателя в качестве привода компрессора ТНУ [1]. Для расчетов были взяты данные о тарифах на энергоносители (теплоту и электрическую энергию энергию) компании ПАО «ТГК-1» в 2019 году (формула 1).

Экономический эффект от внедрения ТНУ определяется формулой:

$$ПЭФ = \Delta Q_{Т} \cdot Ц_{Т} - \Delta Э_{СН} \cdot Ц_{СН}, \quad (1)$$

где ΔQ_T – приращение теплоты в результате внедрения ТНУ, МВт; $\Delta Э_{CH}$ – повышение затрат электроэнергии на собственные нужды в результате внедрения ТНУ, МВт; $Ц_{Т}$ – тарифная стоимость тепловой энергии на отпуск, руб/МВт; $Ц_{СН}$ – тарифная стоимость электрической энергии на собственные нужды, руб/ МВт.

В табл. 4 приведены результаты расчетов экономии денежных средств в течение 3 месяцев (1 квартал) при интеграции технологии ТНУ в систему подогрева ОСВ. Приведены по эксплуатационным характеристикам без учета капитальных затрат, а также издержек и амортизации денежных средств.

Таблица 4. Квартальная экономия денежных средств

Экономия денежных средств, млн. руб./квартал					
ПТ-80			Т-250		
1	2	3	1	2	3
7,32	7,43	9,54	7,21	7,45	9,79

Выводы. В данной работе было проведено имитационное моделирование в САПР «United Cycle» реальных тепловых схем энергоблоков с турбинами ПТ-80 и Т-250. Они были модернизированы теплонасосными установками различных компоновок, в том числе с РТО и с РТО и ПО. Оптимальным схемным решением для работы энергоблоков являлось включение теплонасосной установки с регенеративным теплообменником и переохладителем. Для данной установки значение коэффициента преобразования энергии составило 5,28 и 5,45 для турбин ПТ-80 и Т-250 соответственно.

ЛИТЕРАТУРА

1. M. Taylor. The role of heat pumps REHVA Journal 48 (4) PP. 13-15 (2011).

2. N.T. Amosov and etc. Use of heat pumps in turbogenerator hydrogen cooling systems at thermal power plant. Inter. Journal of Hydrogen Energy 42. - PP. 636-642 (2017).

3. И.Д. Аникина и др. Применение тепловых насосов для повышения энергоэффективности паросиловых ТЭС. «Научно-технические ведомости СПбГПУ». Выпуск 3 (178), с. 56-61 (2013).

4. I.D. Anikina. Influence of heat pumps inclusion in deaeration scheme of heating network make-up water on the operating modes of the TPP. “EECE-2018”. MATEC Web of Conferences 245, 15004 (2018).

МОНИТОРИНГ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА Г. ЧЕРЕПОВЦА В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ ПАО «СЕВЕРСТАЛЬ»

***О.А. Пугина**, М.А. Пашкевич*
Санкт-Петербургский горный университет

Проблема загрязнения атмосферного воздуха в наши дни является важной. Особенно это касается промышленных городов и регионов, где основной отраслью является металлургия. Одним из таких промышленных центров является г. Череповец, где функционирует предприятие черной металлургии ПАО «Северсталь». Не может не вызывать интереса, как «Северсталь» воздействует на атмосферный воздух города. Для этого необходимо провести мониторинг атмосферного воздуха, используя снежногеохимическую съемку.

При опробовании снегового покрова на всю его мощность результаты особенно представительны, поскольку исключают вариации (флуктуации направления ветра, непостоянство выбросов) и дают средневзвешенную величину загрязнения, усредненную естественным путем за продолжительный период времени, – с момента снегостава до момента отбора.

При оценке состояния снежного покрова выбирается западное направление розы ветров, которое направлено в зону, где проживает население города [4]. На рис. 1 представлены точки отбора проб.

Снеговое опробование проводилось методом шурфа на всю мощность снежного покрова, за исключением 5-и см слоя над почвой. Для отбора проб использовался пробоотборник круглого сечения диаметром 10 см, после извлечения из которого снег помещался в полиэтиленовый пакет [1]. При отборе было зафиксировано время от начала снегостава, равное 38 суток.

В результате было отобрано 10 проб, которые транспортировались до места, где осуществляется пробоподготовка.

Пробоподготовка предполагает получение снеготалой воды, полученной при оттаивании при комнатной температуре, включающую твердый осадок, который состоит из атмосферной пыли, осажденной на поверхность снегового покрова. Снеготалую воду фильтруют. в процессе фильтрования получают твердый осадок на

беззольном фильтре и фильтрованную снеготалую воду. Просушивание фильтров также производится при комнатной температуре.

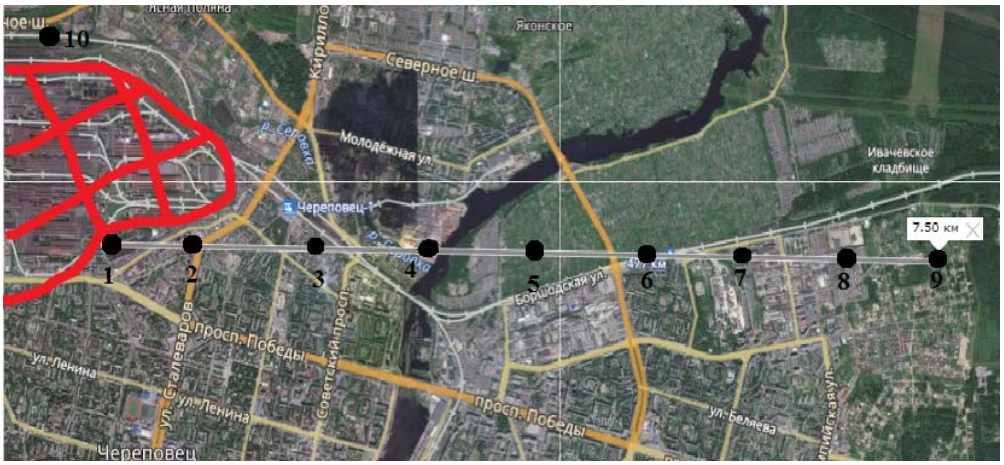


Рис. 1. Маршрут отбора проб

Анализ твёрдой фазы производится с помощью гравиметрического метода. Просушенные пробы взвешиваются. Разница в массе фильтра до (предварительно фильтр был взвешен на лабораторных весах) и после фильтрования характеризует массу пыли в пробе, которая определяет общее количество пыли, выпадающей на единицу площади в единицу времени, такая величина называется пылевой нагрузкой на атмосферный воздух. Расчет ведется по формуле (1) [2]:

$$P = \frac{P_a}{S \cdot T}, \quad (1)$$

где Ра – вес пыли, осажденной снегом, мг; S – проективная площадь осаждения, м^2; Т – временной интервал между моментом опробования и датой установления устойчивого снежного покрова, сут.

В результате анализа твердой фазы не было выявлено закономерности изменения величины пылевой нагрузки от расстояния от СЗЗ. Причиной этому могут быть такие факторы, как особенности рельефа местности, влияние застройки, так как отбор производился в селитебной зоне, следствие вторичных факторов загрязнения – автомобили, железнодорожный транспорт, другие предприятия, функционирующие в черте города. Несмотря на это, удалось выявить точки критического загрязнения атмосферного воздуха – это точка 10, которая находится на севере от завода, где сосредоточено основное производство, куда преимущественно направлена роза ветров и нет жилой зоны, и точка 3. Кроме того, большая пылевая нагрузка наблюдается в точках 7, 9.

Анализ жидкой фазы производился методом атомно-эмиссионной спектрометрии, в результате которого были получены значения концентраций по следующим загрязнителям: железо, марганец, цинк и стронций. Полученные значения сравниваются с фоновыми значениями.

В результате анализа жидкой фазы ни по одному элементу превышений не наблюдается только в пробе № 8, которая является одной из наиболее удаленных от завода. Самые значительные превышения присутствуют в пробе 10, где атмосферный воздух подвергается наибольшей нагрузке, так как превышения по марганцу в больше чем в 10 раз, по стронцию почти в 9 раз, а по цинку почти в 4 раза. Превышения по марганцу присутствуют во всех пробах, кроме 8. Превышения по стронцию наблюдаются в пробах 1, 3,10. Превышения по цинку наблюдаются в пробах 2,6,10. Превышений по железу не выявлено ни в одной пробе, так как местность характеризуется высоким природным содержанием железа.

Кроме того, был проведен микроструктурный анализ пыли, осажденной на фильтрах. Микроскопическое изучение проб проводят с помощью электронного микроскопа. Детальное изучение микрочастиц позволяет дать характеристику частиц с определением формы и размеров частиц, характера поверхности, степени окатанности. В пробах твердого осадка снега встречаются природные и техногенные образования.

Частицы природного происхождения в исследованных пробах представлены преимущественно кварцем.

Основными источниками загрязнения воздуха города Череповца являются промышленные производства, энергетические установки и транспорт.

В пробах были обнаружены следующие типы техногенных частиц.

1. Алюмосиликатные микросферулы. Природная гипотеза их происхождения доказывалась на примере зоны пылеугольного сжигания углей. Эти алюмосиликатные полые микросферулы являются одним из компонентов зольных уносов тепловых электростанций, работающих на угле. Результаты химического анализа показали, что они обогащены преимущественно Al_2O_3 и немного Fe_2O_3, CaO, SO_3. По данным лазерного микроспектрального анализа основные элементы в них представлены C, Al и Si. Распространенность данных частиц в твердом осадке снега указывает на то, что они являются выбросами тепловых котельных и предприятий, использующие уголь в своем технологическом процессе [3].

2. Металлические микросферулы. Проведены детальные исследования единичных металлических микросферул, выделенных из проб твердого осадка снега с территорий машиностроения и металлообработки, где

функционируют литейные цеха, показали, что они являются отходами этих производств [3]. При детальном изучении металлических микросферул с помощью лазерного микроспектрального анализа установлено, что в них в преобладающем количестве содержаться Fe, Mg, Ti, Mn. Распространенность металлических микросферул в пробах твердого осадка снега указывает на их техногенное происхождение.

3. Частицы неправильной формы (шлак, зола и сажа), химический состав которых представлен углеродом. Данные частицы являются характерными отходами производств, использующие уголь в технологическом процессе.

4. Металлические частицы, химический состав которых представлен Fe, Zn, Mn, Ti и др.

В качестве примера на рис. 2 находится микроструктура пробы № 1, которая представлена металлическими и алюмосиликатными микросферулами.

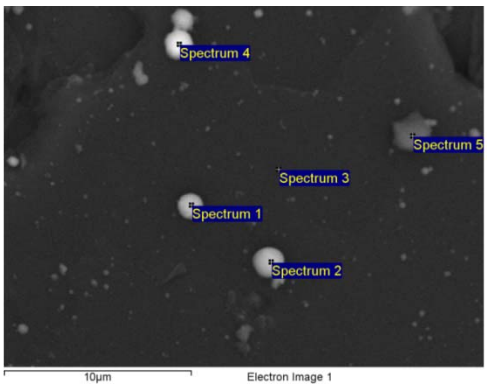


Рис. 2. Микроструктура пробы № 1 при увеличении в 5000 раз

Исходя из результатов анализа твердой и жидкой фаз снега, был сделан вывод о существовании нагрузки со стороны предприятия ПАО «Северсталь» на атмосферный воздух г. Череповца.

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 17.1.5.05-85 Охрана природы (ССОП). Гидросфера. Общие требования к отбору проб поверхностных и морских вод, льда и атмосферных осадков.

2. Методические рекомендации по оценке степени загрязнения атмосферного воздуха населенных пунктов металлами по их содержанию в снежном покрове и почве (утв. Главным государственным санитарным врачом СССР 15 мая 1990 г. N 5171 – 90).

3. Язиков Е.Г., Шатилов А.Ю. Геоэкологический мониторинг. Учебное пособие для вузов. – Томск: Изд-во 2003. - 336 с.

4. Архив погоды в Череповце [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://world-weather.ru/archive/russia/cherepovets/. Дата обращения: 18.01.2019.

ЗАГРЯЗНЕННОСТЬ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ АКВАТОРИИ ГОРЬКОВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

А.А. Спирина, *Ю.С. Моклокова, А.В. Преснякова*
Ивановский государственный химико-технологический университет

Горьковское водохранилище образовано плотиной Нижегородской ГЭС, заполнено в 1955-1957 годах. Расположено на территориях Ярославской, Костромской, Ивановской и Нижегородской областей.

Условия нахождения водохранилища в составе городов и большая туристическая привлекательность вносят отрицательный эффект. Одним из таких является загрязнение донных отложений (ДО) водохранилища тяжелыми металлами (ТМ) и органическими загрязнителями (например, нефтепродуктами (НП)), что впоследствии может привести к деградации экосистемы и ухудшению качества воды.

Для того чтобы оценить экологическое состояние водных экосистем необходимо проводить как анализ воды, так и анализ донных отложений, который выступает в качестве индикатора загрязнения водных объектов. Так как оценка качества только воды не дает адекватную картину влияния поступающих загрязнений на водоем. Донные отложения депонируют поступающие загрязнения, однако сами могут быть источником вторичного загрязнения [1].

Интенсивность водообмена уменьшается в водохранилищах, в связи с этим ДО водоемов сорбируют и накапливают в себе вещества до уровней, намного превышающих их содержание в водной толще [1].

Характеристика донных отложений по содержанию тяжелых металлов представлена Методикой Института минералогии, геохимии и кристаллохимии редких элементов (ИМГРЭ). Оценку воздействия всех исследуемых элементов на экосистему производилась с помощью суммарного показателя загрязнения (СПЗ),

который основывается на расчете коэффициента концентрации ($К_с$) [2]. В качестве фонового содержания использовались данные ИМГРЭ [1].

В качестве объектов исследования были отобраны пробы донных отложений на территории Ивановской области (п/в «Первомайский» г. Кинешма и Горьковское водохранилище ниже г. Юрьевец).

Анализ полученных проб донных отложений (табл. 1) не выявил превышение $ПДК_{почв}$ для исследуемых элементов.

Таблица 1. Концентрация загрязняющих веществ в пробах донных отложений, мг/кг

Таблица 1. №	Место отбора проб	Показатели						
		Cu	Mn	Ni	Pb	Cd	Zn	НП
1	п/в «Первомайский» г. Кинешма	3.1	137.9	3.7	4.8	не обн.	32.2	24.6
2	Горьковское водохранилище ниже г. Юрьевец	3.3	162.9	3.3	8.3	не обн.	25.8	14.2
$ПДК_{почв}$ (ОДК)		55	1500	85	20	0.6	100	50

Таблица 2. Значения коэффициента концентрации и суммарного показателя загрязнения

№	Место отбора проб	$К_с$							СПЗ
		Си	Mn	Ni	Pb	Cd	Zn	НП	
1	п/в «Первомайский» г. Кинешма	3,1	0,4	0,2	0,18	<0.1	1.5	0.5	3.6
2	Горьковское водохранилище ниже г. Юрьевец	3,3	0,5	0,2	0,31	<0.1	1.2	0.3	3.4

По полученным данным микроэлементного состава отобранных проб донных отложений (табл. 1) были определены суммарный показатель загрязнения и коэффициент концентрации (табл. 2).

Полученные расчеты позволяют сделать вывод, что степень загрязнения донных отложений соответствует 2 классу качества (СПЗ <8- слабое загрязнение).

ЛИТЕРАТУРА

1. ФГБУ «Верхне-Волжскводхоз» Отчет о результатах наблюдений за состоянием Угличского, Рыбинского, Горьковского, Водохранилищ на территория Ярославской, Костромской и Ивановской областей в 2018 году.

2. Янин, Е.П. Техногенные геохимические ассоциации в донных отложениях малых рек (состав, особенности, методы оценки) / Е.П. Янин. – М.: ИМГРЭ, 2002. – 51 с.

3. ГН 2.1.7.2041-06. Предельно-допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве. – М., 2006. – 3 с.

ДЕСТРУКЦИЯ ТЕТРАХЛОРМЕТАНА, ПРИСУТСТВУЮЩЕГО В ГАЗОВЫХ ВЫБРОСАХ, В ПЛАЗМЕ БАРЬЕРНОГО РАЗРЯДА

***К.А. Тюканова**, А.А. Гущин, Т.В. Извекова, Е.Ю. Квиткова*
Ивановский Государственный Химико-Технологический Университет

Ухудшение качества атмосферного воздуха, связанное с интенсивной хозяйственной деятельностью человека, является актуальной экологической проблемой. В настоящее время ученые акцентируют свое внимание на проблеме загрязнения воздуха летучими органическими соединениями (ЛОС), в частности хлорированными ЛОС. Они представляют особую опасность для человека, так как обладают высокой летучестью, устойчивостью к разрушению, обладают мутагенными и канцерогенными свойствами.

Хлорированные алифатические органические соединения, содержащие от одного до трех атомов углерода, такие как дихлорметан, тетрахлорметан (ТХМ), трихлорэтилен и тетрахлорэтилен, широко используются в промышленности, что является одной из причин их попадания в объекты окружающей среды [1].

ТХМ относится к приоритетным загрязнителям атмосферы, гидросферы и литосферы. Он способствует разрушению озонового слоя. При поступлении в почву и грунтовые воды, CCl_4 накапливается в них, вызывая негативные последствия для экосистем [2]. Отметим, что CCl_4 образуется в больших количествах как побочный продукт промышленного синтеза, а также используется при химической чистке материалов. Таким образом, проблема его утилизации и очистки газовых выбросов от ТХМ является актуальной задачей.

Выбор метода очистки от высокотоксичных органических соединений производится на основе различных параметров, к которым относятся начальная концентрация загрязняющих веществ, скорость газового потока, подаваемого на очистку, температура газо-воздушной смеси, а также необходимая эффективность удаления загрязнителя. На сегодняшний день для очистки газовых выбросов широко используются методы химии высоких энергий, в частности, плазмохимическая очистка [3]. Несомненным преимуществом таких деструктивных методов перед традиционными методами является то, что загрязняющие вещества могут быть окислены до безопасных CO_2 и H_2O [4].

Целью данной работы являлось исследование процессов деструкции CCl_4 в плазме диэлектрического барьерного разряда (ДБР) в среде кислорода, а также определение и исследование основных продуктов деструкции.

Рис. 1. Реактор ДБР с коаксиальным расположение электродов

Обработка модельных газовых смесей проводилась в реакторе диэлектрического барьерного разряда коаксиального типа (рис. 1). Устройство представляло собой трубку из пирексного стекла с внутренним диаметром 22 мм, внутри которой с помощью втулок из политетрафторэтилена был укреплён алюминиевый стержень диаметром 16 мм, являющийся внутренним электродом. Снаружи стеклянный корпус реактора был покрыт слоем алюминиевой фольги, являющимся внешним электродом и определяющим длину разрядной зоны (80 мм). Объем разрядной зоны составлял 14,3 $см^3$.

Плазмообразующим газом являлся технический кислород (99.8 %), расход которого варьировался в диапазоне 1-3 $см^3/с$, что соответствовало временам контакта модельных газовых смесей с разрядной зоной 14,3-4,8 с. Для возбуждения разряда на электроды реактора подавалось высокое напряжение с частотой 1000 Гц, которое контролировать с помощью осциллографа GW Instek GDS-2072. Мощность разряда составляла 14,5 Вт.

Исходная концентрация ТХМ в газовой смеси варьировалась от 60 до 1650 $мг/м^3$. Для количественного определения содержания ТХМ в газовой смеси на входе и выходе из разрядного устройства, а также для определения ряда хлорсодержащих органических продуктов деструкции (хлороформа, 1,2-дихлорэтана, трихлорэтилена) использовался метод газовой хроматографии (Хроматек Кристал-5000) с детектором по электронному захвату (газ-носитель – азот). Измерения по разделению смеси хроматографом осуществлялось с использованием лицензированного программного комплекса «Хроматэк-Аналитик 3.0». Предварительно хроматограф был откалиброван с помощью серии стандартных растворов ТХМ в метилэтилкетоне.

В ходе эксперимента было установлено, что во всем диапазоне начальных концентраций ТХМ степень его деструкции в условиях проведения эксперимента была высока и составляла 95-99 %. Увеличение времени контакта парогазовой смеси с разрядной зоной с 4,8 до 14,3 с приводило к незначительному росту степени деструкции ТХМ.

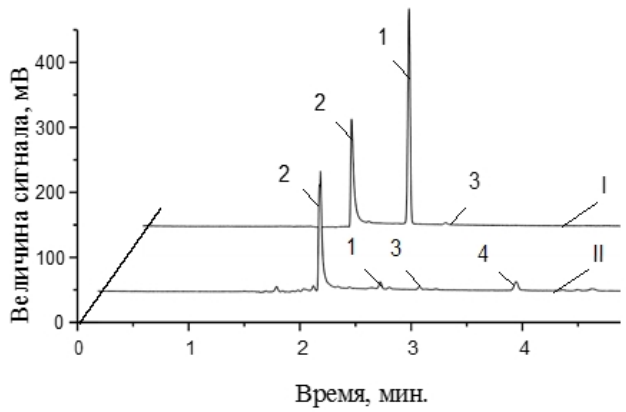


Рис. 2. Хроматограмма пробы: 1 – ТХМ, 2 – метилэтилкетон, 3 – трихлорэтилен, 4 – хлороформ (I – до обработки в ДБР, II – после обработки в ДБР)

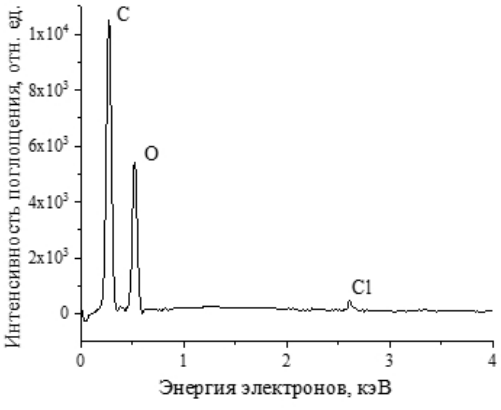


Рис. 3. Элементный состав образующегося твердофазного продукта

Среди продуктов деструкции тетрахлорметана в газовой фазе регистрировались хлороформ, 1,2-дихлорэтан, трихлорэтилен, CO и CO_2. На рис. 2 представлены хроматограммы проб ТХМ до и после обработки в ДБР, где мы можем наблюдать эффективное снижение концентрации CCl_4. Доля выхода конечных продуктов деструкции (CO и CO_2) составляла 69-95 %, что свидетельствует о высокой эффективности плазменной деструкции.

В ходе экспериментов по обработке паров CCl_4 в ДБР на внутреннем электроде и стенках реактора происходило образование твердофазного продукта. Элементный состав твердофазного продукта оценивался с помощью энергодисперсионной сканирующей спектроскопии. Ее результаты (рис. 3) позволили установить состав пленки: C – 64,75, O – 32,71, Cl – 2,54 (масс. %) или C:O:Cl = 1:0,5:0,04 (соотношение по атомным массам).

Совокупность полученных данных позволяет сделать вывод, что метод очистки газовых выбросов, содержащих высокотоксичные органические соединения, в частности тетрахлорметан, с применением ДБР, является весьма перспективным и эффективным.

Работа выполнена в рамках Государственного задания (проектная часть) № 3.1371.2017/4.6. Авторы благодарят РФФИ за финансовую поддержку исследований (грант № 18-08-01239).

ЛИТЕРАТРУРА

1. Huang, B. Chlorinated volatile organic compounds (Cl-VOCs) in environment – sources, potential human health impacts, and current remediation technologies / B. Huang, C. Lei, C. Wei, G. Zeng // Environment international. – 2014. – Vol. 71. – P. 118-138.

2. Yao Z. High performance photocatalysts based on N-doped graphene-P25 for photocatalytic reduction of carbon tetrachloride / Yao Z., Wang M., Sun S., Jia R., Li H. // J Inorg Organomet Polym. – 2013. – Vol. 24(2). – P. 315-320.

3. Chen H.L. Removal of volatile organic compounds by single-stage and two-stage plasma catalysis systems: a review of the performance enhancement mechanisms, current status, and suitable applications / Chen H.L., Lee H.M., Chen S.H., Chang M.B., Yu S.J., Li S.N. // Environ Sci Technol – 2009. – Vol. 43(7). – P. 2216-2227.

4. Karatum O. A comparative study of dilute VOCs treatment in a non-thermal plasma reactor / Karatum O., Deshusses M.A. // Chemical Engineering Journal. – 2016. – Vol. 294. – P. 308-315.

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИОНООБМЕННОЙ СМОЛЫ ДЛЯ ОЧИСТКИ ВОДЫ ОТ ИОНОВ МЕДИ, ЦИНКА, ЖЕЛЕЗА, АЛЮМИНИЯ И МАРГАНЦА

П.А. Харько

Санкт-Петербургский Горный Университет

Среди комплекса проблем, связанных с загрязнением водотоков, одной из важнейших является проблема загрязнения донных отложений металлами, которые, по оценке многих специалистов, являются самыми опасными загрязнителями. Данная проблема особенно остро стоит в регионах с развитой горнодобывающей и рудоперерабатывающей промышленностью [1]. В одном из таких регионов расположена река Карагайлы, на состав которой влияют производственные объекты Сибайского филиала АО «Учалинский ГОК». Мероприятие по снижению негативной нагрузки на реку включает в себя этап обезвоживания донных отложений с помощью геосинтетических контейнеров. На данном этапе твердая часть пульпы, включая взвешенные вещества, задерживается, а вода, загрязненная металлами, проходит через материал. Перед сбросом воды в водоток или канализацию необходимо очистить воду от металлов. Анализ существующих методов очистки показал, что наиболее эффективным и рентабельным является способ очистки воды с помощью ионообменной смолы [2-11]. В данной работе рассмотрен анализ состава донных отложений, а так же возможность применения катионита марки КУ-2-8 Н (1 сорт) ГОСТ 20298-74 для очистки воды от металлов.

Мониторинговые исследования проводились в летний период 2017 года. Были изучены сведения о деятельности предприятия, характеристика его как источника загрязнения поверхностных вод. Так же были изучены исследования многих авторов на тему состава воды и донных отложений реки Карагайлы, характера изменения ее состава.

В ходе мониторинговых исследований были отобраны 6 проб донных отложений реки Карагайлы и 1 проба донных отложений озера Колтубан (фоновая проба). Отбор проб донных отложений производился в соответствии с ГОСТ 17.1.5.01-80 «Охрана природы (ССОП). Гидросфера. Общие требования к отбору проб донных отложений водных объектов для анализа на загрязненность (с Изменением N 1)».

Первая стадия пробоподготовки (высушивание) донных отложений проводилась в лаборатории предприятия при комнатной температуре. Дальнейшая работа с пробами донных отложений (удаление инородных частиц, измельчение, просеивание и определение влажности) проводилась в лаборатории Экологического мониторинга Санкт-Петербургского горного университета.

Были определены следующие формы элементов: водорастворимая и подвижная формы (разложение проб с использованием дистиллированной воды, реактивов, лабораторной посуды и весов, фильтров); валовое содержание (разложение проб с использованием микроволновой печи Multiwave 3000). Определение содержания металлов в водных вытяжках производилась на атомно-эмиссионном спектрометре с индуктивно-связанной плазмой ICPE-9000.

Анализ донных отложений р.Карагайлы показал, что они представляют собой источник вторичного загрязнения природных вод, ввиду того, что в пробах наиболее опасных участков процентное содержание

водорастворимых и подвижных форм металлов достигает примерно 22 и 35% (Cu), 12 и 16% (Mn), 86 и 92% (Zn) соответственно (табл. 1).

Таблица 1. Доли водорастворимых и подвижных форм металлов наиболее загрязненного участка реки

Металлы	**Валовое, мг/кг**	**Доля водорастворимых форм, %**	**Доля подвижных форм, %**
Al	73328,1	1,50	4,49
Cu	8847,5	22,45	35,05
Fe	238256,2	0,03	1,68
Mn	742,9	12,96	15,17
Zn	2981,2	86,49	91,5

Для проведения лабораторного эксперимента по очистке воды от металлов из реактивов методом растворения готовился модельный раствор с заданными концентрациями ионов металлов: Zn=429мг/л, Cu=330,5 мг/л, Al=183 мг/л, Mn=18,75 мг/л, Fe=10,09 мг/л, (общий объем модельного раствора – 1 литр). Концентрации ионов металлов модельного раствора были выбраны исходя из данных мониторинговых исследований и соответствовали максимальным концентрациям водорастворимых форм ионов металлов, содержащихся в донных отложениях наиболее загрязненного участка реки.

Лабораторная установка включала следующие составляющие: колба для модельного раствора, которая фиксируется кольцом с зажимами на штатив, капельница, сорбционная колонка, которая так же фиксируется с помощью зажимов на штативе, стакан для сбора фильтрата.

Эксперимент проводился в динамических условиях. Для этого модельный раствор непрерывно пропускался через слой загрузки. В качестве загрузки колонны был выбран сильнокислотный катионит КУ-2-8 В/С ГОСТ 20298-74 Н-формы, так как данный катионит неприхотлив в обслуживании, экономичен, что обеспечило ему распространение в металлургии, энергетике и других производствах с большим оборотом загрязненный воды. Н-катионирование применяют для обессоливания воды (удаления всех катионов) [11, 12].

Пробы очищенной воды отбирались для анализа каждые 10 минут для фиксации «проскока». Оценка остаточной концентрации металлов в фильтрате производилась на атомно-эмиссионном спектрометре с индуктивно-связанной плазмой ICPE-9000. Калибровка прибора проводилась по растворам ионов металлов (Государственные стандартные образцы) методом градуировочной кривой.

В результате анализа были получены следующие концентрации металлов в очищенной воде (табл. 2).

Таблица 2. Результаты анализа очищающей способности катионита

	Наименование элемента				
	Al	Fe	Cu	Zn	Mn
	Содержание элемента (мг/л)				
До очистки	183,5	10,085	330,5	429	18,75
1 (10мин)	5,82	4,56	1,38	3,98	8,52
2 (20мин)	4,16	3,37	0,719	2,57	6,27
3 (30 мин)	3,07	1,62	0,60	1,38	3,01
4(40 мин)	**0,413**	**1,54**	**0,022**	**0,07**	**0,08**
5 (50 мин)	3,07	2,35	0,901	1,88	0,18
6 (60 мин)	8,19	2,7	2,79	5,90	1,23
Фоновые значения	**2,1**	**1,3**	**0,057**	**0,08**	**0,059**

Из табл. 2 видно, что после 40 минут отмечается наилучшая степень очистки, однако на 50 минуте отмечается резкое увеличение концентрации металлов, что свидетельствует о «проскоке» из-за недостаточного количества ионообменной смолы для модельного раствора.

В качестве заключения хочется отметить следующее. С помощью новейших методов и средств измерения были получены результаты исследования донных отложений на содержание водорастворимых, подвижных форм и валового содержания металлов. Анализ очищающей способности катионита показал, что данный катионит пригоден для очистки воды, образующейся на этапе обезвоживания донных отложений в геосинтетических контейнерах.

При разработке мероприятия и подбора фильтра с ионообменной смолой необходимо учесть и правильно соотнести исходные концентрации ионов металлов в растворе, динамическую объемную емкость катионита, а также общий объем воды, который необходимо очистить.

В дальнейшем планируется постановка эксперимента по двухступенчатой или многоступенчатой очистке вод после обезвоживания донных отложений с помощью геоконтейнеров. Предполагается, что данный способ позволит улучшить очистку вод, снизить объемы используемого катионита, в связи с чем уменьшатся габариты ионообменных фильтров и занимаемое ими пространство.

ЛИТЕРАТУРА

1. Воронин А.В., Киселёва С.П., Рыков С.В. Экологические проблемы использования малых рек// Вестник РУДН. Сер. Экология и безопасность жизнедеятельности. 2007. № 3. С. 74-76.
2. Зубарева Г. И., Гуринович А. В., Дёгтев М. И. Способы очистки сточных вод от катиона тяжелых металлов // Экология и промышленность России. – 2008. – № 1. – С. 18-20.
3. Пан Л.С., Комарова Е.А. Биохимический способ очистки сточных вод от тяжелых металлов с использованием сульфатвосстанавливающих бактерий // Вестник ПНИПУ, Химическая технология и биотехнология. – 2012. – № 14.
4. Колесников В. А., Меньшутина Н. В. Анализ, проектирование технологий и оборудования для очистки сточных вод. – ООО" ДеЛи принт", 2005.
5. Харламова Т. А. и др. Перспективные электрохимические процессы в технологиях очистки сточных вод // Гальванотехника и обработка поверхности. – 2013. – Т. 21. – № 1. – С. 54-61.
6. Мишурина О. А., Муллина Э. Р. Технология электрохимической очистки сточных вод // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2015. – № 4-1. – С. 29-31.
7. Халдеев Г.В., Кичигин В.И., Зубарева Г.И. Очистка и переработка сточных вод гальванического производства. Пермь: ПГТУ, 2005, Духин С.С., Сидорова М.П., Ярощук Н.Э. Электрохимия мембран и обратный осмос. – Л.: Химия, 1991.
8. Паршина И.Н., Стряпков А.В. Сорбция ионов металлов органическими катионитами из карьерных растворов // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2003. – № 5.
9. Калюкова Е.Н., Письменко В.Т., Иванская Н.Н. Адсорбция катионов марганца и железа природными сорбентами // Сорбционные и хроматографические процессы. – 2010. – Т. 10. – № 2. – С. 194-200.
10. Аширов А. Ионообменная очистка сточных вод, растворов и газов. – Л.: Химия, 1983. – 295 с.
11. Абзалов Р.Ф. и др. Контроль ионов токсичных металлов в сточных водах ионообменной смолой КУ-2-8 // Вестник Казанского технологического университета. – 2009. – № 2.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ДЕСТРУКЦИИ ФЕНОЛА, РАСТВОРЕННОГО В ВОДЕ, ПОД ДЕЙСТВИЕМ ФЕРРАТОВ

***В.М. Чернов**, А.А. Гущин*
Ивановский Государственный Химико-Технологический Университет

С развитием научно-технического прогресса всё больше растет нагрузка на окружающую среду. Одна из глобальных экологических проблем современности – загрязнение числе поверхностных и подземных вод, обусловленное сбросом в природные водоемы неочищенных или недостаточно очищенных бытовых, промышленных и ливневых сточных вод.

Фенолы – относятся к группе производных бензола с одной или несколькими гидроксильными группами. Их принято делить на две группы — летучие с паром фенолы (фенол, крезолы, ксиленолы, гваякол, тимол) и нелетучие фенолы (резорцин, пирокатехин, гидрохинон, пирогаллол и другие многоатомные фенолы) [1].

Фенолы относятся к приоритетным загрязнителям гидросферы. Они встречаются в сточных водах коксохимических, нефтеперерабатывающих, фармакологических производств, предприятий органического синтеза и др., а также в бытовых стоках, с концентрациями, варьирующимися в широком диапазоне. Фенол является высокотоксичным соединение, для которого ПДК в воде водоёмов установлена на уровне 0,001 мг/л. При вододоподготовке питьевой воды, проводят обязательное её хлорировании, для обеспечения соответствующих микробиологических показателей. Отметим, что при добавлении хлора в очищаемую воду, содержащую фенолы, всегда образуются диоксины – чрезвычайно ядовитые вещества [2] (предельно допустимая концентрация (ПДК) тетрахлордибензо-п-диоксин в воде равна 1 пг/л). Таким образом, очистка сточных вод, содержащих фенолы, является актуальной задачей.

Целью данной работы являлось исследование кинетики процессов деструкции фенола, присутствующего в воде, под воздействием ферратов и оценка экологической целесообразности применения данного метода для очистки сточных вод.

Феррат-анион $FeO4^{2-}$ (Fe(VI)) является мощным окислителем. В кислотных условиях его окислительно-восстановительный потенциал (2,7 В) выше, чем у озона (2,07 В), и он потенциально является самым сильным из всех окислителей, реально применимых к воде и очистке сточных вод.

Эксперимент проводился в водными растворами фенола с начальной концентрацией, которая варьировалась в диапазоне 1-400 мг/л, концентрация ферратов, вводимых в обрабатываемый растворов изменялась от 0,1 до 5 г/л. Соотношение объемов в системе «фенол-феррат» составляло 1:10. Время обработки изменяли в интервале: 5-30 мин. Концентрация фенола до и после очистки определялась флюориметрическим методом [3]. Синтез феррата осуществляли химическим способом из $FeCl_3 \cdot 6H_2O$.

Оценка эффективности разложения фенола, растворенного в воде, проводилась путем сравнения его концентрации в модельном растворе до и после обработки раствором FeO_4^{2-}. Полученные результаты экспериментов показали, что с увеличением начальной концентрации фенола от 5 до 400 мг/л степень

превращения уменьшается с 99,9 до 25 % (рис. 1). Это может свидетельствовать о том, что концентрации FeO_4^2, являющего окислительным агентом, недостаточно для полного разложения фенола при его высоких начальных концентрациях.

В соответствии с брутто-процессом:

$$2C_6H_5OH + 7FeO_4^{2-} + 7\bar{e} = 12CO_2 + 6H_2O + 7Fe^{3+}$$ [4],

на окисление 1 молекулы фенола необходимо 3,5 молекулы феррата, таким образом для окисления для окисления 220 мг/л фенола в растворе необходима концентрации FeO_4^{2-} 1 г/л, т.е. концентрации феррата 1 г/л явно недостаточно для окисления 400 мг/л фенола, что и подтверждают экспериментальные данные.

Кинетические закономерности разложения фенола под действием ферратов приведены на рис. 2. Из представленных данных следует, что деструкция фенола во всех случаях описывается реакцией псевдопервого порядка. Анализ полученных результатов позволит определить величины скоростей и эффективных констант протекающих процессов, которые представлены в табл. 1.

Как было показано выше (рис. 1, 2) начальная концентрация фенола существенно влияет на процессы окисления, протекающие в растворе. Теоретически было определено, что стехиометрическое соотношение для полного окисления фенола ферратом (VI) составляет 1:4,5. Поэтому были проведены эксперименты по оценки влияния начальной концентрации ферратов на кинетику окисления фенола, растворенного в воде, результаты которых приведены на рис. 3.7. Как следовало ожидать, увеличении концентрации феррата (VI) с 1 г/л до 5 г/л приводит к росту эффективности деструкции фенола с 47 % до 84 % при времени обработки раствора равного 10 мин и с 50 % до 91 % при времени обработки 30 мин. Однако, как видно из данных рис. 2 полного окисления фенола (до концентраций фенола ниже порога обнаружения) не происходит, хотя стехиометрическое соотношение было заметно превышено и в максимуме составляло 1:50. Полученные результаты позволяют предположить, что в процессе окисления фенола происходит образование промежуточных продуктов, которые являются более устойчивыми к процессам окисления, чем исходное соединение.

Изменение концентрации окислителя в 5 раз приводит к росту скорости разложения фенола в 12 раз, в то время как максимальная эффектность разложения изменяется с 50 % до 92 %. Т.е. минимальная остаточная концентрация фенола в растворе при концентрации феррата 1 г/л и 5 г/л составляет 52 мг/л и 8 мг/л соответственно, т.е. соотношение конечных концентраций составляет 6,5. Данный факт свидетельствует, что процесс окисления фенола не протекает в стехиометрическом соотношении. Для подтверждение данного предположения были проведены эксперименты по контролю возможных продуктов деструкции фенола в водном растворе.

Таблица 1. Эффективные константы скорости разложения фенола

№	$C_o^{фенол}$, мг/л	k, $с^{-1}$	v, мг/(л·с)
1	5	$(94\pm0,7)\cdot10^{-4}$	0,047
2	10	$(31\pm2,7)\cdot10^{-4}$	0,031
3	50	$(23\pm6,3)\cdot10^{-4}$	0,116
4	100	$(3,8\pm0,2)\cdot10^{-4}$	0,038

* - начальная концентрация феррата (VI) в растворе – 1 г/л.

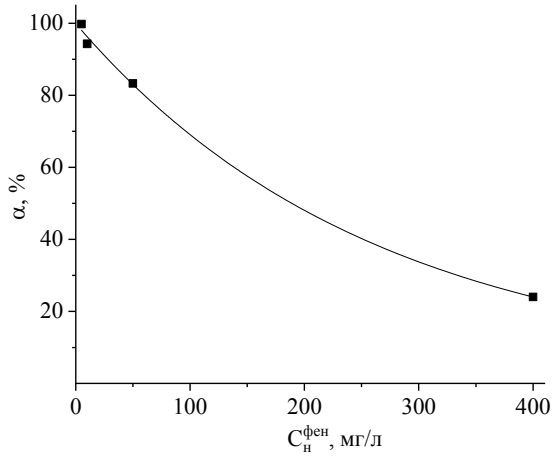


Рис. 1. Влияние начальной концентрации фенола в растворе на эффектность его разложения при обработке Fe(VI)
($C_{Fe(VI)}$ = 1 г/л, время обработки (t) 10 мин)

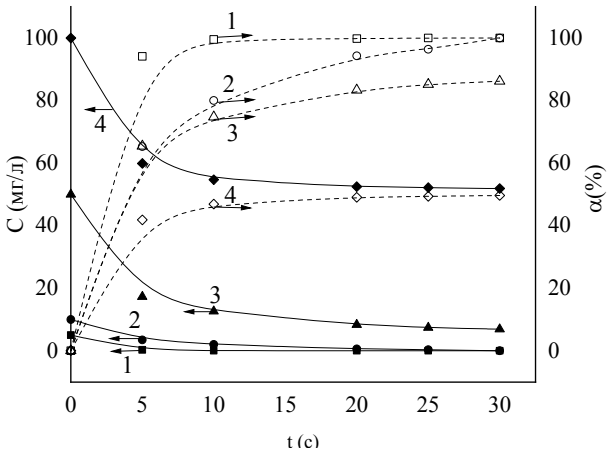


Рис. 2. Влияние времени обработки на кинетику деструкции фенола, растворенного воде, ферратами. 1, 2, 3, 4 – концентрации фенола 5, 10, 50 и 100 мг/л соответственно

В процессе обработки модельных растворов ферратом в жидкой фазе происходит образование насыщенных карбоновых кислот и гидрокарбонат-ионов, которые являются продуктами процесса окисления

фенола. Полученные результаты по содержанию продуктов деструкции в растворе, а также учёт степени разложения фенола позволили оценить баланс по «углероду», который выполняется с точностью от 37,1 % до 46,7 %, что говорит о недостаточно высоких степенях минерализации исходного загрязнителя, т.е. происходит образование промежуточных органических продуктов деструкции фенола (например, карбоновых кислот). Однако высокие эффективности деструкции исходного соединения позволяют сделать вывод, что ферраты могут быть использованы в качестве одной из ступеней очистки в различных системах водоочистки и водоподготовки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гусева Т.В. и др. Гидрохимические показатели состояния окружающей среды. – М.: Социально-экологический Союз, 2000. – 87 с.
2. US Department of Health and Human Services et al. How can phenol affect my health //Toxicological Profile for Phenol. – 2009. – Т. 24.
3. ПНД Ф 14.1:2:4.182-02. Количественный химический анализ вод. Методика выполнения измерений массовых концентраций фенолов в пробах питьевых, природных и сточных вод флуориметрическим методом на анализаторе жидкости «Флюорат-02».
4. Sharma V.K., Zboril R., Varma R.S. Ferrates: greener oxidants with multimodal action in water treatment technologies //Accounts of chemical research. – 2015. – Т. 48. – № 2. – С. 182-191.
5. Jiang G. Identification of active hydrogen species on palladium nanoparticles for an enhanced electrocatalytic hydrodechlorination of 2, 4-dichlorophenol in water / G. Jiang, M. Lan, Z. Zhang, X. Lv, Z. Lou, X. Xu, F. Dong, S. Zhang // Environmental science & technology. – 2017. – Vol. 51. – № 13. – P. 7599-7605.

СЕКЦИЯ

«ФИЗИЧЕСКИЕ НАУКИ»

РАСЧЕТ ИЗМЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРОННОЙ ПЛОТНОСТИ В УЗЛАХ ОДНОМЕРНОЙ КРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ РЕШЕТКИ КРОНИГА-ПЕННИ ПРИ СВЕРХПРОВОДЯЩЕМ ФАЗОВОМ ПЕРЕХОДЕ

И.Ю. Дашин

Российский государственный педагогический университет им. А.И. Герцена

Явление сверхпроводимости объясняется возникновением при температурах ниже критической температуры T_c куперовских пар и последующего образования их бозе-конденсата. Таким образом, сверхпроводящий фазовый переход есть переход от системы носителей тока, описываемой блоховскими волновыми функциями, к системе носителей, описываемых когерентной волновой функцией. Иными словами, распределение электронной плотности в кристаллической решетке сверхпроводника должно различаться при температурах выше и ниже T_c. В настоящей работе представлены результаты расчета изменения электронной плотности в узлах одномерной кристаллической решетки Кронига-Пенни при сверхпроводящем фазовом переходе.

Электронная плотность фермионного газа записывалась в виде $\rho_F(x) = \sum_{k=-k_f}^{k=k_f} |\varphi_k(x)|^2$, где k - волновое число, которое определялось из граничных условий , $\varphi[x + N(a+b)] = \varphi(x)$, k_f - волновое число, отвечающее энергии Ферми ε_f, $\varphi_k(x) = u_k(x)\exp(ikx)$ - одноэлектронные блоховские волновые функции, причем для области $0 < x <$ a справедлива зависимость $u_k = A\exp[i(\alpha - k)x] + B\exp[-i(\alpha + k)x]$, где α - есть функция от k и она определяет энергию электрона ε, а коэффициенты A и B связаны условием $u_k(0) = u_k(a)$ и условием нормировки $N\int_0^a |u_k(x)|^2 = 1$. В модели Кронига-Пенни задаются ширина ямы a, ширина потенциального барьера между ямами b, высота потенциального барьера V_o, число атомов в решетке N, $\beta = \sqrt{\frac{2m(V_o - E)}{\hbar^2}} \to \infty$, и $\frac{\beta^2 ab}{2} \to P$, где m - масса электрона, а P характеризует энергию связи электрона с решеткой. Функция $\alpha(k)$ определяется из уравнения $P\frac{\sin\alpha a}{\alpha a} + \cos\alpha a = \cos ka$, закон дисперсии имеет вид $\varepsilon(k) = \frac{\hbar^2\alpha^2(k)}{2m}$. В сверхпроводящем состоянии электронная плотность записыалась в виде $\rho_B = N_C\rho_C(x) + \sum_{k=-k_f+\delta k}^{k=k_f-\delta k} |\varphi_k(x)|^2$, где N_C – число куперовских пар, $2\delta k = \frac{2\pi}{a}\frac{N_C}{N}$ - область пространства волновых векторов вблизи уровня Ферми, в которой происходит спаривание, $\rho_C(x) = \int_0^{Na} |\Psi(q,x)|^2\, dq$ - зарядовая плотность куперовской пары, состоящей из двух электронов с координатами q и x, $\Psi(q,x)$ - ее волновая функция, которая находится из решения уравнения Шредингера $[H_o(q) + H_o(x) + U(q,x)]\Psi(q,x) = E\Psi(q,x)$, где $U(q,x)$ - энергия взаимодействия двух электронов куперовской пары, $H_o(x)$ - гамильтониан электрона, который не взаимодействует со вторым электроном куперовской пары $H_o(x)\varphi_k(x) = |\xi(k)|\varphi_k(x)$, где $|\xi(k)|$ - закон дисперсии, $\varphi_k(x)$ - одноэлектронная волновая функция в модели Кронига-Пенни, причем согласно теории ферми-жидкости Ландау отсчет энергии ведется от уровня Ферми ε_f (т.е. от значения ε при $k = k_f$). Волновая функция куперовской пары представлялась в виде $\Psi(q,x) = \sum_k c_k\varphi_k(q)\varphi_{-k}(x)$, причем предполагалось, что эффективное взаимодействие между электронами носит характер притяжения только в узкой области δk вблизи уровня Ферми. Решая уравнение относительно c_k получаем уравнение для энергии E. Задавались следующие параметры: число атомов в периодической структуре N, постоянная решетки a, безразмерный параметр взаимодействия электрона и решетки P, отношение уровня Ферми к матричному элементу межэлектронного парного взаимодействия ε_f/g, диапазон энергетических уровней δk, в котором следует учитывать притяжение электронов друг к другу.

На рис. 1 приведены зависимости $\rho_F(x)$ и $\rho_B(x)$ для случая N=500, a=1 Å, P = 4, ε_f / g =3,2 и $\delta k = \frac{2\pi}{a}\frac{80}{N}$. Видно, что переход от нормальной к сверхпроводящей фазе сопровождается возрастанием зарядовой плотности в центре элементарной ячейки (естественно, на периферии элементарной ячейки зарядовая плотность уменьшается при переходе от нормальной к сверхпроводящей фазе). На рис. 2 приведена зависимость относительной разности электронной плотности в центре элементарной ячейки для сверхпроводящей и

нормальной фаз от ε_f / g . Видно, что уменьшение ε_f / g (т.е. переход к фазам с более высокими значениями T_c) сопровождается возрастанием электронной плотности.

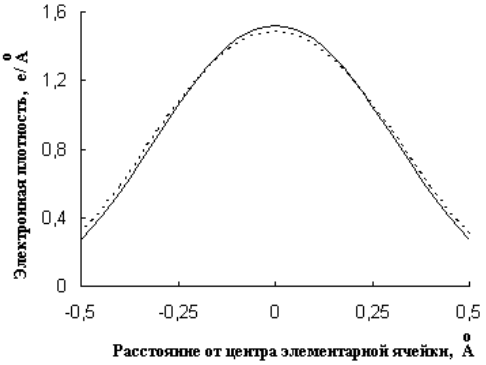


Рис. 1. Зависимости электронной плотности от расстояния от центра элементарной ячейки для обычной (штриховая линия) и сверхпроводящей (сплошная линия) фаз

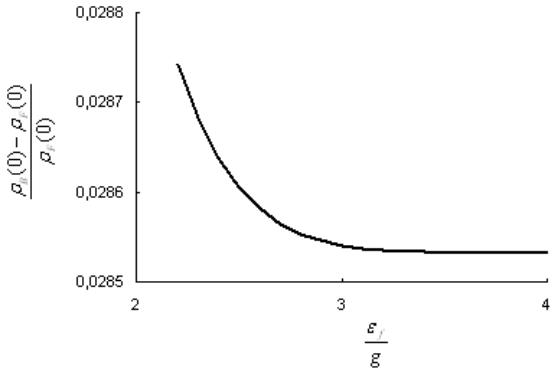


Рис. 2. Зависимость относительной разности электронной плотности в центре элементарной ячейки для сверхпроводящей и нормальной фаз от отношения уровня Ферми к матричному элементу межэлектронного парного взаимодействия

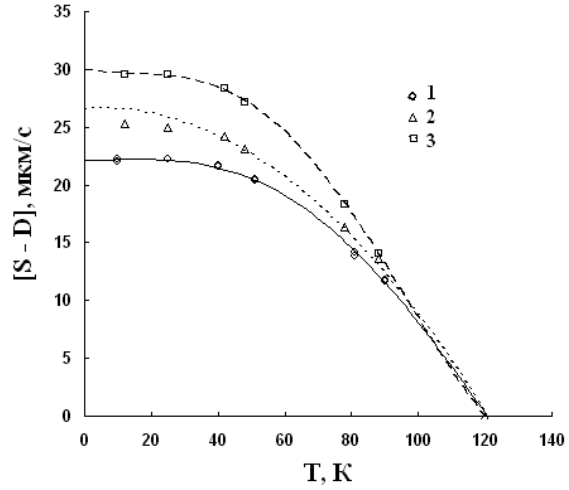


Рис. 3. Температурные зависимости центра тяжести S мессбауэровских спектров ^{67}Zn в узлах Cu(1) и Cu(2) контрольного и сверхпроводящего соединения $Tl_2Ba_2Ca_2Cu_3O_{10}$: 1 – узлы Cu(1) и Cu(2) контрольного соединения, 2 – узлы Cu(1) сверхпроводящего соединения, 3 – узлы Cu(2) сверхпроводящего соединения. Сплошная линия соответствует теоретической температурной зависимости S для случая доплеровского сдвига второго порядка при θ = 400 К

Изменение электронной плотности в узле кристалла при переводе кристалла из нормального в сверхпроводящее состояние возможно обнаружить путем измерения центрального сдвига *S* мессбауэровского спектра зонда, находящегося в узле, при температуре выше и ниже температуры перехода вещества в сверхпроводящее состояние. На рис. 3 приведены температурные зависимости *S* мессбауэровского спектра ^{67}Cu(^{67}Zn) для узлов Cu(1) и Cu(2) в решетках сверхпроводящего и контрольного соединения $Tl_2Ba_2Ca_2Cu_3O_{10}$ [1]. Зависимости *S*(*T*) существенно различаются для контрольного и сверхпроводящих материалов: для контрольного образца зависимости для узлов Cu(1) и Cu(2) описываются теоретической зависимостью дебаевского сдвига с температурой Дебая θ = 410 К, тогда как аналогичные зависимости для сверхпроводящего образца в области температур T > T_c описываются также дебаевской функцией, а при $T < T_c$ зависимости S(T) становятся более резкими (хотя при переходе через T_c резких скачков в величине *S* не наблюдается).

ЛИТЕРАТУРА

1. Seregin N.P., Nasredinov F.S., Seregin P.P. Journal of Physics: Condensed Matter. 2001. V. 13. No. 1. pp. 149-153.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОСТАВА ТЕЛЛУРСОДЕРЖАЩИХ СТЕКОЛ МЕТОДОМ РЕНТГЕНОФЛУОРЕСЦЕНТНОГО АНАЛИЗА

Ц.М. Глазкова

Российский государственный педагогический университет им. А. И Герцена

В настоящей работе приводятся результаты по использованию метода рентгенофлуоресцентного анализа (РФА) для определения количественного состава телурсодержащих стекол $As_mSe_nTe_{1-m-n}$ [или $Te_t(As_xSe_{1-x})_{1-t}$]. Стеклообразные сплавы $As_{0.4}Se_{0.4}Te_{0.2}$, $As_{0.4}Se_{0.571}Te_{0.029}$, $As_{0.4}Se_{0.2}Te_{0.4}$, $As_{0.4}Se_{0.3}Te_{0.3}$, $As_{0.364}Se_{0.273}Te_{0.364}$, $As_{0.1}Se_{0.8}Te_{0.1}$, $As_{0.15}Se_{0.15}Te_{0.7}$, $As_{0.19}Se_{0.19}Te_{0.62}$, $As_{0.37}Se_{0.37}Te_{0.26}$, $As_{0.425}Se_{0.425}Te_{0.15}$, $As_{0.45}Se_{0.14}Te_{0.41}$, $As_{0.48}Se_{0.5}Te_{0.02}$, $As_{0.5}Se_{0.35}Te_{0.15}$, $As_{0.5}Se_{0.45}Te_{0.05}$, $As_{0.5}Se_{0.485}Te_{0.015}$, $As_{0.5}Se_{0.499}Te_{0.001}$, $As_{0.5}Se_{0.49}Te_{0.01}$ синтезировались из элементарных веществ. Составы образцов указаны по составу исходной шихты (определенной с погрешностью ± 0.005). Образцы не подвергались шлифованию и полированию. Рентгенофлуоресцентные спектры измерялись на спектрометре X-Art M при значении анодного напряжения 30 кВ и 50 кВ. Определялись площади под K_α - линиями мышьяка S_{As}, селена S_{Se} и теллура S_{Te}, с использованием соотношений типа $x_{РФА} = S_{As}/(S_{As}+S_{Se})$ вычислялись относительные площади спектральных линий мышьяка, селена и теллура. Индекс «РФА» означает, что значения x определены из данных РФА. Среднеквадратичные отклонения $x_{РФА}$, $t_{РФА}$ и $m_{РФА}$ не превышали ± 0.0002.

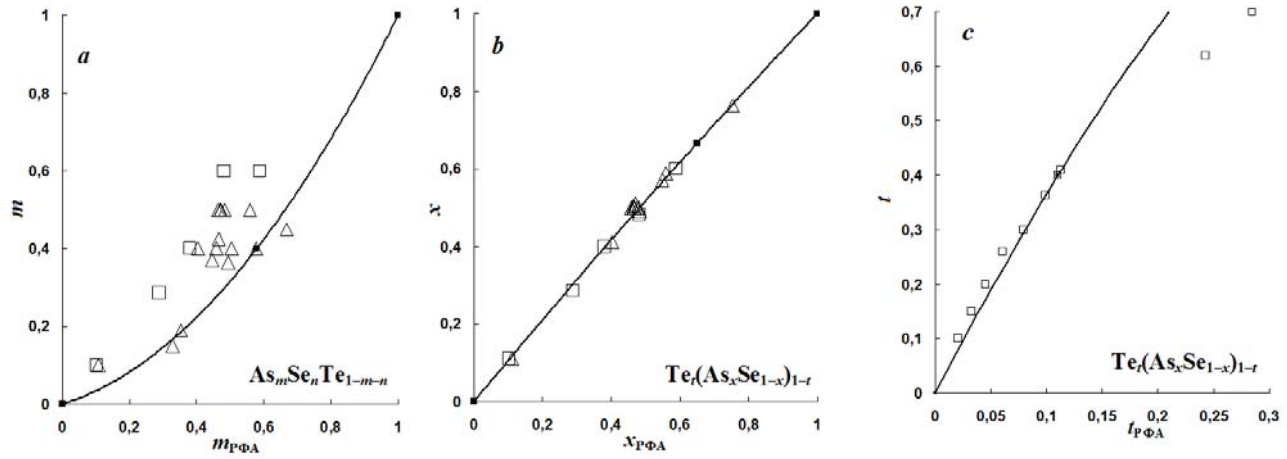


Рис. 1. Градуировочные зависимости $m = f(m_{РФА})$ (*a*), $x = f(x_{РФА})$ (*b*) и $t = f(t_{РФА})$ (*c*) для тройных стекол, представленных либо в виде $As_mSe_nTe_{1-m-n}$ (*a*), либо в виде $Te_t(As_xSe_{1-x})_{1-t}$ (*b, c*). На рис. (*a, b*) светлыми треугольниками показаны значения *m,* $m_{РФА}$ и *x,* $x_{РФА}$ для тройных стекол, а светлыми квадратами – для бинарных стекол. На рис. (c) светлыми квадратами показаны значения *t* и $t_{РФА}$ для тройных стекол. Стандартом служил сплав $As_{0.4}Se_{0.2}Te_{0.4}$

Для определения количественного состава стекол $As_mSe_nTe_{1-m-n}$ мы использовали метод стандарта, однако оказалось, что в спектрах стекол относительные площади спектральных линий зависят от двух свободных параметров состава (*m* и *n*), что усложняет процедуру определения состава на основе этих данных. В качестве примера на рис. 1*a* показана градуировочная зависимость $m = f(m_{РФА})$ (стандартом служил сплав $As_{0.4}Se_{0.2}Te_{0.4}$), на которую дополнительно нанесены экспериментальные значения $m_{РФА}$ всех исследованных сплавов As-Se-Te. Видно, что наблюдается значительный разброс экспериментальных точек относительно градуировочной зависимости $m = f(m_{РФА})$. Тем не менее, если состав стекол представить в виде $Te_t(As_xSe_{1-x})_{1-t}$, то все экспериментальные точки хорошо укладываются на градуировочную зависимость $x = f(x_{РФА})$ (рис. 1*b*). Этот результат следует интерпретировать в предположении, что теллур одинаковым образом влияет на интенсивности флуоресцентных излучений мышьяка и селена.

На рис. 1*c* представлена калибровочная зависимость $t = f(t_{РФА})$ для стекол, состав которых записан в виде $Te_t(As_xSe_{1-x})_{1-t}$. Экспериментальные точки должны укладываться на градуировочный график, построенный по точкам $t = 0$, $t = 1$ для стандарта $As_{0.4}Se_{0.2}Te_{0.4}$. Однако вновь наблюдается несовпадение расчетных и экспериментальных зависимостей в области $t > 0.25$. Это объясняется различными рентгеноспектральными характеристиками компонент стекол и ведет к невозможности использования метод стандарта для определения содержания теллура в сплавах $Te_t(As_xSe_{1-x})_{1-t}$ при $t > 0.25$.

ЯДЕРНОЕ КВАДРУПОЛЬНОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ И АБСОЛЮТНЫЕ ЗНАЧЕНИЯ ЭФФЕКТИВНЫХ ЗАРЯДОВ АТОМОВ В КРИСТАЛЛАХ $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ И $La_{2-x}Sr_xCuO_4$

В.А. Доронин

Российский государственный педагогический университет им. А.И. Герцена

Определение эффективных зарядов атомов в узлах кристаллической решетки является одной из важных задач физики высокотемпературных сверхпроводников (ВТСП). Сведения о зарядах атомов могут быть получены из анализа параметров ядерного квадрупольного взаимодействия (ЯКВ), т.е. взаимодействия электрического квадрупольного момента ядра-зонда с градиентом электрического поля (ГЭП) на нем.

Для атом-зонда с полностью (или наполовину) заполненной валентной оболочкой (решеточный зонд) следует учитывать только ГЭП, создаваемый ионами кристаллической решетки (решеточный ГЭП):

$$U_{zz} = (1 - \gamma)\, V_{zz}, \quad (1)$$

$$\eta = (V_{xx} - V_{yy})/V_{zz}, \quad (2)$$

где V_{xx}, V_{yy}, V_{zz} – компоненты диагонализированного тензора решеточного ГЭП, η – параметр асимметрии этого тензора, γ – коэффициент Штернхеймера, который учитывает экранирование внутренними электронными оболочками атома ГЭП, создаваемого внешними зарядами.

Экспериментальная информация о параметрах тензора ГЭП в решетках $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ и $La_{2-x}Sr_xCuO_4$ известна на кристаллических зондах $^{17}O^{2-}$, $^{137}Ba^{2+}$ (методом ядерного магнитного резонанса, ЯМР) и были получены нами для кристаллических зондов $^{57m}Fe^{3+}$, $^{67}Zn^{2+}$ и $^{155}Gd^{3+}$ (методом эмиссионной мессбауэровской спектроскопии, ЭМС) [1].

Экспериментальными параметрами мессбауэровских спектров и спектров ЯМР для кристаллических зондов являются параметр асимметрии тензора решеточного ГЭП $\eta_{exp}= (V_{xx} - V_{yy})/V_{zz}$ и постоянная квадрупольного взаимодействия

$$C_{exp} = eQV_{zz}(1 - \gamma) = \alpha V_{zz}, \quad (3)$$

где $\alpha = eQ(1 - \gamma)$ и eQ – квадрупольный момент ядра-зонда.

В настоящей работе реализован метод определения эффективных зарядов атомов в решетках $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ и $La_{2-x}Sr_xCuO_4$ с использованием значений α для зондов $^{67}Zn^{2+}$ и ^{17}O, что позволяет отказаться от выражения эффективных зарядов в относительных единицах.

Сверхпроводящие образцы $YBa_2Cu_3O_7$ и $La_{2-x}Sr_xCuO_4$ готовились методом спекания спрессованных порошков оксидов меди, бария, стронция, иттрия и лантана при 950 °С в течение 2 часов в атмосфере кислорода. Для $YBa_2Cu_3O_7$ и $La_{2-x}Sr_xCuO_4$ температуры перехода в сверхпроводящее состояние была 91 и 37 К соответственно. Закись меди Cu_2O была получена прокалкой CuO в вакууме. Мессбауэровские источники ^{57}Co и ^{155}Eu готовились путем добавления нитратов кобальта или европия, меченые радиоактивными изотопами ^{57}Co и ^{155}Eu в исходную шихту. Мессбауэровские источники ^{67}Cu и ^{67}Ga готовились методом диффузии при температурах 500 – 650 °С соответствующих короткоживущих изотопов в готовую керамику. Мессбауэровские спектры снимались при 80 К (^{57}Co, ^{155}Eu) и 4.2 К (^{67}Cu, ^{67}Ga) с поглотителями $K_4{}^{57}Fe(CN)_6.3H_2O$, $^{155}GdPd_3$ и ^{67}ZnS соответственно.

Компоненты тензора решеточного ГЭП рассчитывались в рамках модели точечных зарядов. Решеточные суммы подсчитывались на ЭВМ, суммирование проводилось внутри сфер радиуса 30 Å. При расчетах решеточного ГЭП элементарные ячейки $YBa_2Cu_3O_7$ и $La_{2-x}Sr_xCuO_4$ представлялась в виде $YBa_2Cu(1)Cu(2)_2O(1)_2O(2)_2O(3)_2O(4)$ и $(La,Sr)_{2-x}CuO(l)_2O(2)_2$ соответственно. Зависимости параметров элементарной ячейки от x и положение атомов в элементарной ячейке задавались согласно данным в источниках.

Результаты обработки мессбауэровских спектров и литературные данные ЯКВ узлов бария и кислорода [1], сведены в табл. 1.

Решетка $YBa_2Cu_3O_7$.

Величина $\alpha = eQ(1 - \gamma)$ для зонда $^{67}Zn^{2+}$ была определена нами путем сравнения величин C_{exp} и V_{zz} для узлов меди в решетке Cu_2O. Если принять модель распределения зарядов по узлам $Cu^{+}{}_2O^{2-}$, то расчетное значение V_{zz} составляет $-1.093e/Å^3$ и это приводит к величине $\alpha = 20.1(3)$ MHz·Å$^3/e$.

Для определения восьми эффективных зарядов была составлена система восьми уравнений с использованием данных ЭМС и ЯМР. К этим уравнениям относятся: уравнение электронейтральности; уравнение для величин V_{zz} и C_{exp} зонда ^{67}Zn в узлах иттрия; уравнение для отношения величин C_{exp} зонда ^{67}Zn для цепочечной Cu(1) и планарной Cu(2) меди и отношения главных компонент тензоров ГЭП для тех же узлов; уравнение для отношения величин C_{exp} зонда ^{17}O для узлов кислорода и отношения главных компонент тензоров ГЭП для тех же узлов; четыре уравнения для расчетных и экспериментальных величин параметров асимметрии тензоров ГЭП узлов Cu(1), Cu(2), O(1) и O(2). Как не имеющие физического смысла были отброшены решения с отрицательными зарядами катионов или положительными зарядами анионов.

Все полученные эффективные заряды отвечают существенно пониженному заряду атомов цепочечного кислорода O(4) и заметному отклонения от стандартного значения заряда для атомов планарного кислорода O(3)

$$Y^{3+}Ba^{2+}{}_2Cu(1)^{2+}Cu(2)_2{}^{2+}O(1)^{2-}{}_2O(2)^{2-}{}_2O(3)^{1.85-}{}_2O(4)^{1.30-}, \quad (4)$$

что может быть интерпретировано как существование дырки в энергетической зоне, образованной преимущественно электронными состояниями O(4) и O(3).

Для модели (4) были рассчитаны параметры тензора решеточного ГЭП в узлах кислорода и с использованием данных ЯМР на изотопе ^{17}O получено для зонда $^{17}O^{2-}$ значение $\alpha = 14.9$ MHz.Å$^3/e$.

Таблица 1. Экспериментальные параметры ЯКВ в узлах решеток $YBa_2Cu_3O_7$, $YBa_2Cu_3O_6$ и Cu_2O [1]

Соединение	Узел	Зонд	Метод	C_{exp}, MHz	η_{exp}	z-ось
$YBa_2Cu_3O_7$	Y	^{67}Zn	ЭМС $^{67}Ga(^{67}Zn)$ *	–2.2(3)	0.8(1)	*c*
	Ba	^{137}Ba	ЯМР ^{137}Ba	|56.4(1)|	0.94(2)	*c*
	Cu(1)	^{67}Zn	ЭМС$^{67}Cu(^{67}Zn)$ *	+20.1(3)	0.95(3)	
	Cu(2)	^{67}Zn	ЭМС $^{67}Cu(^{67}Zn)$ *	+11.8(3)	≤ 0.2	
	O(1)	^{17}O	ЯМР ^{17}O	|7.3(1)|	0.32(2)	*c*
	O(2)	^{17}O	ЯМР ^{17}O	|6.4(1)|	0.24(2)	*b*
	O(3)	^{17}O	ЯМР ^{17}O	|6.6(1)|	0.21(2)	*a*
	O(4)	^{17}O	ЯМР ^{17}O	|10.9(1)|	0.41(2)	*b*
Cu_2O	Cu	^{67}Zn	ЭМС$^{67}Cu(^{67}Zn)$ *	–22.0(3)	≤ 0.2	
$La_{1.85}Sr_{0.15}CuO_4$	La, Sr	^{67}Zn	ЭМС $^{67}Ga(^{67}Zn)$ *	–2,7(2)	≤ 0.2	
	Cu	^{67}Zn	ЭМС $^{67}Cu(^{67}Zn)$ *	11.4(5)	≤ 0.2	
	O(1)	^{17}O	ЯМР ^{17}O	1.33(13)	0.0	
	O(2)	^{17}O	ЯМР ^{17}O	4.6(2)	0.36(2)	

[*] – *результаты настоящей работы.*

Решетки $La_{2-x}Sr_xCuO_4$.

Для определения эффективных зарядов решетки $La_{2-x}Sr_xCuO_4$ была составлена система четырех уравнений: уравнение электронейтральности; уравнение для величин V_{zz} и C_{exp} зонда ^{67}Zn в узлах меди; уравнение для величин V_{zz} и C_{exp} зонда ^{17}O в узлах апикального кислорода O(1); уравнение для расчетных и экспериментальных величин параметров асимметрии тензоров ГЭП узлов O(1). Эффективные заряды были полученные с использованием данных таблицы и ранее определенных величин α для зондов ^{67}Zn и ^{17}O. Видно, что модель $(La_{1.85}Sr_{0.15})^{2.925+}Cu^{2+}O(1)^{2-}{}_2O(2)^{1.925-}{}_2$ отвечает пониженному заряду атомов O(2), что может быть следствием существования дырки в энергетической зоне, образованной преимущественно электронными состояниями планарного кислорода.

Подтверждение предложенной модели пространственного распределения электронных дефектов в решетках $La_{2-x}Sr_xCuO_4$ было получено в результате сравнения расчетных зависимостей $P(x) = [V_{zz}]_x/[V_{zz}]_{x=0.1}$ и экспериментальных зависимостей $P_{exp}(x) = [C_{exp}]_x/[C_{exp}]_{x=0}$ в узлах лантана и меди (данные ЭМС на изотопах $^{57}Co(^{57m}Fe)$, $^{67}Cu(^{67}Zn)$, $^{67}Ga(^{67}Zn)$ и $^{155}Eu(^{155}Gd)$. Насчет *P(x)* проведен для четырех моделей: дырка находится либо в подрешетке меди, либо в подрешетке O(1), либо в подрешетке O(2), либо дырка распределена между подрешетками O(1) и O(2). Оказалось, что согласование расчетных и экспериментальных зависимостей может быть получено, если дырка локализуется преимущественно в позициях атомов планарного кислорода.

Таким образом, проведено сопоставление параметров эмиссионных мессбауэровских спектров на изотопах $^{57}Co(^{57m}Fe)$, $^{67}Cu(^{67}Zn)$, $^{67}Ga(^{67}Zn)$, $^{155}Eu(^{155}Gd)$ и параметров ядерного магнитного резонанса на изотопах ^{17}O, ^{137}Ba с расчетными параметрами решеточного тензора градиента электрического поля для всех узлов кристаллических решеток высокотемпературных сверхпроводников на основе металлооксидов меди $YBa_2Cu_3O_7$ и $La_{2-x}Sr_xCuO_4$. Согласие экспериментальных и расчетных параметров тензора градиента электрического поля может быть получено только для моделей, когда дырка, возникающая за счет нестехиометричности соединения $YBa_2Cu_3O_7$ или аливалентного замещения La^{3+} на Sr^{2+} в соединениях $La_{2-x}Sr_xCuO_4$, находится преимущественно в подрешетке цепочечного (в $YBa_2Cu_3O_7$) или плоскостного (в $La_{2-x}Sr_xCuO_4$) кислорода. Подтверждение предложенной модели пространственного распределения электронных дефектов в решетках $La_{2-x}Sr_xCuO_4$ ($x = 0.1 – 1.0$) было получено путем сравнения расчетных зависимостей отношения главных компонент тензоров градиента электрического поля в узлах лантана и меди с отношением постоянных квадрупольного взаимодействия в этих узлах для зондов $^{57m}Fe^{3+}$, $^{67}Zn^{2+}$ и $^{155}Ga^{3+}$. Наблюдаемые зависимости могут быть количественно объяснены, если дырка локализуется преимущественно в позициях атомов планарного кислорода. С использованием этих моделей определены коэффициенты Штернхеймера для зондов $^{67}Zn^{2+}$, $^{137}Ba^{2+}$ и $^{17}O^{2-}$.

ЛИТЕРАТУРА

1. Seregin N., Marchenko A., Seregin P. Emission Mössbauer spectroscopy. Electron defects and bose-condensation in crystal lattices of high-temperature supercomductors. Verlag: LAP LAMBERT. Academic Publishing GmbH & Co. KG Saarbrücken. Deutschland/Germany. 325 p. 2015.

ФРАКТАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ КОНДЕНСАТА

А.А. Екимовская

Муниципальное автономное общеобразовательное учреждение «Центр образования № 32» города Череповца Вологодской области

Математические методы фрактальной геометрии применены для изучения капель конденсата на поверхностях. Исследованы свойства фрактальных кругов, вписанных в правильные многоугольники. Доказана лемма о коэффициенте подобия окружностей, вписанных в угол. Доказано дробление фракталов убывающей геометрической прогрессией, начиная со второго уровня вписанных кругов. Получена формула коэффициента подобия дробящихся фрактальных кругов, вписанных в правильный многоугольник. Показано применение математических результатов в физике. Математическая задача была сформулирована после наблюдения капелек тумана и конденсата на холодных поверхностях. Появился вопрос о размере пузырьков или капелек. Могут ли размеры капелек быть произвольными? Почему наблюдается некоторая упорядоченность в расположении капелек конденсата? Ответы на эти вопросы связаны с фрактальной математикой [1].

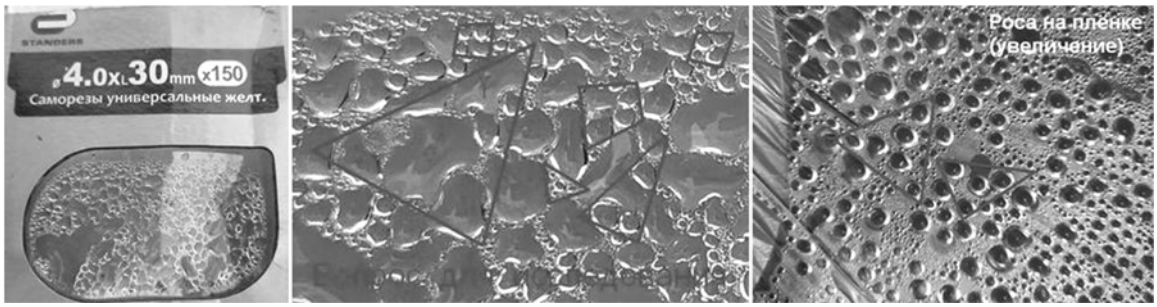


Рис. 1. Конденсат на упаковке коробки для шурупов

Запотевшая за ночь полиэтиленовая плёнка было сфотографирована полупрофессиональной фотокамерой Nikon D3100 для получения снимка с самым большим разрешением 4608x3072 пикселей, минимальным сжатием 4 в системе JPEG и максимальной информативностью до 14,2 Мб. На рис. 1 слева показана копия полученной первичной фотографии, а справа изображён фрагмент 680x452 пикселя, который был увеличен для проведения анализа и начала изучения. Как исходная фотография, так и увеличенный её фрагмент сразу же определили первый вопрос для исследования: «Почему капельки воды на запотевшей полиэтиленовой плёнке в основном дробятся в треугольниках, вписываясь в них?» Сразу после начала исследования задача перешла в область математики, связанную с фракталами, потому что была замечена закономерность в уменьшении размеров пузырьков [1, 2]. Применение теории фракталов позволило математически обосновать наблюдаемую закономерность расположения капелек в конденсате на холодной поверхности, связанную капиллярностью и поверхностным натяжением, которые изучал Д.И. Менделеев [1, 3]. Получены результаты, связанные с фрактальными последовательностями окружностей, вписанных в многоугольники [4]. Получена общая формула заполнения правильных многоугольников фрактальными кругами, схема которых показана на рис. 2 с уменьшением размеров фрактальных кругов при решении задач.

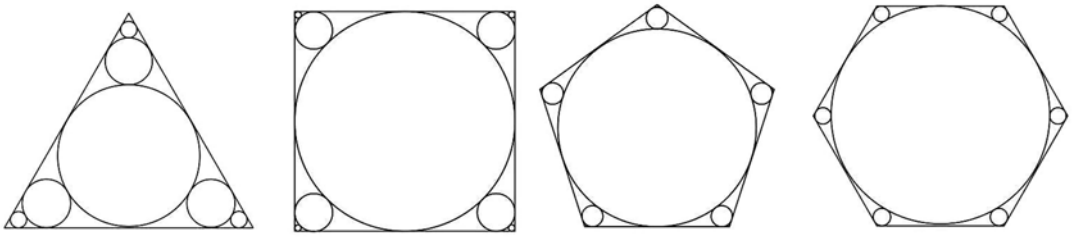


Рис. 2. Математические фрактальные модели капелек конденсата

Задача 1. Правильный треугольник с фрактальными кругами. Вычислить отношение площадей вписанных в правильный треугольник фрактальных кругов к площади треугольника. Определено отношение площадей всех вписанных в треугольник фрактальных кругов к площади этого треугольника: $\frac{S_{kp}}{S_{ABC}} = \frac{\left(\frac{11\pi a^2}{96}\right)}{\left(\frac{a^2\sqrt{3}}{4}\right)} = \frac{11\pi}{24\sqrt{3}} = \frac{11\pi\sqrt{3}}{72} \approx 0,831325$. Сформулированы выводы по задаче 1.

1. При заданном фрактальном дроблении круги заполнят площадь правильного треугольника на 83%.

2. Фрактальный круг первого уровня занимает часть площади треугольника $\frac{S_1}{S_{ABC}} \approx 0,6045998$, то есть более 60%, а на остальные фрактальные круги приходится около 23% площади треугольника.

3. Три фрактальных круга второго уровня занимают в три раза меньшую площадь, чем фрактальный круг первого уровня, то приблизительно 20% площади треугольника.

4. Три фрактальных круга третьего уровня занимают в девять раз меньшую площадь, чем фрактальные круги второго уровня, то есть приблизительно 2,2%, а фрактальные круги четвёртого уровня занимают площадь в 9 раз меньше, чем круги третьего уровня, то есть приблизительно 0,25% площади треугольника. Для фрактальных кругов пятого уровня доля площади треугольника составит приблизительно 0,03%.

5. Площадь фрактальных кругов, начиная с третьего уровня, убывает по геометрической прогрессии со знаменателем 1/9, поэтому общая площадь фрактальных фигур существует и выражается сходящимся рядом.

После решения задачи о площади фрактальных кругов в правильном треугольнике напрашиваются аналогичные задачи с квадратом, правильным пятиугольником, правильным шестиугольником и так далее до бесконечности, до стремления правильного многоугольника к окружности при бесконечном увеличении количества сторон. Для решения этих задач сначала удобно доказать следующую лемму.

Лемма 1. Коэффициент подобия окружностей, вписанных в угол. Коэффициент подобия двух касающихся друг друга окружностей, вписанных в угол φ, равен $k_\varphi = \frac{1-\sin\frac{\varphi}{2}}{1+\sin\frac{\varphi}{2}}$, считая меньшую окружность подобную большей.

Задача 2. Квадрат с фрактальными кругами. Вычислить отношение площадей вписанных в квадрат фрактальных кругов к площади квадрата. Определено отношение площади всех фрактальных кругов в квадрате к площади квадрата $\frac{S_{kp4}}{S_{kv}} = \frac{\pi\left(3\sqrt{2}-2\right)}{8} \approx 0,88068$. Получилось, что в квадрате очень мало площади приходится на фрактальные круги второго и более высокого уровней, для них «просто нет места», тогда как в правильном треугольнике такое место для фрактальных кругов второго уровня было.

Задача 3. Правильный n-угольник с фрактальными кругами. Вычислить отношение площадей вписанных в правильный n-угольник фрактальных кругов к площади правильного n-угольника. Определено отношение общей площади всех фрактальных кругов к площади правильного n-угольника $\frac{S_{kpn}}{S_{nyg}} = \frac{\pi}{n\cdot tg\left(\frac{180^0}{n}\right)}\left(\frac{1+\left(n-1\right)\cdot tg^4\left(\frac{90^0}{n}\right)}{1-tg^4\left(\frac{90^0}{n}\right)}\right)$. Проверено соответствие общей формулы частному случаю правильного треугольника. При n=3 получаем $\frac{S_{kp3}}{S_{3yg}} = \frac{\pi}{3\cdot tg60^0}\left(\frac{1+\left(3-1\right)\cdot tg^4 30^0}{1-tg^4 30^0}\right) = \frac{11\pi\sqrt{3}}{72}$. Общая формула, полученная в результате решения Задачи 3, привела к тому же самому результату, что и частная формула при решении Задачи 1. Сформулированы выводы по работе.

1. Получена общая формула отношения площади кругов к площади правильного многоугольника.

2. Фрактальные круги в правильных треугольниках наиболее часто и в основном встречаются в природе из-за наиболее медленного убывания геометрической прогрессии, а потому медленного роста в них давления от поверхностного натяжения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кириллов А.А. Повесть о двух фракталах. — Летняя школа «Современная математика». — Дубна, 2007. – Электронный ресурс: https://www.mccme.ru/dubna/2007/notes/kirillov-preprint.pdf.

2. Поверхностное натяжение / Физический энциклопедический словарь. Гл. ред. А.М. Прохоров. Ред. кол. Д.М.Алексеев и др. – М.: Сов. энциклопедия, 1983. – 928 с. – С. 551-552.

3. Площадь правильного многоугольника. Электронный ресурс: https://www.resolventa.ru/spr/planimetry/regular.htm#reg1.

4. Екимовская А.А. Фрактальное заполнение правильного треугольника кругами / П99 V Музруковские чтения: Материалы Международной научно-практической конференции, 3-4 октября 2019 г. ГБПОУ СПТ им. Б.Г. Музрукова, отв. за выпуск И.В. Столяров. – Саров: Интерконтакт, 2019. – 271 с. – С. 103-105.

ОПТИЧЕСКОЕ ОТРАЖЕНИЕ СВЕТА ПЕРИОДИЧЕСКОЙ СТРУКТУРОЙ НА ОСНОВЕ СИСТЕМЫ ИЗ 100 КВАНТОВЫХ ЯМ InGaN

А.А. Иванов [1], *В.В. Чалдышев* [1,2]
[1] *Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого*
[2] *Физико-технический институт имени А.Ф. Иоффе*

Задача фотоники состоит в том, чтобы научиться управлять потоками фотонов подобно тому, как электроника позволяет управлять потоками электронов, и на этой базе создать новое поколение приборов и устройств. Обнаружение возможности существенной перестройки величины и/или спектрального положения оптических особенностей, связанных со взаимодействием света с экситонами, при разумной величине внешнего воздействия, может открыть перспективы создания быстродействующих и энергоэффективных перестраиваемых брэгговских отражателей. Такие отражатели могли бы применяться для сверхбыстрой модуляции света в системах оптической передачи информации.

Разновидностью одномерных фотонных кристаллов являются резонансные брэгговские структуры (РБС). В таких структурах периодическая модуляция диэлектрической функции реализуется за счет экситонных состояний в квантовых ямах (КЯ). При этом, когда брэгговская периодичность системы квантовых ям совпадает с частотой квазидвумерных экситонов в КЯ, возникает коллективная суперизлучательная экситон-поляритонная мода, сила осциллятора которой пропорциональна числу квантовых ям. С точки зрения оптических свойств при падении света из внешней среды РБС представляет собой брэгговский полосовой отражатель. При этом функциональность отражателя обеспечивается системой экситонов в квантовых ямах. Таким отражателем можно управлять, например, путем приложения внешнего электрического поля, меняющего энергетические параметры экситонов (эффект Штарка).

Впервые были исследованы брэгговские структуры с одиночными [1] и сдвоенными [2] КЯ InGaN/GaN. По результатам исследований был сделан вывод об обнаружении существенного вклада экситонного резонанса в отражение структур с 60 КЯ при комнатной температуре, тогда как до данной работы исследования этого эффекта проводились только при криогенных температурах.

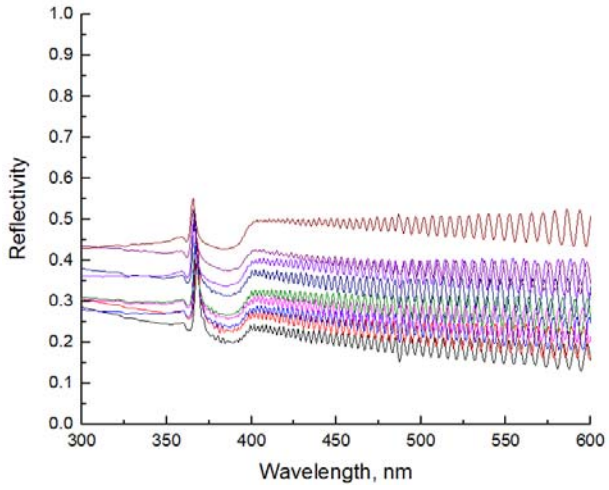


Рис. 1. Спектр отражения исследованной структуры при различных углах падения света от 20 до 600 с шагом 50 при 300К, S-поляризация

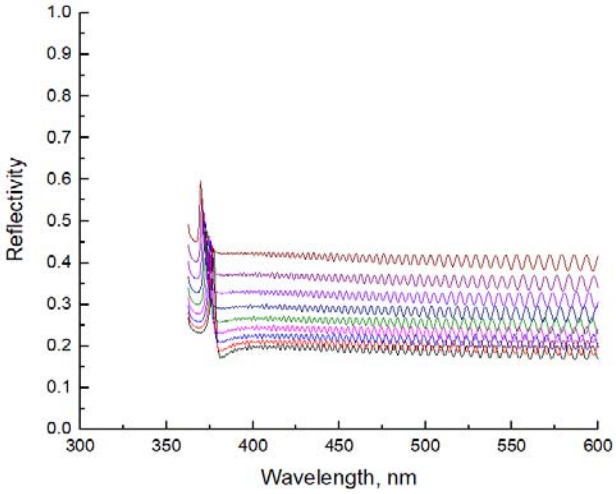


Рис. 2. Расчетный спектр отражения исследованной структуры при различных углах падения света от 20 до 60^0 с шагом 5^0 при 300К, S-поляризация

Образец представлял собой набор из 100 эквидистантных КЯ InGaN, выращенный на подложке из сапфира. Для избежания прорастания дислокаций в рабочую область образца между ней и подложкой был выращен буферный слой GaN. Следует отметить, что создание РБС является весьма сложной задачей, поскольку для формирования суперизлучательной оптической моды необходима система из большого числа КЯ с малым разбросом геометрических параметров и малым нерадиационным уширением экситонов. Данная периодическая структура имеет неоднородность по толщине (выращена в виде клина), вследствие чего оптические свойства разных областей поверхности структуры различаются.

В спектрах оптического отражения, представленного на рис. 1 и 2, хорошо виден пик, соответствующий выполнению условий брэгговского резонанса. С увеличением угла падения света пик, в согласии с законом Вульфа−Брэгга, смещается в коротковолновую область.

В спектрах наблюдаются осцилляции Фабри−Перо, происходящие вследствие интерференции световых волн, отраженных от передней и задней границ эпитаксиальной структуры (включая буферный слой).

Осцилляции Фабри-Перо затухают при приближении к краю фундаментального поглощения GaN (366 нм при 300K).

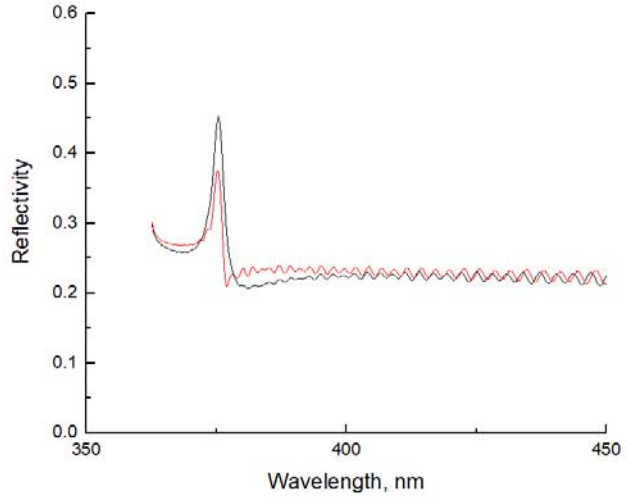


Рис. 3. Расчетный спектр отражения исследованной структуры. Черный – с экситонами, красный – без экситонов. Углом падения 30^0, S-поляризация, 300K

Компьютерное моделирование спектров на рис. 2 выполнялось с использованием метода матриц переноса. Матрицы переноса через слои КЯ строятся на основе формул экситонного отражения и пропускания, приведенных в работе [3]. На рис. 3 можно увидеть, что вклад экситонов в спектр отражения, при заданных параметрах, весьма существен.

В настоящей работе получено качественное и количественное соответствие спектров отражения для системы из 100 КЯ InGaN при выбранных параметрах экситонов в КЯ. В спектрах отражения наблюдается ярко выраженный узкий брэгговский пик, в то же время вклад экситонных состояний достаточно большой.

ЛИТЕРАТУРА

1. V.V. Chaldyshev, A.S. Bolshakov, E.E. Zavarin, A.V. Sakharov, W.V. Lundin, A.F. Tsatsulnikov, M.A. Yagovkina, T. Kim, Y. Park. Appl. Phys. Lett., 99, 251103 (2011).

2. А.С. Большаков, В.В. Чалдышев, Е.Е. Заварин, А.В. Сахаров, В.В. Лундин, А.Ф. Цацульников, М.А. Яговкина, ФТТ, 55, 9, 1706-1708 (2013).

3. Е.Л. Ивченко. ФТТ, 33, 2388–2393 (1991).

ДЕСУЛЬФАТАТОР КИСЛОТНО-СВИНЦОВЫХ АККУМУЛЯТОРОВ – РЕАЛЬНОСТЬ И ПЕРСПЕКТИВА

М.А. Косарева

Муниципальное бюджетное общеобразовательное учреждение «Гимназия № 5» городского округа Королёв (мкр. Юбилейный) Московской области

Нерешённой технической проблемой является сульфатация кислотно-свинцовых аккумуляторов. Цель работы заключается в создании бытового электронного устройства для десульфатации кислотно-свинцовых аккумуляторов. В этой работе решается частная задача по определению основных электрических характеристик электронного десульфататора. Исследовательская работа соответствует Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации, утверждённой Указом Президента РФ от 1 декабря 2016 года №642, являющейся основным документом при планировании научно-исследовательских работ [1]. С позиции химии процесс сульфатации объясняется взаимодействием свинца в аккумуляторных пластинах с концентрированной серной кислотой [2]. В результате на пластинах образуется белая диэлектрическая плёнка сульфата свинца II, которая препятствует прохождению электрического тока не только во время разряда аккумуляторной батареи, но и в процессе зарядки. Химический процесс сульфатации свинцово-кислотного аккумулятора известен более полувека и подробно описан в научно-технической литературе, например, по электрохимии [2, 3]. Химическая реакция сульфатации описывается следующим химическим уравнением: $Pb + 2H_2SO_4 + PbO_2 = 2PbSO_4 + 2H_2O$.

При правильном применении свинцово-кислотного аккумулятора сульфатация происходит медленно, поэтому о ней потребители обычно не вспоминают. Неприятности начинаются при грубых нарушениях правил пользования аккумуляторами. Диэлектрическая плёнка может стать такой плотной и толстой, что даже напряжение порядка 100В не сможет обеспечить процесс зарядки аккумулятора. Процесс сульфатации происходит как при штатном разряде аккумулятора, так и при хранении. Но особенности этого процесса

принципиально различны. При штатной работе образуются кристаллы сульфата свинца II, которые потом при зарядке аккумулятора вновь переходят в чистый свинец и оксид свинца IV. При саморазряде аккумулятора при долгом хранении, при малом токе саморазряда, кристаллы сульфата свинца II становятся очень мелкими, изолируют рабочие пластины от электролита, препятствуют прохождению электрического тока в цепи внутри аккумулятора. Получается, что сульфатированный аккумулятор нельзя зарядить, поэтому его приходится утилизировать или просто выбрасывать, а взамен покупать новый. Цель работы заключается в создании бытового электронного устройства для десульфатации кислотно-свинцовых аккумуляторов, не требующего лабораторного оборудования. В этой работе решается частная задача по определению основных электрических характеристик электронного десульфатора. Интерес к теме электронного восстановления сульфатированного аккумулятора появился после случайного знакомства со статьёй по этому направлению [5]. В настоящей работе электронная схема была повторена, а потом было предложено новое устройство - схема генератора с качающейся частотой импульсов. В этом устройстве диэлектрическая плёнка сульфата свинца II разрушается от воздействия импульсов тока продолжительностью 7-10 мкс при частоте следования 30 кГц и величине амплитудного напряжения до 20 В. Недостатком предлагаемого устройства является регулируемая частота, смысл регулировки которой теряется, потому что оптимальная или рациональная частота десульфатации индивидуальная для каждого аккумулятора. В настоящей работе предлагается принципиально усовершенствовать электронный блок управления десульфатором свинцово-кислотных аккумуляторов.

Рис. 1. Электронный блок управления десульфататором

Сначала на макетной плате была повторена электронная схема десульфатора без подключения аккумулятора, чтобы определить величину сопротивления и электроёмкости в блоке управления. Были получены два главных вывода. Во-первых, в десульфаторе достаточно регулировать сопротивление реостата от 10 кОм (частота 40 кГц) до 30 кОм (частота 17 кГц). Во-вторых, импульсы длительностью 3,3 мкс со скважностью 10, или коэффициентом заполнения 0,1 (10%), при линейной частоте 30 кГц обеспечиваются генератором при сопротивлении реостата 15 кОм и при электроёмкости конденсатора 4 нФ. Но главное, была обоснована необходимость дополнения схемы генератором сигналов плавающей частоты десульфатации, которая не известна и индивидуальна для каждого аккумулятора. Это новизна предстоящей перспективной работы. Схема лабораторного электронного блока управления десульфатором взята из статьи [5] и показана на рис. 1. Для проверки правильности сформулированных гипотез и предположений о возможности улучшения процесса десульфатации были проведены три опыта по восстановлению долго хранившихся без применения старых аккумуляторных батарей [6–8]. Первый аккумулятор был выведен из эксплуатации год назад из-за снижения электроёмкости и плохого процесса зарядки. Второй аккумулятор от компьютерного блока бесперебойного питания хранился без применения 7 лет. Третий аккумулятор не применялся 4 года. Режим десульфатации был выбран почти таким же, как в статье [5], но длительность импульсов была уменьшена с 7-10 мкс до 3-5 мкс. Частота импульсов 30 кГц была сохранена, амплитуда импульсов была увеличена с 20 В до 27 В. Длительность импульса была уменьшена до 3 мкс, чтобы более явно выявить факт начала процесса десульфатации. Действительно, такие импульсы при скважности 10 и вдвое повышенной амплитуде в пять раз слабее заряжают аккумулятор, чем постоянный ток. На рис. 1 показаны характерные осциллограммы процесса восстановления этих трёх кислотно-свинцовых аккумуляторных батарей. Характеристики импульсов при отладочном напряжении питания 12 В показаны на осциллограммах №1 и №2. После подключения входного стабилизатора напряжения на основе микросхемы 7812 амплитуда импульсов была увеличена до 27 В, то есть до предельного режима работы микросхемы-стабилизатора напряжения. Кратковременные включения показали, что устройство работает даже при напряжении 40 В, но микросхема может перегореть в любой момент. Первый аккумулятор через 20 минут после подключения к десульфатору показал осциллограмму №3 нормальной батареи. Фактически это нормальный аккумулятор с тонким слоем сульфата свинца II на пластинах, который очень быстро был разрушен с помощью собранного устройства. Второй аккумулятор с самым большим сроком пассивного хранения и начальным напряжением всего 0,5 В сначала показывал осциллограмму №4 полностью вышедшего из строя устройства. Однако через 4 часа на осциллограмме №5 появились сначала небольшие пики, через 8 часов десульфатации пики стали выражены явно, появилась возможность подключить штатное зарядное устройство. После зарядки аккумулятора сравнительно слабым током 300 мА при допустимом токе заряда 2800 мА контрольная осциллограмма №3 на десульфаторе показала нормальный режим работы батареи. На рис. 1 показан график возрастания тока зарядки второго аккумулятора в процессе десульфатации свинцовых пластин. Начальный ток зарядки был 9 мА при напряжении 27 В, то есть соответствовал внутреннему сопротивлению

батареи 3 кОм. Через 4 часа после начала процесса десульфатации ток заряда увеличился до 27 мА при напряжении 27 В, то есть внутреннее сопротивление батареи уменьшилось в три раза и стало равно 1 кОм. При дальнейшей работе с этим аккумулятором внутреннее сопротивление снизилось до 1 Ом, что доказало эффективность процесса десульфатации с помощью предложенного устройства. Третий аккумулятор, хотя и хранился 4 года в пассивном режиме, а не 7 лет, как второй аккумулятор, даже после восьми часов десульфатации не удалось «оживить», осциллограмма №4 продолжала оставаться почти в виде линии, что доказывает очень толстый слой мелкокристаллического оксида свинца II на рабочих пластинах. Самый плохой аккумулятор обеспечивал ток заряда 3 мА при напряжении 30 В, то есть имел внутреннее сопротивление 10 кОм, которое пока не удалось уменьшить. Объяснить такое большое внутреннее сопротивление можно толстой плёнкой сульфата свинца II на рабочих свинцовых пластинах. Была высказана гипотеза, что при более длительных сроках процесса десульфатации толстая плёнка диэлектрика будет постепенно разрушена, поэтому опыты с этим аккумулятором продолжаются.

ЛИТЕРАТУРА

1. Стратегия научно-технологического развития Российской Федерации. Указ Президента Российской Федерации от 1 декабря 2016 года № 642.2. Федотьев Н.П. Прикладная электрохимия. - Химия, 1962. - 642 с.

2. Федотьев Н.П. Прикладная электрохимия. - Химия, 1962. - 642 с.

3. В.Г. Дувинг, И.А. Казаринов, М.М. Бурашникова. Устройство для заряда сульфатированного свинцово-кислотного аккумулятора импульсным асимметричным током / Электрохимическая энергетика. - 2012. Т. 12, № 1. С. 21-24.

4. Для чего нужна десульфатация аккумулятора и как её проводить? – Электронный ресурс: http://akbinfo.ru/ustrojstvo/desulfatacija-akkumuljatora.html.

5. Электронное восстановление аккумулятора. – Электронный ресурс: https://sdelaysam-svoimirukami.ru/4038-elektronnoe-vosstanovlenie-akkumulyatora.html.

6. Косарева М.А. Десульфатация кислотно-свинцовых аккумуляторов / Материалы XXX Международной конференции "Современные информационные технологии в образовании 2019". Часть 2. Ред. группа: Алексеева О.С., Григоренко М.М., Киревнина Е.И., Новикова Т.С. - Фонд "Байтик". - Троицк-Москва, 25 июня 2019 г. - Москва-Троицк: Изд-во "Тровант", 2019. – 167 с. - С. 115-117. - Эл. ресурс: https://ito2019.bytic.ru/uploads/files/compilation2019.pdf.

7. Косарева М.А. Электронный блок для управления десульфатором свинцово-кислотных аккумуляторов / Механика и моделирование материалов и технологий. Сборник трудов. Секция Международной молодёжной научной конференции "XLV Гагаринские чтения", 16-19 апреля 2019 г. - М.: ИПМех РАН, 2019. - 198 с.

8. Косарева М.А. Формирование требований к электронному блоку управления десульфатора свинцово-кислотных аккумуляторов / Материалы Международного молодёжного научного форума "Ломоносов 2019", 8-12 апреля 2019 г. - М.: МГУ им. М.В. Ломоносова.

БАЛОЧНЫЙ МИКРОКАНАЛЬНЫЙ РЕЗОНАТОР КАК ДЕТЕКТОР МАССЫ НАНОЧАСТИЦ В ПРОТЕКАЮЩЕМ ПОТОКЕ ЖИДКОСТИ

Ю.С. Ледовская, *А.В. Лукин, И.А. Попов*
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

В настоящее время большой интерес вызывают наномеханические резонаторы из-за их особо высокой чувствительности. Данные устройства применяются в различных областях инженерии и науки для обнаружения широкого спектра физических и химических величин, в системах наномеханических и нанобиологических устройств. В частности, наномеханические резонаторы используются для: области зондирования, связи, сбора энергии и в микрофлюидных устройствах [3]; доставки наночастиц и транспортировки жидкости, в качестве транспортера или контейнера нанобиологических устройств для доставки лекарств [6]; массового обнаружения небольших биологических элементов, таких как молекулы, вирусы и бактерии [7]. Указанные системы способны обнаруживать силы, присутствующие во внутримолекулярных ковалентных связях или даже количественную оценку массы одного протона [8], концентрацию газа, а также, изменения давления и температуры [7].

Развитие микрофлюидики привело к появлению приборов, в которых осуществляется воспроизводимое управление нано- и пиколитровыми объемами жидкости [1]. Одной из важных функций микрофлюидных чипов является определение массы нано- и микрочастиц [2, 3]. Для достижения этой цели могут быть использованы микроканальные резонаторы, осуществляющие упругие колебания при управляемом внешнем возбуждении.

Предметом настоящего исследования являются балочные микрорезонаторы с жидкостью, которые уже были описаны в работе [3]. На основе выбранного исследования воспроизводятся результаты [3], отрабатываются численные алгоритмы решения выбранного класса задач: модальной дискретизации, решения нелинейных операторных уравнений. Однако, в работе [3] не учтен электростатический принцип возбуждения колебаний. При взятии его во внимание, задача становится существенно нелинейной, в силу того, что соответствующее

слагаемое является нелинейным. Таким образом, суть настоящей работы – исследование нелинейной части уравнения резонатора, полученной из-за рассмотрения электростатического принципа возбуждений.

Предлагается математическая модель балочного микроканального резонатора с электростатическим принципом возбуждения колебаний, предназначенного для определения массы наночастиц, движущихся в потоке протекающей по каналу резонатора жидкости. Уравнение динамики микроканального резонатора с учетом протекающей жидкости, расположенной в канале нано-частицы и действующего электрического поля имеет вид:

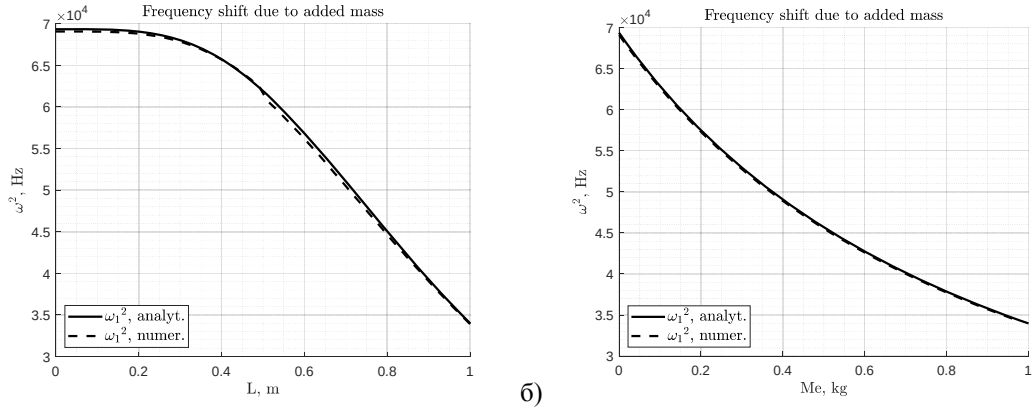
$$EI\frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + \alpha m_f U^2 \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + 2m_f U \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial t} + \left(m_p + m_f\right)\frac{\partial^2 w}{\partial t^2} + c\frac{\partial w}{\partial t} + \left(m_e U^2 \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + 2m_e U \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial t} + m_e \frac{\partial^2 w}{\partial t^2}\right)\delta(x - x_c) = \frac{\varepsilon_0 b V^2}{2(d-w)^2}.$$

Здесь: EI – классическая изгибная жесткость микротрубки, m_f – масса жидкости на единицу длины, U – постоянный средний расход скорости, m_p – масса трубы на единицу длины, c – коэффициент вязкого демпфирования из-за трения с внешней окружающей жидкостью, «фактор изменения профиля потока», представляющий неоднородный эффект внутреннего потока жидкости, w (x, t) – боковое отклонение трубы, где x и t – осевая координата и время соответственно, d – ширина зазора конденсатора, ε_0 – диэлектрическая проницаемость среды, V – напряжение поляризации, b – ширина балки.

Целью исследования является определение спектральных характеристик резонатора (его собственных частот) в зависимости от массы и положения частицы, скорости потока жидкости и значения постоянной компоненты электрического напряжения.

С целью отработки используемых аналитических и численных методов, на первом этапе исследования каждый из перечисленных факторов рассматривается отдельно. В виде модели микрорезонатора рассмотрим модель микрорезонатора в виде балки, закрепленного с левого конца, с добавочной массой. Уравнения колебаний и граничные условия вида: $EI\frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + \alpha m_f U^2 \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + 2m_f U \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial t} + \left(m_p + m_f\right)\frac{\partial^2 w}{\partial t^2} + c\frac{\partial w}{\partial t} = 0$; $X(0) = 0$, $\frac{\partial X}{\partial x}(0) = 0$, $\frac{\partial^2 X}{\partial x^2}(l) = 0$, $EI\frac{\partial^3 X}{\partial x^3}(l) = M_e\frac{\partial^2 w}{\partial t^2}(l)$.

Решение исходного уравнения найдено методом Галеркина. Решение представлено в виде ряда по собственным функциям задачи без массы на балке. Запись проекционных условий приводит к системе линейных алгебраических уравнений, определитель которой дает частотные уравнения. В следствие чего, получены частоты колебаний балочного микрорезонатора. Найдены зависимости частот колебаний балки с точечной определенной массой от ее положения на балке, а также зависимости частот колебаний балки с частицей от ее массы при точном положении частицы на микрорезонаторе. Кроме того, решения получены с помощью метода конечных элементов в программной системе Ansys. На рис. 1 представлены сравнения анлитического и численного решений. Результаты получены при параметрах: материал – сталь, ширина сечения балки 10^{-3} м, высота сечения балки $50 \cdot 10^{-3}$ м, длина балки 1 м, масса частицы 1 кг. Как видно, наблюдается хорошее согласие аналитических и численных испытаний. Отметим, что при увеличении высоты сечения к длине балки наблюдается рост расхождения результатов, т.к. модель Эйлера-Бернулли с ростом балки менее чувствительна.



а) б)

Рис. 1. Зависимости частот колебаний микрорезонатора от:
а) изменения положения частицы, б) массы частицы на нем

Далее, исследована модель балочного микрорезонатора типа кантилевер с протекающей жидкостью. Данная система является неконсервативной и анализ ее спектральных свойств затруднен в связи с комплексно значностью ее собственных частот [5, 9]. Исследована потеря упругой устойчивости микроканального резонатора по сценариям дивергенции и флаттера в зависимости от типа граничных условий. Полученные результаты сравнены с результатами взятой за основу исследования статьи [3], получены результаты колебаний системы под воздействием электрического поля.

Развитые аналитические и численные методы позволяют построить модель балочного микроканального резонатора с учетом всех действующих факторов. Построенная модель позволит создать точную систему, которая может быть использована для определения массы частицы и ее положения в потоке жидкости.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кухтевич И.В. Микрофлюидные чипы для исследования биологических объектов методами микроскопии высокого разрешения. Научно-технический вестник Санкт-Петербургского государственного университета информационных технологий, механики и оптики. 2012. № 1 (77).

2. Zhang Wen-Ming et al. A measurement criterion for accurate mass detection using vibrating suspended microchannel resonators. Journal of Sound and Vibrations. 2017. № 403.

3. Wang Lin et al. Vibration analysis of suspended microchannel resonators characterized as cantilevered micropipes conveying fluid and nanoparticle. Microsystem Technologies. 2019. № 25.

4. Michael P. Paidoussis. Fluid-structure interactions. Academic Press. 1998.

5. T.B. Benjamin. Dynamics of a System of Articulated Pipes Conveying Fluid. I. Theory. Proceedings the royal of society. 1961.

6. Lee H.-L., Chang W.-J. (2011) Dynamic modelling of a single-walled carbon nanotube for nanoparticle delivery. Proc R Soc A 467:860–868.

7. Adam Bouchaala, Ali H. Nayfeh, Mohammad I. Younis. Analytical study of the frequency shifts of micro and nano clamped–clamped beam resonators due to an added mass. Meccanica (2016) DOI 10.1007/s11012-016-0412-4.

8. Randi Potekin, Seok Kim, D. Michael McFarland, Lawrence A. Bergman, Hanna Cho, Alexander F. Vakakis. A micromechanical mass sensing method based on amplitude tracking within an ultra-wide broadband resonance. Nonlinear Dyn (2018) 92:287–304.

9. Stephanie Rinaldi, Sairam Prabhakar, Srikar Vengallatore, Michael P. Paidoussis. Dynamics of microscale pipes containing internal fluid flow:Damping, frequency shift, and stability. Journal of Sound and Vibration (2010).

ДЕФОРМАЦИЯ ФОНОННОГО СПЕКТРА ДИСПЕРГИРОВАННОГО ГАЛЛИЯ

В.П. Назаров

Российский государственный педагогический университет им. А.И. Герцена

Диспергирование вещества до размеров ~ 100 Å приводит к изменению его физических свойств и одной из причин этих изменений предполагается деформация фононного спектра. Месбауэровская спектроскопия чувствительна к изменениям фононного спектра и представлялось целесообразным получить информацию об изменениях фононного спектра при диспергировании жидкого галлия в пористом стекле с размерами пор ~ 70 Å. Сплав олова с галлием готовили растворением металлического ^{119}Sn в жидком галлии (температура плавления эвтектического сплава ~ 293 К). Жидкий сплав помещали между двумя корундовыми пластинками, толщина металлического слоя была $(70 \pm 1)\cdot 10^{-6}$ м. Для получения диспергированного галлия жидкий сплав вводилась в пористое стекло с диаметром пор ~ 70 Å под давлением ~ 5 кбар. Мессбауэровские спектры ^{119}Sn снимались с источником относительно которого приводятся изомерные сдвиги. Температуру поглотителя контролировали с погрешностью ± 0.05 К.

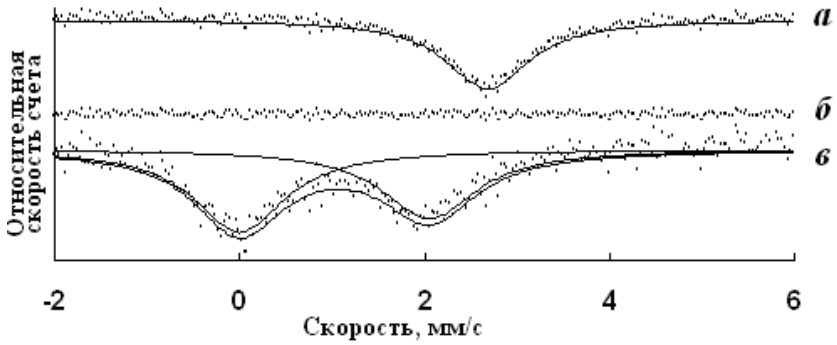


Рис. 1. Мессбауэровские спектры примесных атомов ^{119}Sn в металлическом галлии при температурах 292,40 (*а*) и 292,50 *К* (*б*), в мелкодисперсном галлии при температуре 298,15 К (*в*).
Линия на скоростном спектре при 0 мм/с соответствует SnO_2, образующейся при синтезе образца

Мессбауэровские спектры сплавов галлий-олово при температурах ниже 292,45 К представляли собой одиночные несколько уширенные линии (рис. 1 *а*) с изомерным сдвигом IS = 2,68(2) мм/с и шириной на полуыфсоте G = 1,10(2) мм/с. Изомерный сдвиг спектров практически совпадал с изомерным сдвигом спектра металлического олова (для которого IS = 2,70 мм/с и G = 1,10 мм/с). Это не явилось неожиданностью, поскольку в твердом состоянии эвтектический сплав галлия с оловом представляет собой двухфазную систему.

Как видно на рис. 1 *б*, эффект безотдачного поглощения гамма-квантов ядрами ^{119}Sn внезапно исчезает в интервале температур (292,45 ± 0,05) К. Характерно, что вплоть температуры 292,45 площадь под спектрами уменьшалась очень незначительно, что связано со слабой температурной зависимостью коэффициента Мессбауэра. Согласно полученным данным, изомерные сдвиги спектров сплавов и ширина не зависят от температуры вплоть до момента исчезновения спектра. Отсутствие такой зависимости для изомерного сдвига объясняется тем, что вплоть до температуры плавления не происходит заметного растворения олова в твердом галлии. Поскольку при 289 – 292 К коэффициент диффузии олова в галлии мал (~ 10^{-21}м^2·с$^{-1}$ [4]), то не должно наблюдаться диффузионного уширения спектров сплавов, что и было подтверждено на опыте.

Резкое исчезновение спектра ^{119}Sn в сплаве при 292.45 ± 0,05 *К* может быть обусловлено либо аномально резким уменьшением эффективной дебаевской температуры, либо резким возрастанием коэффициента самодиффузии олова при плавлении, либо обеими этими причинами.

На рис. 1 *в* представлен мессбауэровский спектр примесных атомов ^{119}Sn в мелкодисперсном галлии при 298,15 *К*. При температурах ниже 298,15 К спектры представляли собой одиночные несколько уширенные линии с параметрами IS = 2,05 мм/с и *G* = 1,25 мм/с, т.е. иэомерный сдвиг спектров диспергированных сплавов существенно отличается от изомерного сдвига спектра металлического олова и близок к изомерному сдвигу серого олова (для серого олова IS = 2,00 мм/с и *G* = 0,85 мм/с). Отметим три факта: при 80 К для мелкодисперсного образца наблюдается значительно большая величина эффекта, чем для массивного; температурная зависимость величины эффекта для мелкодисперсного образца оказалась весьма значительной (отношение площадей под спектрами при 80 К и 160 *К* порядка 10); для мелкодисперсного образца при 298,15 *К* (т.е. при температуре выше температуры плавления) величина эффекта отлична от нуля. Для мелкодисперсного галлия величина коэффициент Мессбауэра *f* при 80 *К* возрастает по сравнению с *f* массивного галлия за счет «ужесточения» фононного спектра, причем это «ужесточение» проявляется не в виде смещения всего спектра в высокочастотную область, а в виде исчезновения низкочастотной части спектра.

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕРМОЭДС И ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ КОЛЛОИДНОГО РАСТВОРА ГИДРООКСИДА ЖЕЛЕЗА (III)

***Л.А. Оборотова**, В.А. Герега*
Российский государственный педагогический университет им. А.И. Герцена

В современной физике значительное место занимает исследование теплоты переноса ионов и их влияние на образование величины термоэдс коллоидных растворах электролитов. Отличительной особенностью термоэлектрических явлений в жидкостях является наличие не только теплопереноса, но и массопереноса. Актуальность исследования коллоидных растворов обусловлена тем, что такие системы широко распространены в природе и являются основными компонентами живых организмов. Диффузионные процессы в прямой зависимости от температуры, играют важную роль в формировании термоэдс. Настоящая работа посвящена рассмотрению результатов исследования зависимости термоэдс коллоидного раствора гидроксида железа (III) от величины градиента температур и концентрации раствора, а также зависимости его электропроводности от температуры и концентрации. Выбор объекта исследования обусловлен тем, что этот коллоидный раствор железа хорошо выдерживает и нагревание, и действие электролитов. Таким образом, при создании градиента температур это вещество не будет испытывать качественных изменений.

Эксперимент заключается в том, что, когда вдоль заполненной раствором электролита U-образной трубки создается перепад температуры, возникает термоэлектрический эффект. Наличие термоэдс в растворе, объясняется тем, что электродный потенциал зависит от температуры, и различной скорости ионов разного знака, которые участвуют в процессе переноса под действием термодиффузии [1]. При этом величина термоэдс в приэлектродных областях остается постоянной в отсутствии массопереноса жидкости [2, 3].

Для оценки значения термоэдс измеряется напряжение между электродами, опущенными в раствор. Заметная разница между значениями напряжения электродов в условиях отсутствия и наличия градиента температуры говорит о наличии термоэлектрического эффекта.

Гидрофобный золь коллоидных частиц $Fe(OH)_3$ был получен в результате реакции гидратации раствора хлорного железа в кипящей дистиллированной воде. Образующиеся в результате химической реакции нерастворимые мицелы $[Fe(OH)_3]_n$ стабилизируются за счет адсорбции поверхностью потенциалопределяющих ионов FeO^+, с образованием ядра коллоидной частицы, несущей положительный заряд. Ионы Cl^- образуют адсорбционный и диффузионный слои противоионов коллоидной частицы [4].

Эксперимент был проведен для 0,2%-го и 2%-го растворов $FeCl_3$. На основе каждого из них было приготовлено пять коллоидных растворов с различной концентрацией раствора в 250 мл дистиллированной воды. С шагом в 10 мл постепенно увеличивали концентрацию раствора хлорного железа до 50 мл.

Следующим этапом было изучение влияния концентрации коллоидного $Fe(OH)_3$ на величину термоэдс посредством экспериментальной установки на базе лаборатории термоэлектричества ЕГУ им. И.А. Бунина (рис. 1–2). На основе проведенных измерений можно сделать вывод о том, что концентрация раствора мало

влияет на коэффициент термоэледс. Из наклона линейно аппроксимированных графиков его можно оценить как $\alpha \approx 330$ мкВ/К.

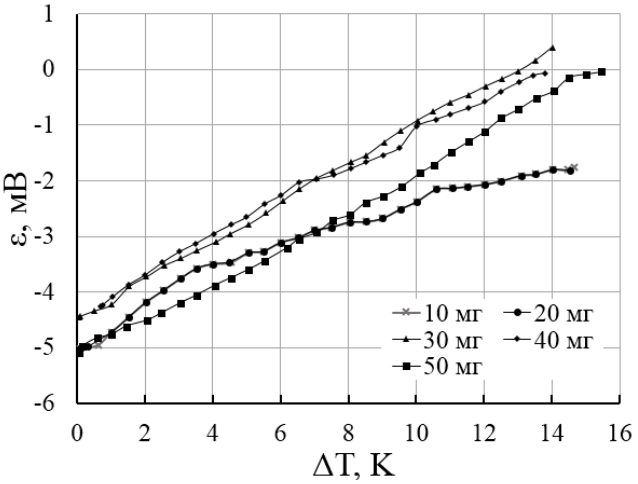


Рис. 1. Термоэдс р-ра $Fe(OH)_3$ при 0,2%-ой концентрации $FeCl_3$

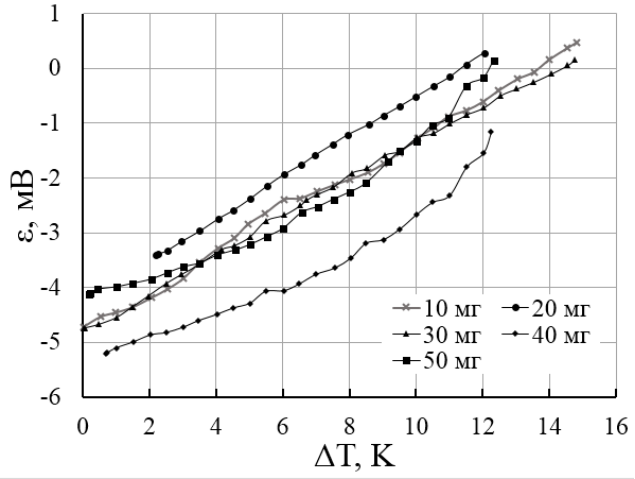


Рис. 2. Термоэдс р-ра $Fe(OH)_3$ при 2%-ой концентрации $FeCl_3$

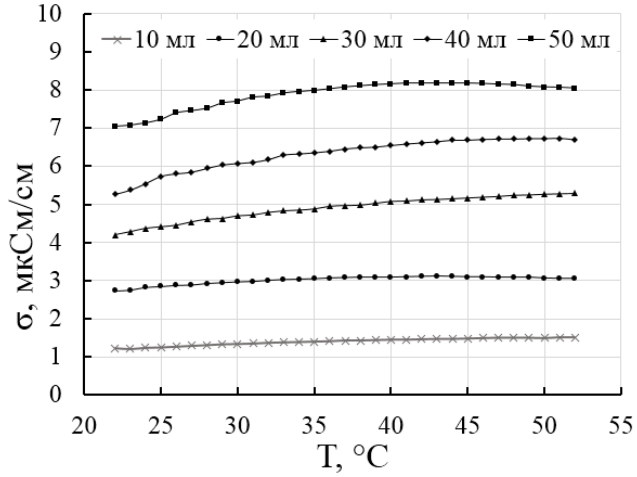


Рис. 3. Электропроводность р-ра Fe(OH)3 при 0,2%-ой концентрации FeCl3

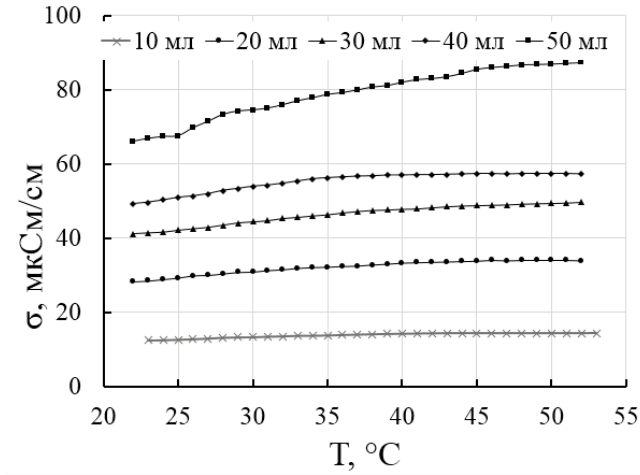


Рис. 4. Электропроводность р-ра Fe(OH)3 при 2%-ой концентрации FeCl3

Под действием градиента электрического потенциала в электролитах, коллоидных и водных растворах ионных соединений, протекает электрический ток. Перед нами стояла задача измерить электропроводность коллоидных раствора и определить ее зависимость от концентрации. С помощью кондуктометра было определено значение электропроводности раствора электролита $FeCl_3$ и коллоидного $Fe(OH)_3$ различных концентраций (рис. 3, 4).

По итогам экспериментального измерения можно сделать вывод, что с ростом концентрации коллоидных растворов, значение электропроводности увеличивается по абсолютному значению. При низкой концентрации электропроводность слабо зависит от изменения температуры, а при увеличении концентрации уже заметен рост электропроводности при повышении температуры, что обусловлено увеличением скорости движения ионов.

Таким образом, нами выяснено, что концентрация коллоидного раствора $Fe(OH)_3$ слабо влияет на величину термоэдс, но значительно влияет на величину электропроводности раствора и характер ее зависимости от температуры.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бокштейн Б.С. Термодиффузия // Соросовский образовательный журнал, 1999. – № 4. – С. 40–43.

2. Грабов В.М., Зайцев А.А., Кузнецов Д.В., Сидоров А.В. Термодиффузионные потоки в растворах электролитов // Вестник физико-математического факультета ЕГУ им. И.А. Бунина, 2007. – № 2. – С. 157–164.

3. Грабов В.М., Зайцев А.А., Кузнецов Д.В., Сидоров А.В., Новиков И.В. Термоэлектрокинетический эффект в слабых водных растворах электролитов // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. «Естественные науки», 2008. – № 3. – С. 112–122.

4. Малинская В.П., Ахметханов Р.М. Получение и свойства коллоидных растворов: учебное пособие. – Уфа, 2011. – 80 с.

СХОДЯЩАЯСЯ ТЕОРИЯ ВОЗМУЩЕНИЙ В КВАНТОВОЙ ТЕОРИИ ПОЛЯ

А.В. Овсянников
Санкт-Петербургский государственный университет (СПбГУ)

Работа посвящёна описанию способа построения и исследования сходящихся рядов теории возмущений в классе квантово-полевых моделей с n-компонентным полем и однородным по полям и их производным взаимодействием. Полученные результаты позволяют легко обобщить предлагаемый подход и на другие классы моделей квантовой теории поля (КТП).

Основной областью приложения такого исследования следует считать современную теорию критических явлений, активно использующую методы КТП. Такой выбор является следствием того, что при описании критического поведения в рамках теории возмущений мы традиционно имеем ситуацию, когда соответствующие ряды – асимптотические, а параметр разложения конечен, но не мал. Подобное положение дел является, в некотором смысле, является промежуточным относительно физики элементарных частиц, где либо, ввиду малости параметра разложения, непертурбативные эффекты не существенны, и теория возмущений дает хорошую основу для численных аппроксимаций (квантовая теория электрослабых взаимодействий), либо теория возмущений не неприменима при некоторых условиях (квантовая хромодинамика).

Критическое поведение традиционно описывается методами ренормализационной группы (РГ) в формализме некоего регулярного, обычно $4-\epsilon$, разложения. Здесь ε – отклонение размерности пространства от логарифмической размерности теории. На основе инстантонного анализа асимптотик высоких порядков (АВП), предложенного Липатовым [1], в [2] было показано, что ряды теории возмущений характеризуются факториальным ростом коэффициентов и носят асимптотический характер, что делает их непосредственное использование для вычисления физически важных характеристик невозможным. Для решения данной проблемы традиционно применяются различные методы Борель-пересуммирования [3].

Однако существует альтернативный подход к приложению квантово-полевых разложений, предложенный в работе [4] для исследования стандартной для описания критического поведения теории $\phi^4(O_n)$, который приводит непосредственно к сходящейся теории возмущений, правда, по некоторому новому дополнительному параметру. Метод РГ для такого разложения был развит в работах [5, 6] и, как было показано, позволяет более объективно оценивать погрешность современных квантово-полевых вычислений и предоставляет новый подход к решению принципиально новых задач.

Очевидные с математической точки зрения преимущества данного подхода инициировали попытки его расширения на более общий класс рассматриваемых моделей [7, 8], однако в этих работах авторы, вслед за оригинальной работой [4], пользуются неравенствами Соболева, вместо более точного анализа, предложенного позднее в [5, 6]. Исправление данной неточности – один из полученных нами результатов.

Действие для рассматриваемого класса моделей можно символически записать в виде $S=\frac{1}{2}\phi_\alpha K_{\alpha\beta}\phi_\beta + gF\{\phi,\partial\phi\}$, где g – константа взаимодействия теории. Здесь введены следующие обозначения $\phi\equiv\{\phi_\alpha(x)\}$ – n-компонентное поле, $\alpha=1,\dots,n$, в аргумент x которого стандартно объединены все непрерывные и дискретные степени свободы, характеризующие ϕ_α, $\partial\phi\equiv\{\partial_i^k\phi_\alpha(x)\}$ – совокупность производных полей, символ $\partial_i^k\equiv\partial^k/\partial\, x_i^k$ – k-я производная по координате x_i в D-мерном пространстве, $i=1,\dots,D$, $k=1,\dots,m$.

Свободную часть S определяет квадратичная форма $\phi_\alpha K_{\alpha\beta}\phi_\beta$, в которой, не ограничивая общность, $K\equiv\{K_{\alpha\beta}\}$ можно считать линейной интегральной операцией с симметричным по всем переменным ядром. Аналогично, взаимодействие $F\{\phi,\partial\phi\}$ представляется интегральным функционалом с плотностью $\mathfrak{F}(x,\partial\phi)$ – однородной по всем аргументам функцией с вещественным показателем однородности $\Delta_F>2$. Суммирование по всем дискретным и интегрирование по непрерывным переменным всюду подразумеваются.

Предполагается, что в теориях из класса, характеризуемого действием S, проведено стандартное исследование АВП коэффициентов разложений физических величин по методу [1] или, что тоже самое, их функций Грина. В частности, это предположение означает, что для системы уравнений стационарности для S

$$\begin{cases} K_{\alpha\beta}\phi_\beta + g\,\delta F\{\phi,\partial\phi\}/\delta\phi_\alpha = 0. \\ \qquad F\{\phi,\partial\phi\} = -1/g, \end{cases}$$

имеется нетривиальное решение инстантонного типа в виде набора функций $\left\{\phi_\alpha^{(c)}(x)\right\}$ и точки стационарности g_c. Символ $\delta/\delta\phi_\alpha$ обозначает здесь соответствующую функциональную производную по полю ϕ_α.

Для получения квантово-полевых разложений с контролируемой аналитически сходимостью в классе теорий с действием S был произведён переход к новому действию $S(\zeta)$ аналогично тому, как это было сделано в [4]

$$S\longrightarrow S(\zeta)=\tfrac{1}{2}\phi_\alpha K_{\alpha\beta}\phi_\beta + g\zeta F\{\phi,\partial\phi\} + a(1-\zeta)\mathfrak{F}\left([\phi K\phi]^{1/2}\right),$$

где ζ – числовой параметр преобразования, причём $S(\zeta=1)=S$, a – некоторое положительное вещественное число и для всякого выражения в квадратных скобках $[\dots]$ здесь и всюду далее подразумевается интегрирование по непрерывным и суммирование по дискретным аргументам. Выражение $\mathfrak{F}\left([\phi K\phi]^{1/2}\right)$ представляет собой результат следующей формальной замены аргументов: $\phi_\alpha\to[\phi K\phi]^{1/2}$ и $\partial_i\phi_\alpha\to[\phi K\phi]^{1/2}$ для каждого $\alpha=$

$1, \dots, n$ и $i = 1, \dots, D$. Отсюда немедленно следует, что $\mathfrak{F}\big([\phi K \phi]^{1/2}\big)$, являясь однородной функцией одного аргумента порядка Δ_F имеет вид $\mathfrak{F}\big([\phi K \phi]^{1/2}\big) = \mathrm{C}[\phi K \phi]^{\Delta_F/2}$, где константа C есть $\mathfrak{F}(1{,}1)$.

Пропорциональность плотности $\mathfrak{F}$ некоей степени $[\phi K \phi]$ после описанной замены аргументов позволила получить для $2s$-хвостых функций Грина $G_{\alpha_1 \dots \alpha_{2s}}$ в теориях $S(\zeta)$ представление в виде

$$G_{\alpha_1 \dots \alpha_{2s}} = \mathcal{Q}_s \int \mathcal{D}\phi \ \phi_{\alpha_1}(x_1) \dots \phi_{\alpha_{2s}}(x_{2s}) \exp\big(-\tilde{S}\big),$$

где оператор $\mathcal{Q}_s$ и новое действие $\tilde{S}$, соответственно, даются выражениями

$$\mathcal{Q}_s = \int dy \ \mathcal{G}(y)/(1+2iy)^s, \quad \mathcal{G}(y) = \int_0^\infty dz \exp\big(-a(1-\zeta)\mathrm{C} z^{\Delta_F/2} + iyz\big),$$

$$\tilde{S} = \frac{1}{2}\phi_\alpha K_{\alpha\beta}\phi_\beta + q\, F\{\phi, \partial\phi\}, \quad q = g\zeta/(1+2iy)^{z^{\Delta_F/2}}.$$

Отсюда видно, что с точностью до замены вершин $g \to q$ диаграммная техника для теорий $S(\zeta)$ и S совпадает.

Выбор показателя $1/2$ квадратичной формы в контрчлене $\mathfrak{F}\big([\phi K \phi]^{1/2}\big)$ продиктован размерными соображениями и обеспечивает одинаковую степень однородности для него и функционала $F\{\phi, \partial\phi\}$, что и позволяет применить метод перевала для анализа АВП коэффициентов разложения $G_{\alpha_1 \dots \alpha_{2s}}$. В ходе проведённого анализа было построено решение системы уравнений стационарности

$$\begin{cases} a(1-\zeta)\mathfrak{F}(1{,}1)[\phi K \phi]^{(\Delta_F-2)/2} K_{\alpha\beta}\phi_\beta + g\zeta\, \delta F\{\phi, \partial\phi\}/\delta\phi_\alpha = 0. \\ gF\{\phi, \partial\phi\} - a\mathfrak{F}\big([\phi K \phi]^{1/2}\big) = -1/\zeta, \end{cases}$$

в виде $\phi_\alpha^{(st)}(x)/\big[\phi^{(st)} K \phi^{(st)}\big]^{1/2} = w\ \phi_\alpha^{(c)}(x)$, $\zeta_{st} = 1/\big(1 + g/\big(a g_c {\Delta_F}^{\Delta_F/2}\big)\big)$, $g_c w^{2-\Delta_F} = g\zeta_{st}/a(1-\zeta_{st})\,\Delta_F$. По известной точке стационарности радиус сходимости R теории возмущений определяется тривиально: $R = |\zeta_{st}|$. Видно, что при $a \to -g/g_c {\Delta_F}^{\Delta_F/2}$ радиус $R \to \infty$. Таким образом при надлежащем образом выбранном значении параметра a, теория возмущений по ζ сходится всюду, в том числе и в «физической» точке $\zeta = 1$.

ЛИТЕРАТУРА

1. Л.Н. Липатов. ЖЭТФ 72:2 (1977), с. 411-421.
2. J. Zinn-Justin. Quantum Field Theory and Critical Phenomena. Oxford: Oxford University Press, 2002.
3. Kleinert H. Critical Properties of φ4-Theories. — Singapore: World Scientific Publishing, 2001. — C. 512.
4. A.G. Ushveridze. B: Yad. Fiz. 38.798 (1983).
5. Honkonen Juha, Nalimov Mikhail. Convergent expansion for critical exponents in the O(n)-symmetric 4 model for large // Physics Letters, Section B: Nuclear, Elementary Particle and High-Energy Physics. — 1999. — 1. — Vol. 459, no. 4. — Pp. 582–588.
6. Honkonen J., Komarova M., Nalimov M. Large order asymptotics and convergent perturbation theory for critical indices of the φ 4 model in 4−ϵ expansion // Acta Phys. Slov. — 2002. — Vol. 52. — Pp. 303–310.
7. V.K. Sazonov. Convergent perturbation theory for lattice models with fermions. B: International Journal of Modern Physics A 31.13 (май 2016).
8. Aleksandr Ivanov и Vasily Sazonov. Infinite lattice models by an expansion with a non-Gaussian initial approximation. B: Physics Letters B796 (сент. 2019).

МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ТОНКИХ ПЛЕНОК, РАЗРАБОТАННЫЙ НА ОСНОВЕ МЕТОДОВ ИНТЕРФЕРОМЕТРИИ ПЕРЕМЕННОГО УГЛА ПАДЕНИЯ

А.А. Карпова, Е.И. Котова, ***А.Д. Парфёнова****, С.А. Щеглов*
Университет ИТМО

Развитие нанотехнологий стимулирует развитие методов исследования тонких плёнок и плёночных покрытий. При этом интерес представляют плёнки, толщины которых составляют несколько нанометров (сверхтонкие плёнки). Такие плёнки широко используются в микроэлектронике, нанофотонике, вычислительной технике и промышленности, оптике и оптоэлектронике, космической и бытовой промышленности, в разнообразных технических отраслях. Особое внимание уделяется в силу специфичности их свойств проводящим плёнкам [1].

При этом даже с учетом хорошо разработанных технологий изготовления тонких плёнок, мы получаем плёнки, характеристики которых изменяются в зависимости от той технологии, с помощью которой они были произведены. Также характеристики плёнок зависят от времени и со временем, как правило, ухудшаются.

Таким образом, актуальной является задача измерения параметров тонких плёнок. Помимо наиболее распространённых методов, в которых применяется атомно-силовой микроскоп, есть несколько классических методов, в том числе распространённые методы интерферометрии переменного угла падения, такие как VAMFO [2], CARIS, Метод Плискина [3]. Перед нами стояла задача разработать методику измерения параметров тонких плёнок. Мы приняли решение для выполнения нашей задачи использовать один из классических методов,

которые в ряде прикладных задач могут быть более эффективны, нежели методы с применением атомно-силового микроскопа, поскольку они наглядны, математический аппарат методов может быть улучшен или адаптирован для задачи измерения параметров пленок специфической структуры, а также данные методы могут быть с высокой эффективностью использованы в учебном процессе для обучения студентов. Нами был выбран метод Плискина. Метод Плискина является развитием метода VAMFO, в методе используется методика уточнения показателя преломления. Во всех методах интерферометрии переменного угла падения на первом этапе измеряются на рефрактометре отражательного типа спектры отраженного сигнала в зависимости от угла падения луча лазера на образец с тонкой пленкой. Далее производится выделение в спектре максимумов и минимумов, анализ полученных экстремумов методом параболической регрессии, в этом случае анализируемая зависимость $I(\Theta)$ вблизи экстремума заменяется параболической функцией вида, приведенного ниже:

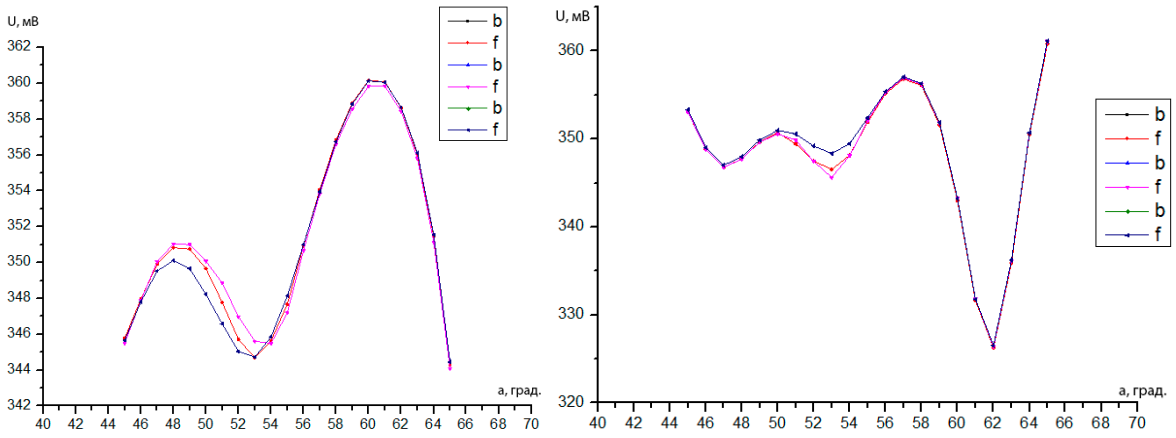
$$I(\Theta) = b_0 + b_1\Theta + b_2\Theta^2. \quad (1)$$

Поиск интервала аппроксимации производится предварительно по графику снятых угловых зависимостей $I(\Theta)$. На интервале аппроксимации должно укладываться не менее трёх отсчётов Θk, и изменение функции $I(\Theta)$ должно составлять 20–30% от размаха интерференционной картины (разность соседних минимума и максимума). Далее по методу VAMFO для определения толщины пленки и показателя преломления применяют итерационный анализ, решая уравнение:

$$d = \frac{(m-m')(n^2-\sin\Theta^2)^{\frac{1}{2}}}{\left|(n^2-\sin\Theta^2)^{\frac{1}{2}}-(n^2-\sin\theta'^2)^{\frac{1}{2}}\right|}. \quad (2)$$

Величина (m - m'), входящая в формулу (2), равна числу интерференционных экстремумов, образующихся в диапазоне углов падения от Θ до Θ'. Показатель преломления подбирают таким образом, чтобы интерференционному максимуму соответствовало целое значение порядка, а интерференционному минимуму – полуцелое значение. После чего, применив метод Плискина, мы уточняем значение показателя преломления. В методе Плискина подразумевается применение одного итерационного вычисления для получения уточненного значения показателя преломления и толщины, мы предлагаем использовать улучшенный вариант метода Плискина, который будет заключаться в многократном использовании разработанного им алгоритма получения значения показателя преломления, что повысит точность подбора.

Для проверки методики измерения нами были проведены измерения пленок SiO2 на подложке из кремния, 3 образца имели толщину 3.48 мкм и 3 образца 4.82 мкм. Плёнки были изготовлены на заводе Светлана и толщина была подтверждена в лаборатории Физико-Технического института имени А.Ф. Иоффе. Каждый образец имел погрешность ширины напыленной пленки 20%.



(а) (б)

Рис. 1. Спектры отраженного от плёнок сигнала (а) – образец 3.48 мкм, (б) – образец 4.82 мкм

Измеренные спектры зависимости сигнала от угла наклона источника света изображены на рис. 1. Измерения проводились на каждом образце по три раза при проходе угла наклонения источника от 45 град. до 69 град. и в обратную сторону от 69 град. до 45 град. (back и forward). Рассчитанные по выше описанной методике показатели преломления для пленок составили: для плёнок 3.48 мкм: 1,44976, 1,44483; для пленок 4.82 мкм: 1,45730, 1,45841, 1,45958. Доказанная максимальная погрешность измерения и расчёта параметров тонких плёнок при применении метода VAMFO даёт максимальную погрешность 0,2 %, при применении улучшенного варианта метода Плискина мы оцениваем погрешность полученных результатов в значительно меньшую величину, чем 0,2 %, поскольку сама суть улучшенного метода сводится к уменьшению ошибки подбора показателя преломления вследствие многократных итераций.

ЛИТЕРАТУРА

1. Модульная многофункциональная оптоволоконная спектрометрическая система: [Электронный ресурс]. URL: http://www.avantes.ru/articles/up1/43.php.

2. Оптико-физические измерения Лабораторный практикум: [Электронный ресурс]. URL: http://window.edu.ru/resource/578/41578/files/itmo177.pdf.

3. Nondestructive Determination of Thickness and Refractive Index of Transparent Films Publisher: IBM. W.A. Pliskin; E.E. Conrad: [Электронный ресурс]. URL: https://ieeexplore.ieee.org/document/5392276.

МЕССБАУЭРОВСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ МЕТАЛЛОВ ВО ФТОРИДНЫХ, СИЛИКАТНЫХ, БОРАТНЫХ И ФОСФАТНЫХ СТЕКЛАХ

Ю.А. Петрушин

Российский государственный педагогический университет им. А.И. Герцена

В настоящей работе методом мессбауэровской спектроскопии на изотопах ^{151}Eu и ^{155}Gd и ^{161}Dy изучены химическая связь и структура ближнего порядка фторидных, силикатных, боратных и фосфатных стекол, активированных редкоземельными металлами (Eu, Gd и Dy).

Алюмосиликатные стекла синтезировали из Al_2O_3, SiO_2, Eu_2O_3, Dy_2O_3 и Gd_2O_3 в циркониевых тиглях в атмосфере азота при 1200°C и 1300°C. Фторалюминатные стекла синтезировали из фторидов щелочноземельных металлов (BeF_2, CaF_2, SrF_2, MgF_2), алюминия (AlF_3) и фторидов РЗМ в электрической печи в атмосфере аргона в стеклоуглеродных тиглях при 950 и 1050°C. Состав стекол варьировался в широких пределах, концентрация РЗМ была 5 мол%. Мессбауэровские спектры ^{151}Eu снимались при 295 К с источником $^{151}Sm_2O_3$ Мессбауэровские спектры ^{161}Dy снимались при температуре 295 К с источником Gd_2O_3:^{161}Tb. Мессбауэровские спектры ^{155}Gd снимались при температуре 80 К с источником Pd(^{155}Eu).

Валентное состояние атомов европия.

Согласно мессбауэровским спектрам в структуре фосфатных стекол европий стабилизируется только в трехвалентном состоянии. Валентное состояние европия в боратных стеклах определяется температурой расплава – чем выше температура расплава, тем выше доля двухвалентного европия в стеклах, причем при температуре расплава 1300°C практически весь европий оказывается в двухвалентном. Аналогичная ситуация наблюдается и для алюмосиликатных стекол (хотя даже при 1300°C значительная часть европия остается в трехвалентном состоянии). Однако для фторидных стекол при температуре расплава 950°C в структуре стекол стабилизируется только трехвалентный европий. Двухвалентный европий может быть получен во фторидном стекле, если использовать в качестве компоненты шихты не EuF_3, а EuF_2. Другой способ стабилизации двухвалентного мсостояния европия в стекле – это замена частиь фторида алюминия AlF_3 на нитрид алюминия AlN, обладающего ярко выраженными восстанавливающими свойствами. В зависимости от соотношения в шихте AlF_3 и AlN в структуре стекол преобладает то или иное валентное состояние европия (и можно получить стекло, содержащее только двухвалентный европий).

Валентное состояние атомов диспрозия в стеклах.

Мессбауэровские спектры ^{161}Dy фосфатных и алюмосиликатных стекол представляют собой одиночные линии, изомерный сдвиг которых практически не зависит от состава стекла и отвечает присутствию в структуре стекол только трехвалентного диспрозия. Параметры спектров (изомерный сдвиг, ширина линии на полувысоте) оказываются близкими к таковым для фосфата и силиката трехвалентного диспрозия и, по-видимому, диспрозий входит в алюмосиликатное стекло в виде структурных единиц, характерных для этих соединений. Синтез стекол, содержащих диспрозий, при 1200°C и 1300°C практически не влияет на тонкую структуру спектров и в обоих стеклах диспрозий трехвалентен. Другой способ изменения валентного состояния редкоземельных металлов в силикатных стеклах – это добавление в шихту эффективного восстановителя AlN. Однако в случае алюмосиликатных стекол, содержащих диспрозий, частичная замена в шихте Al_2O_3 на AlN не приводит к появлению в структуре стекла двухвалентного диспрозия Dy(II).

Мессбауэровские спектры ^{161}Dy фторалюминатных стекол представляют собой одиночные линии, изомерный сдвиг которых не зависит от состава стекла, температуры синтеза и отвечает присутствию в структуре стекол только трехвалентного диспрозия. Параметры спектров близки к параметрам спектра фторида диспрозия (рис. 2 *а*) и, по-видимому, диспрозий входит во фторалюминатные стекла в виде структурных единиц, характерных для фторида трехвалентного диспрозия. Частичная замена в составе шихта AlF_3 на AlN сопровождается появлением в мессбауэровском спектре дополнительной линии, изомерный сдвиг которой отвечает двухвалентному диспрозию. Особенностью спектров двухвалентного диспрозия в стеклах является их большое уширение (ширина на полувысоте составляет ~ 15 естественных ширин), что может быть связано с тем, что это уширение обусловлено не только релаксационными процессами, но и неоднородным изомерным сдвигом (из-за существования в структуре стекол близких по химической форме двухвалентных состояний диспрозия).

Валентное состояние атомов гадолиния в стеклах.

Мессбауэровские спектры ^{155}Gd всех стекол представляют собой квадрупольные дублеты. Сравнение тонкой структуры спектров оксидов гадолиния (суперпозиция двух или трех квадрупольных дублетов) и спектров стекол (один квадрупольный дублет) позволяет заключить, что в структуре стекол атомы гадолиния не образуют структурные единицы, характерные для оксидов. Аналогичным образом, различие в величинах квадрупольных расщеплений спектров фторида и оксифторида диспрозия и спектров стекол, свидетельствует об

отсутствии в структуре стекол структурных единиц, характерных для GdF_3 и GdOF. В пользу такого заключения свидетельствует и тот факт, что параметры мессбауэровских спектров стекол, как содержащих в своем составе фториды щелочноземельных металлов, так и не содержащих таковых, совпадают.

Согласие между параметрами мессбауэровскими спектрами ^{155}Gd соединений $GdAlO_3$ и $Gd_3Al_5O_{12}$ и стекол позволяет сделать вывод, что в структуре стекол атомы трехвалентного гадолиния образуют структурные единицы, характерные для смешанных оксидов гадолиния и алюминия.

ФАКТОР ПАРСЕЛЛА РЕЗОНАНСНЫХ КУБИЧЕСКИХ СВИНЦОВО-ГАЛОИДНЫХ ПЕРОВСКИТНЫХ НАНОЧАСТИЦ

П.А. Тонкаев, *С.В. Макаров*
Университет ИТМО

Одной из главных проблем современной нанофотоники является создание наноразмерных источников света [1]. На данный момент наиболее часто используются – излучатели на квантовых точках [2] и наночастицы с активными дефектами [3]. Однако сложной задачей остаётся настройка и управление направлением излучения. Обычные методы решения этой задачи либо требуют значительных затрат и усложнения системы, либо делают систему восприимчивой к внешнему воздействию [4]. Одним из перспективных материалов для создания источников света на наномасштабе являются свинцово-галоидные перовскитные наночастицы. Возникающий за счёт локализации электромагнитного поля внутри диэлектрической наночастицы эффект Парселла способствует увеличению эффективности фотолюминесценции [5].

Свинцово-галоидными перовскитами называются класс веществ ABX_3, где A – органическая или неорганическая компонента, B – катион Pb, а X – галоген (I, Br). Структуры на основе таких соединений нашли своё применение в качестве материалов для фотовольтаических элементов [6] и светодиодов [7]. Большой интерес к перовскитам обусловлен наличием в них экситона при комнатной температуре, дающим значительный вклад в диэлектрическую проницаемость, что позволяет поддерживать Ми-моды в оптическом и ближнем ИК диапазонах.

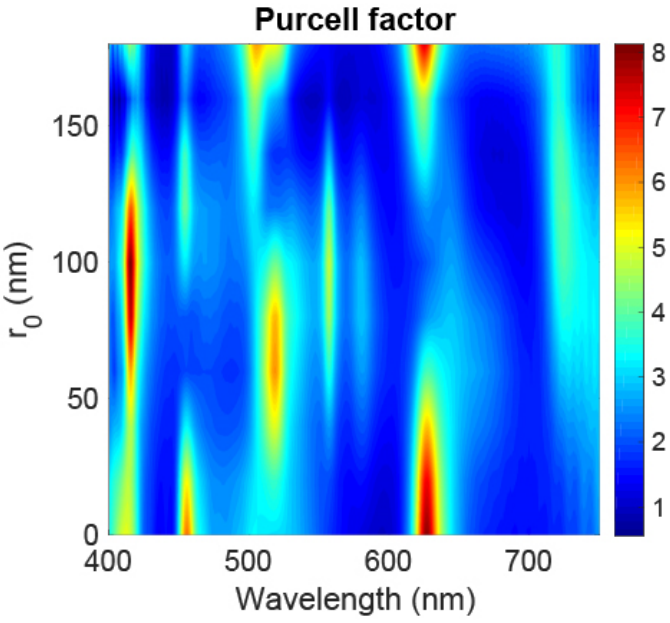


Рис. 1. Фактор Парселла куба размером 400 нм в зависимости от положения диполя вдоль оси

Экспериментально эффект Парселла на свинцово-галоидных перовскитах был продемонстрирован для сферических нанчастиц, полученных методом лазерной абляции [8]. С другой стороны, кубические нанорезонаторы, сделанные из галоидных перовскитов, демонстрируют более добротные моды, чем сферические наночастицы. Более того процесс создания нанокубиков не требует лазерной абляции и может быть синтезирован химическим осаждением, что позволяет добиться практически идеальной формы [9].

В отличии от сферической наночастицы, для кубической частицы нет аналитического решения. Как показано в работе [10], эквивалентное уравнение фактора Парселла произвольного объекта для малого эмиттера с низкими потерями (эквивалентно для квантового или классического эмиттера):

$$F = \frac{Re\, Z_{in}}{Re\, Z_{0,in}},$$

где $Z_{0,in}$ и Z_{in} – входные импедансы эмиттера в отсутствии и присутствии резонатора. На основе этого соотношения было проведено вычисление Фактора Парселла внутри перовскитного куба в зависимости от положения диполя. Результат расчёта для куба размером 400 нм представлен на рис. 1.

В результате численного расчёта получено значение фактора Парселла для кубических наночастиц свинцово-галоидного перовскита разного размера с диэлектрической проницаемостью 6.3, которая соответствует значению реальному значению диэлектрической проницаемости на длине волны фотолюминесценции исследуемого перовскита.

ЛИТЕРАТУРА

1. Tame M.S. et al. Quantum plasmonics // Nature Physics. – 2013. – V. 9. – № 6. – P. 329.
2. Curto A.G. et al. Unidirectional emission of a quantum dot coupled to a nanoantenna // Science. – 2010. – V. 329. – № 5994. – P. 930-933.

3. Zalogina A.S. et al. Purcell effect in active diamond nanoantennas // Nanoscale. – 2018. – V. 10. – № 18. – P. 8721-8727.
4. Krasnok A.E. et al. All-dielectric optical nanoantennas // Optics Express. – 2012. – V. 20. – № 18. – P. 20599-20604.
5. Tonkaev P.A. et al. Optical cooling of lead halide perovskite nanoparticles enhanced by Mie resonances // Nanoscale. – 2019. – V. 11 – № 38. – P. 17800-17806.
6. Kojima A. et al. Organometal halide perovskites as visible-light sensitizers for photovoltaic cells // Journal of the American Chemical Society. – 2009. – V. 131. – № 17. – P. 6050-6051.
7. Tan Z. K. et al. Bright light-emitting diodes based on organometal halide perovskite // Nature nanotechnology. – 2014. – V. 9. – № 9. – P. 687.
8. Tiguntseva E.Y. et al. Light-emitting halide perovskite nanoantennas // Nano letters. – 2018. – V. 18. – № 2. – P. 1185-1190.
9. Makarov S. et al. Halide Perovskite Resonant Nanophotonics // Advanced Optical Materials. – 2019. – V. 7. – № 1. – P. 1970002.
10. Krasnok A.E. et al. An antenna model for the Purcell effect // Scientific reports. – 2015. – V. 5. – P. 12956.

СВЕРХТОНКИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ И СВЕРХПРОВОДЯЩИХ МЕТАЛЛОКСИДАХ МЕДИ

К.Б. Шахович
Российский государственный педагогический университет им. А.И. Герцена

Значительная часть высокотемпературных сверхпроводников (ВТСП) на основе металлоксидов меди была получена из антиферромагнитных соединений типа $YBa_2Cu_3O_6$, La_2CuO_4 и Nd_2CuO_4 либо путем гетеровалентного замещения, либо путем изменением степени окисления атомов меди. Соединения указанного типа представляют интерес в плане изучения возможной связи между магнетизмом и сверхпроводимостью

В настоящей работе метод эмиссионной мессбауэровской спектроскопии на изотопах ^{61}Cu(^{61}Ni) используется для исследования сверхпроводящих и диэлектричских соединений $Ca_{1-x}Sr_xCuO_2$, $Ca_2CuO_2Cl_2$, $SrCuO_2$, $Sr_2CuO_2Cl_2$, $YBa_2Cu_3O_{7-x}$, $La_{2-x}Sr_xCuO_4$ и $Nd_{2-x}Ce_xCuO_4$. Мессбауэровские источники готовились методом диффузии изотопа ^{61}Cu в готовую керамику при температурах 500 − 650ºC. Мессбауэровские спектры ^{61}Cu(^{61}Ni) снимались при 80 К на спектрометре SM 4201 TerLab. Стандартным поглотителем служил сплав $Ni_{0.86}V_{0.14}$.

Для сверхпроводящих соединений следовало ожидать взаимодействия квадрупольного момента ядер ^{61}Ni с тензором градиента электрического поля (ГЭП) в узлах меди и поэтому экспериментальные спектры представляют собой плохо разрешенные квадрупольные квинтеты. Поскольку диэлектрические соединения представляют собой антиферромагнетики с высокими значениями температурами Нееля, то тонкую структуру их мессбауэровских спектров в области температур < 200 К следует рассматривать как результат проявления эффектов комбинированного зеемановского и квадрупольного взаимодействия ядер ^{61}Ni с локальными полями. В результате обработки мессбауэровских спектров были получены величины постоянной квадрупольного взаимодействия $C_{\mathrm{Ni}} = eQ^{Ni}U_{zz}$, напряженности магнитного поля H, угла θ между главной осью тензора ГЭП и направлением магнитного поля и параметра асимметрии тензора градиента электрического поля (ГЭП) $\eta = (U_{yy} - U_{xx})/U_{zz}$, где, x, y, z – главные оси тензора ГЭП на ядре-зонде, U_{xx}, U_{yy}, U_{zz} − компоненты диагонализированного тензора ГЭП, Q^{Ni} – квадрупольный момент ядра ^{61}Ni в основном состоянии Для всех изученных соединений получено $\eta = 0$, для всех антиферромагнитных соединений $\theta = 0^{\mathrm{o}}$ и величины H были в пределах 8.5 - 10.0 Т.

Для центров $^{63}Cu^{2+}$ и замещающих их центров $^{61}Ni^{2+}$ тензор ГЭП на ядре-зонде создается ионами кристаллической решетки (тензор решеточного ГЭП) и несферической валентной оболочкой атома-зонда (тензор валентного ГЭП), причем, когда ориентация главных осей всех тензоров совпадает, имеем:

$$eQU_{zz} = eQ(1-\gamma)V_{zz} + eQ(1-\mathrm{R})W_{zz}, \qquad (1)$$

где eQ – квадрупольные моменты ядер ^{61}Ni или ^{63}Cu, U_{zz}, V_{zz}, W_{zz} – главные компоненты тензоров суммарного, решеточного и валентного ГЭП для зонда, а γ и R – коэффициенты Штернхеймера для зонда. Расчет параметров тензора решеточного ГЭП проводился в рамках модели точечных зарядов. Для всех соединений тензоры решеточных ГЭП в узлах меди оказались диагональными в кристаллографических осях, $\eta = 0$ и главные оси тензоров направлены по кристаллографической оси c.

Зависимость C_{Ni} для центров $^{61}Ni^{2+}$ в узлах меди от V_{zz} в этих узлах для всех исследованных соединений оказалась линейной:

$$C_{\mathrm{Ni}} = 49\ V_{zz} - 81 \qquad (2)$$

(здесь и далее величины C_{Ni} приводятся в MHz, а V_{zz} – в e/Å^3).

Из соотношения (1) следует, что линейная зависимость (2) является следствием одинаковой величины валентной составляющей в ГЭП для зонда Ni^{2+} в узлах двухвалентной меди eQ$^{61}(1 - R)W_{zz} = -81(2)$ MHz. Соотношение (2) свидетельствует также о противоположных знаках валентного и решеточного вкладов в формуле (1) для центров Ni^{2+} и о выполнении соотношения $|(1-R)W_{zz}| > |(1-\gamma)V_{zz}|$ для этих центров.

Для сравнения была построена зависимость абсолютной величины постоянной квадрупольного

взаимодействия для центров $^{63}Cu^{2+}$ ($C_{Cu}= eQ^{63}U_{zz}$, где Q^{63} – квадрупольный момент ядра ^{63}Cu) в узлах меди от значения V_{zz} в этих узлах. При построении этой зависимости использовались литературныет данные ядерного магнитного резонанс на изотопе ^{63}Cu. Оказалось, что эта зависимость также линейна и определяется соотношением

$$|C_{Cu}| = -150\ V_{zz} + 153. \quad (3)$$

Из соотношения (1) следует, что линейная зависимость (3) является следствием одинаковой величины валентной составляющей в тензор ГЭП для зонда Cu^{2+} в металлоксидах двухвалентной меди $eQ^{63}(1 - R)W_{zz} =$ 153(2) MHz. Соотношение (3) также свидетельствует о противоположных знаках валентного и решеточного вкладов в формуле (1) для центров Cu^{2+} и о выполнении соотношения $|(1 - R)W_{zz}| > |(1 - \gamma)V_{zz}|$ для этих центров.

Таким образом, для диэлектрических металлоксидов двухвалентной меди обнаружено комбинированное электрическое и магнитное взаимодействие ядер ^{61}Ni с локальными полями в узлах меди, тогда как для сверхпроводящих металлоксидов спектры соответствуют взаимодействию квадрупольного момента ядер ^{61}Ni с тензором ГЭП. Для всех металлоксидов меди наблюдаются линейные зависимости постоянных квадрупольного взаимодействия на ядрах ^{61}Ni и ^{63}Cu от расчетных значений главной компоненты тензора решеточного ГЭП в узлах меди. Этот факт объясняется тем, что для зондов $^{61}Ni^{2+}$ и $^{61}Cu^{2+}$ величина вклада валентной составляющей в суммарный тензор ГЭП не зависит от состава металлоксида.

СЕКЦИЯ

«ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ»

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ МИГРАЦИИ ТРУДОВЫХ РЕСУРСОВ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА РЫНОК ТРУДА В РФ

М.А. Рудый, И.А. Безнутрова

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ленина (Ульянова)

Миграция трудовых ресурсов – это перемещение трудоспособного население внутри страны или между разными государствами в связи с наилучшими трудовыми условиями или по другим причинам. Самой главной причиной, по которой возникает трудовая миграция, является существенная разница в оплате труда. Существует два вида трудовой миграции: внешняя и внутренняя.

Внутренняя миграция – это передвижение трудоспособного населения в поисках работы из одного района страны в другой. Внешняя миграция – передвижение населения через государственные границы для того, чтобы начать трудовые отношения в другой стране. Трудовая миграция имеет как положительные, так и отрицательные последствия. К положительным последствиям относятся: смягчение безработицы, инвестиции эмигрантов в экономику своей страны, сокращение социальных расходов после отъезда эмигрантов. К отрицательным относят такие проблемы, как отток квалифицированных кадров или “утечка мозгов”, потеря при переводах в другие страны, желание скрыть получаемые доходы от налогообложения.

В конце 20-го – начале 21-го века Россия стала активным участником процессов мировой трудовой миграции. Раньше миграция трудовых ресурсов была связана с развалом Советского Союза, в наши дни это более связано с лучшими условиями труда, проблемами российского рынка труда. Разница в условиях труда варьируется даже между регионами (сравнить тот же прожиточный минимум в различных регионах, который регулирует минимальный размер заработной платы).

По данным исследования [1], среди рабочей силы численность занятых, работавших за пределами субъекта Российской Федерации, в котором они проживают, включая работавших на территории другого государства, в среднем за 2017 год составила 2,9 млн. человек, за 2016 г. – 2,7 млн. человек. Статистика показывает, что тенденция внутренней миграции трудовых ресурсов возрастает с каждым годом. Регионы с самыми высокими показателями по доле занятого населения, работающего за пределами своего субъекта это: Ленинградская область (22,5 %), Московская область (19,5%), республика Адыгея (16,3%). Далее идут Чувашская республика, республика Калмыкия, республика Марий Эл.

Миграция трудового населения напрямую зависит от возраста и образования трудоспособного населения. По статистике [2], больше всего трудовых мигрантов среди молодёжи со средним общим и средним профессиональным образованием. Если смотреть по возрастным категориям, то занятое население в возрасте от 15 до 34-х лет, работавшее на территории своего субъекта, за прошедший год составило 34,9 %, в то время как за пределами своего субъекта работало 42,8% трудоспособного населения данной возрастной категории. Население от 35 и старше наоборот занято в большинстве своём на территории своего субъекта (65,2% против 57,2%). Это может быть обусловлено несколькими факторами. Во-первых, стремлением молодежи к лучшим условиям труда, что не всегда возможно осуществить в своём субъекте. Во-вторых, недостаточной квалификацией и опытом работы населения, что вызывает сложности с трудоустройством в развитых регионах, где достаточно высокие требования к работникам, из-за чего люди вынуждены искать рабочие места в других субъектах. По статистике [2], люди с высшим образованием чаще остаются в своем субъекте (34,3 %), нежели работают за его пределами (32,8 %). В то время как люди со средним профессиональным образованием наоборот больше заняты вне своего субъекта (в своем субъекте – 44,9 %; за его пределами – 44,4 %).

Согласно данным Росстата [3] об объемах и направлениях внешней (межгосударственной) миграции в 2007–2017 годах, наблюдался достаточно устойчивый рост численности лиц, прибывших из зарубежных стран, за исключением периода экономического кризиса, когда число прибывающих сокращалось. Рост прибытий обеспечивался главным образом за счет жителей стран СНГ, в значительно меньшей степени – за счет мигрантов из других государств. Одновременно с этим в 2007–2017 годах происходило выбытие населения из России за границу – как в страны СНГ, так и в другие государства. Относительную стабильность выбытий в 2007–2011 годах (колебания в интервале от 37 до 47 тыс. человек) сменил скачкообразный рост, начавшийся в 2012 году на отметке 122,7 тыс. человек и продолжавшийся до 2017 года, когда выбытие достигло 377,1 тыс. человек. При этом увеличился объем выбытий как в страны СНГ, так и в другие государства. Согласно этим данным, можно сделать вывод о том, что сокращение миграционного прироста внешней (межгосударственной) миграции в России в период кризиса возобновилось в посткризисные годы и вплоть до 2017 года имело достаточно устойчивый характер. Расчеты показали, что за период с 2008 по 2016 год внешняя миграция обеспечила суммарный миграционный прирост населения России, в котором доля мужчин составила 51,3%, женщин – 48,7%. Таким образом, внешняя миграция, в большей мере способствовала сокращению гендерного дисбаланса населения, что важно с позиции перспектив улучшения демографической ситуации в Российской Федерации. Следствием происходивших в 2008–2016 годах изменений объемов прибытий и выбытий внешних мигрантов с различным уровнем образования явилось формирование миграционного прироста (сальдо миграции), в котором преобладает доля лиц, имеющих профессиональное образование. Позитивный эффект внешней миграции

проявился также в том, что Россия приобрела в 2008–2016 годах дополнительное количество специалистов высшей квалификации с послевузовским образованием – докторов и кандидатов наук – 3139 человек. Итог внешней (межгосударственной) миграции населения в 2008–2016 годах – суммарный миграционный прирост населения России, в котором 56,1% составляют лица, имеющие профессиональное образование, и 43,9% – лица, не имеющие профессионального образования, а также не имеющие образования. Внешняя (межгосударственная) миграция помогла определенному решению демографических проблем России за счет притока трудоспособного населения, а также переезду в страну лиц, имеющих профессиональное образование. Наблюдаемое после 2011 года сокращение миграционного прироста (сальдо) внешней (межгосударственной) миграции в России, свидетельствующее о снижении миграционной привлекательности нашей страны для иностранных граждан, связано, в том числе с падением покупательной способности среднемесячной номинальной заработной платы работников в экономике России в долларовом эквиваленте, вызванным ослаблением курса рубля относительно доллара. Также можно предположить, что была бы целесообразна разработка новых подходов к политике внешней (межгосударственной) миграции и новых механизмов регулирования миграционных потоков в России, учитывающих перспективы социально-экономического развития регионов и Российской Федерации в целом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Майорова Е.А., Демиденко М.О. Трудовая миграция в РФ: причины и последствия // Проблемы экономики и менеджмента. 2015. No12 (52). – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/trudovaya-migratsiya-v-rf-prichiny-i-posledstviya (дата обращения: 27.03.2019).

2. Анохина Н.Ф., Перевалова К.С. Роль России в международной трудовой миграции [Текст] // Проблемы и перспективы экономики и управления: материалы II Междунар. науч. конф. (г. Санкт-Петербург, июнь 2013 г.). — СПб.: Реноме, 2013. — С. 38-40. — URL: https://moluch.ru/conf/econ/archive/77/3823/ (дата обращения: 27.03.2019).

3. Федеральная служба государственной статистики. О межрегиональной трудовой миграции в 2017 году. – URL: http://www.gks.ru/free_doc/new_site/population/trud/migrac/mtm_2017.htm (дата обращения: 10.03.2019).

НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ О СОСТОЯНИИ РЫНКА ПРИБОРОСТРОЕНИЯ И ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ

Н.Ю. Глинистая

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ»

Машиностроительный комплекс российской промышленности включает в себя производство всевозможных машин, оборудования и приборов. Современное машиностроение представлено более чем 200 подотраслями и производствами, в нем работает более 3.5 млн. человек. Приборостроение, как одна из значимых наукоемких составляющих машиностроительной отрасли, играет важную роль в отечественной экономике. Так, доля продукции электротехнического приборостроения в структуре машиностроительной отрасли составляет около 12% [1].

Для достижения основной цели развития отрасли приборостроения, заключающейся в обеспечении высококачественными приборами всех отраслей промышленности, решаются задачи по разработке, внедрению высокотехнологичной продукции, обладающей надежностью, в массовое производство. Это требует применение новых видов материалов, а также огромных финансовых ресурсов на научно-исследовательские работы. Отсюда следует, что применение инновационной и инвестиционной составляющих позволит поднять уровень приборостроительной отрасли до мирового уровня. Зарубежные приборостроительные компании на сегодня на проведение НИОКР затрачивают от 3 до 10% от оборотных средств, что позволяет им сохранить уровень конкурентоспособности выпускаемой продукции [2]. Российские же предприятия не могут себе этого позволить из-за кризисной ситуации в экономике, а также из-за отсутствия на предприятиях финансовых средств для различных исследований и разработок.

Важно отметить, что в СССР машиностроение, в том числе и приборостроение, вносило основной вклад в ВВП страны. Однако в ходе трансформационных процессов, связанных с перестройкой, эта отрасль находилась и на сегодняшний день находится в тяжелом состоянии. В результате распада СССР было утрачено около 30% промышленного потенциала отрасли [3]. В связи с переходом отрасли приборостроения на рыночные рельсы, роль государства в ее развитии снизилась, что способствовало уменьшению конкурентоспособности предприятий отрасли на внутреннем и на мировом рынках. По нашему мнению, это и привело к отставанию отечественного приборостроения от промышленно развитых стран.

Для экономического развития хозяйства важно обеспечить его отрасли современными высокотехнологичными приборами, позволяющими наиболее эффективно контролировать производственные процессы. Так, например, любой измерительный прибор произведен для решения конкретных задач, а именно осуществления измерений и получения конкретного значения (приборы для измерения температуры, давления, скорости и т.д). Многофункциональные измерительные приборы применяются в профессиональной деятельности многими специалистами из разных профессий. Они регулируют ход производственных процессов,

поскольку во время высоких технологий человечество стремится к максимальной автоматизации промышленности. Рынок измерительных приборов представлен электронными счётчиками, измерителями мощности, осциллографами, генераторами сигналов, сетевыми анализаторами и пр. Однако на данный момент состояние производства измерительных приборов, их внешний вид и интерфейс в России оставляет желать лучшего. Наибольшим спросом на данном рынке пользуются те приборы, которые применяются в космической и оборонной промышленности (анализаторы спектра, параметров цепей, осциллографы и пр.).

На сегодняшний день отечественное приборостроение по своему уровню отстает от индустриально развитых стран. Этому способствовали следующие факторы: отсутствие у предприятий средств для перевооружения основных фондов, недостаточное внедрение инновационных разработок в производство, нехватка государственного финансирования со стороны государства, дефицит высококвалифицированных кадров, низкое качество выпускаемой продукции. Следует учесть, что определённая часть заводов в ходе перестроечных явлений оказались за пределами страны. И до сих пор сборка отечественных приборов осуществляется за счёт зарубежных поставок, которые составляют свыше 75% [3].

Это говорит о том, что отечественное приборостроение на сегодня в определенной мере находится в зависимом положении от иностранных производителей. Так, импорт РФ (2 057 млрд. $) в 29 раз превышает экспорт с 2013 по 2016 годы (70,9 млн. $) [4]. Для улучшения ситуации на рынке измерительных приборов реализуется проект поддержки отечественных экспортоориентированных производителей на мировых рынках сбыта. Значимая роль отводится Росстандарту и Российскому экспортному центру (РЭЦ), которые должны решить вопросы доступа российских производителей на зарубежные рынки измерительной техники, так как они при выходе на внешний рынок сталкиваются с техническими барьерами, а именно с обязательным оформлением технической сертификацией качества и метрологической маркировки, без чего нельзя выйти на мировые рынки. Вопросы доступа российских производителей на зарубежные рынки готовы решать для производителей измерительной техники как раз Росстандарт и РЭЦ, располагая достаточными для этого международными полномочиями и компетенциями в сфере обеспечения единства измерений. Известно, что РЭЦ за 9 месяцев 2017 года помогли порядка 4 тысячам экспортёров на сумму около 8,7 млрд рублей [5].

Единственной компанией в России является АО «Концерн Энергомера», которое занимает значительную долю отрасли приборостроения на мировом рынке и экспортирует более 50% продукции в 25 стран мира. [2] Как известно, «АО Концерн Энергомера» производит приборы учета электроэнергии с незначительной долей импортных комплектующих. И это обеспечило устойчивый спрос на свою продукцию за счет стабильной потребности в приборах учета электроэнергии в России, несмотря на введение экономических санкций со стороны ЕС и США в 2014 году, резкого ослабления рубля и пр. К тому же, сертифицируя основные типы приборов эта компания укрепила свои позиции на российском рынке и обеспечила выход продукции на рынок развивающихся стран. Клиентская база «Концерна Энергомера» в 2014 г. увеличилась более чем на 13%, и на данный момент насчитывает 170 компаний [2]. В целом можно сказать, что рынок измерительных приборов постепенно расширяется и развивается путем внедрения новейших инновационных технологий и производств, а также поддержки со стороны государства.

ЛИТЕРАТУРА

1. Экономика России, цифры и факты. Часть 10. Машиностроение. - [Электронный ресурс]. -URL: https://utmagazine.ru/posts/10563-ekonomika-rossii-cifry-i-fakty-chast-10-mashinostroenie.

2. Николаева О.Ю., Волков Г.Г. Исследование основных тенденций развития российского приборостроения. - Экономика и предпринимательство, Москва, 2013 г.

3.Воронина В.Н. Принципы рыночной экономики и структурные изменения в российском приборостроении 2012г. - [Электронный ресурс]. - URL: https://cyberleninka.ru/article/v/printsipy-rynochnoy-ekonomiki-i-strukturnye-izmeneniya-v-rossiyskom-priborostroenii.

4. Части и принадлежности прочих измерительных или контрольных приборов. 2013-2016 г. - [Электронный ресурс]. - URL: https://ru-stat.com/date-Y2013-2016/RU/export/world/1890319.

5. Россия поддержит производителей измерительной техники на мировых рынках сбыта 2018 г. - URL: https://www.gost.ru/portal/gost/home/presscenter/news?portal:isSecure=true&navigationalstate=JBPNS_rO0ABXczAAZhY3Rpb24AAAABAA5zaW5nbGVOZXdzVmlldwACaWQAAAABAAQ0Nzg5AAdfX0VPRl9f&portal:componentId=88beae40-0e16-414c-b176-d0ab5de82e16.

ТРУБА С ПЕРЕГОРОДКОЙ ШТЕЙНЕРА

А.И. Драцкая
Муниципальное бюджетное общеобразовательное учреждение «Гимназия № 5» городского округа Королёв (мкр. Юбилейный) Московской области

Пятый год я изучаю ячейку Штейнера. Работа началась с изучения мыльных плёнок. Плоская ячейка Штейнера – это линия, которая самым коротким способом соединяет четыре вершины квадрата. В ней пять отрезков и два перекрёстка, как говорил Штейнер. Мне удалось решить новую математическую задачу о соединении восьми вершин куба самой короткой линией и получить результат мировой новизны – это линия из 13 отрезков, которую я назвала объёмной ячейкой Штейнера. Ячейки Штейнера хорошо видны на мыльных плёнках, натянутых на кубический проволочный каркас. В прошлом году я начала изучать свойства плоской ячейки Штейнера и доказала анизотропию жёсткости. Свойство анизотропии можно применить для создания нового лёгкого и прочного композиционного материала. В этой работе я продолжаю изучать свойства и применение плоской ячейки Штейнера. Я вижу три новых важных применения полученных результатов. Сейчас расскажу только о первом.

Цель этой работы – создание самой лёгкой и дешёвой трубы, по которой можно перекачать четыре жидкости или газа без перемешивания. Это четыре трубы, расположенные в одной трубе. Идея работы появилась после экскурсии на склад проката чёрного металла фирмы «А-ГРУПП». Эта фирма продаёт трубы для газопроводов. Я прочитала о газопроводе «Северный поток». Его длина 1224 км. В нём две трубы диаметром 1220 мм. В газопроводе толстые трубы от 27 мм до 41 мм, но таких я не видела. Я видела трубы толщиной 12 мм и решила сделать расчёты для них, а потом экономию материала умножить на 2 или на 3. Я нашла цену трубы толщиной 12 мм, она равна приблизительно 20000 руб./м. Это исходные данные для моих расчётов. Материал для такого газопровода даже из тонких труб стоит 1224км1000м20000руб./м2=48,96млрд.руб. Почти 50 млрд.руб. Нельзя ли сделать дешевле? Это цель моей работы. Я показала, как с помощью математики можно решить эту задачу [1-4]. Схемы труб показаны на рис. 1.

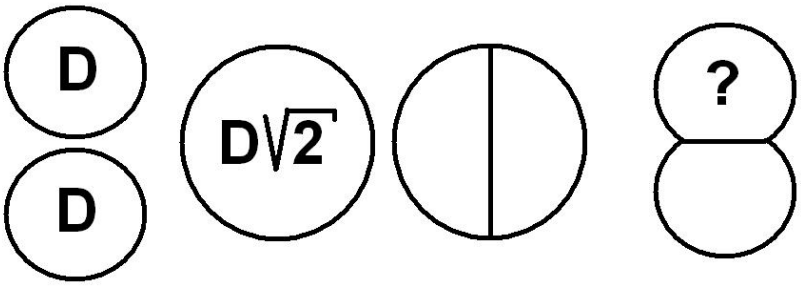


Рис. 1. Замена двух труб одной трубой с перегородкой

Вместо двух труб можно применить одну с перегородкой внутри. Если диаметр каждой трубы газопровода равен D, то диаметр одной трубы должен быть равен $D\sqrt{2}$. Тогда площадь сечения трубопровода не изменится и будет равна $S = 2 \cdot \frac{\pi D^2}{4} = \frac{\pi D^2}{2}$. Периметр двух труб равен $P_1 = 2\pi D$, а периметр новой трубы вместе с перегородкой равен $P_2 = \pi\sqrt{2}D + D = \left(\sqrt{2} + \pi\sqrt{2}\right)D$. Я вычислила отношение периметра старой конструкции к новой $\frac{P_1}{P_2} = \frac{2\pi}{\sqrt{2} + \pi\sqrt{2}} \approx \frac{6,28}{5,44} \approx 1,08$. Перегородка в большой трубе экономит материал в 1,08 раза по сравнению с двумя трубами. Это экономия 48,96млрд.руб.-48,96млрд.руб./1,08=3,63 млрд.руб. Я думаю, что есть вариант ещё дешевле. Его я наблюдала, когда изучала мыльные пузыри и когда общалась со студентами на конференциях. Этот вариант похож на два слипшихся мыльных пузыря, но их я пока не умею рассчитывать.

В этой работе я изучаю не две трубы, не три, а четыре. Схемы труб показаны на рис.2. Если диаметр каждой трубы равен D, то общий периметр равен $P_3 = 4\pi D$. Площадь сечения четырёх труб равна $S = 4 \cdot \frac{\pi D^2}{4} = \pi D^2$. Я хочу заменить четыре трубы одной с диаметром $2D$. Площадь поперечного сечения не изменится. Первый вариант экономии – это поставить перегородку-крестик внутри большой трубы. Периметр трубы вместе с перегородкой равен $P_4 = \pi \cdot 2D + 4D = 2\left(2 + \pi\right)D$. Эта труба легче и дешевле четырёх труб

в $\frac{P_3}{P_4}=\frac{4\pi}{2(2+\pi)}=\frac{2\pi}{2+\pi}\approx\frac{6,28}{5,14}\approx 1,22$ раза. На газопроводе «Северный поток» экономия денег на материале была бы равна 48,96млрд.руб.-48,96млрд.руб./1,22=8,83млрд.руб.

Рис. 2. Новая необычная труба с перегородкой Штейнера

Я знаю вариант ещё дешевле. Внутри трубы надо установить перегородку не в виде крестика, а в виде ячейки Штейнера. Ячейка Штейнера, или жучок Штейнера, – это линия из пяти отрезков с двумя перекрёстками, которая самым коротким способом соединяет четыре вершины квадрата. Если сторона квадрата равна a, то длина линии Штейнера равна $\left(1+\sqrt{3}\right)a\approx 2,73a$. Эта линия короче крестика, длина которого равна $2\sqrt{2}a\approx 2,83a$. Этим сравнением я занималась три года назад, а теперь применяю на практике. Диаметр трубы равен $2D$, сторона вписанного квадрата равна $\frac{2D}{\sqrt{2}}=D\sqrt{2}$, длина ячейки Штейнера равна $\left(1+\sqrt{3}\right)D\sqrt{2}$ общий периметр трубы с перегородкой Штейнера равен $P_5=\pi\cdot 2D+\left(1+\sqrt{3}\right)D\sqrt{2}=\left(2\pi+\sqrt{2}+\sqrt{6}\right)D$. Труба с перегородкой Штейнера легче и дешевле четырёх труб в $\frac{P_3}{P_5}=\frac{4\pi}{2\pi+\sqrt{2}+\sqrt{6}}\approx\frac{12,56}{10,14}\approx 1,24$ раза. На газопроводе «Северный поток» экономия денег на материале была бы равна 48,96млрд.руб.-48,96млрд.руб./1,24=9,48млрд.руб. На самом деле толщина трубы газопровода в 2-3 раза больше, поэтому экономия денег на материале составляет более 20 млрд. руб. Об этом я рассказала в своём новом видеоролике.

Цель работы достигнута. Предложена новая лёгкая и экономичная труба, заменяющая четыре трубы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Драцкая А.И., Скворцова А.А. Минимальные кубические структуры из стержней и плёнок / X Всероссийский форум студентов, аспирантов и молодых учёных «Наука и инновации в технических университетах». – Санкт-Петербургский Политехнический университет Петра Великого, 24-29 октября 2026. – С. 47-48. – Электронный ресурс: http://ysc.spbstu.ru/forum2016/Forum2016.pdf.

2. Драцкая А.И., Якимова Е.И. Модель композиционного материала с лёгкими кубическими силовыми ячейками / Сборник материалов. Третий междисциплинарный молодёжный научный форум с международным участием "Новые материалы 2017". - Москва, Совет молодых учёных Российской академии наук, Координационный совет по делам молодёжи в научной и образовательной сферах при Совете при Президенте Российской Федерации по науке и образованию. - М.: ООО "Буки Веди", 2017. - 903 с. – С. 560-563. – Электронный ресурс: http://n-materials.ru/wp-content/uploads/2017/11/Sbornik.pdf.

3. Драцкая А.И. Задача Штейнера для нового композиционного материала / Наука и инновации в технических университетах: Материалы Двенадцатого Всероссийского форума студентов, аспирантов и молодых учёных, 24-26 октября 2018 г. - СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2018. - 181 с. - С.49-51.

4. Драцкая А.И., Скворцова А.А. Новое решение задачи Штейнера для композиционного материала о соединении восьми вершин куба самой короткой линией / 61-я Научная конференция МФТИ с международным участием. - П78 Программа 61-й Всероссийской научной конференции МФТИ. 19-25 ноября 2018 года. Секция прочности летательных аппаратов. - М.: МФТИ, 2018. – 116 с. – С. 59.

СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ В УСЛОВИЯХ СОВРЕМЕННОЙ ЭКОНОМИКИ

В.В. Злобин

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)

В современных экономических условиях важнейшую роль в развитии общества и всех его сфер играет энергетика [1]. В свою очередь развитие цивилизации в целом, значительный рост численности населения за последнее столетие породили острую необходимость в огромном количестве энергии, и проблемы энергообеспечения и энергопотребления стали ключевыми для развития национальных экономических систем, поддержания стабильности во всем мире. На сегодняшний день большинство развитых стран не обладает необходимым запасом энергоресурсов (Япония, Германия, Нидерланды), так неравномерное распределение возобновляемых и невозобновляемых источников энергии по территории планеты стимулирует международную торговлю энергоресурсами и ускоряет процессы мировой глобализации: экономическую, социальную и политическую интеграцию [2].

В зависимости от агрегатного состояния энергоресурсов, условий их транспортировки, потребности в специальной инфраструктуре рынки их видов отличаются по степени глобализации. Рынок нефти является глобальным ввиду относительной простоты и дешевизны транспортировки данного энергоносителя. В рамках мирового в настоящий момент выделяют три крупнейших региональных рынка нефти: в Северной Америке, в Европе, между странами Азиатско-Тихоокеанского региона.

Если рассматривать ситуацию на мировом рынке природного газа, то можно выделить несколько причин, препятствующих его глобализации:

- ✓ значительная доля затрат на транспортировку в себестоимости;
- ✓ небольшое количество участников мировой торговли природным газом;
- ✓ слабая конкуренция между участниками мировой торговли. Однако разработка технологий сжиженного природного газа и добычи газа из сланца способствует усилению конкуренции между экспортерами в целом;
- ✓ дефицит инвестиций в проекты по развитию инфраструктуры;
- ✓ геополитические события.

Таким образом, современные экономические условия позволяют выделить только ряд региональных рынков: Американский, стран АТР, Африканский, Ближневосточный, Европейский, СНГ.

На сегодняшний день наибольшее распространение в качестве глобального энергоносителя получила нефть. На рис. 1 представлен график динамики мировой добычи нефти за период с 2007 до 2017, основанный на данных журнала «Oil& Gas Journal».

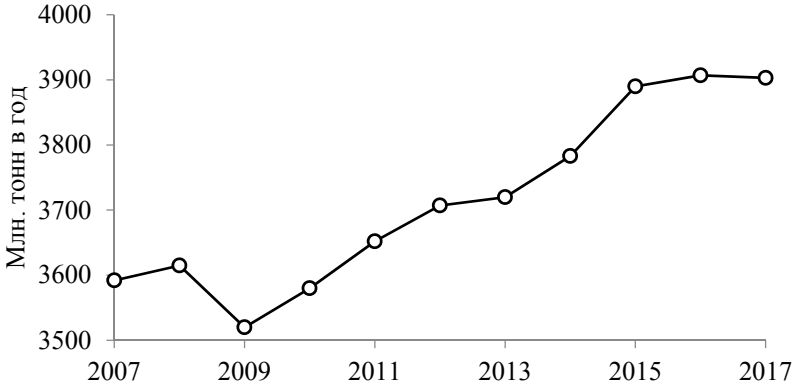


Рис. 1. Динамика мировой добычи нефти, не включая газовый конденсат, жидкие углеводороды, биотопливо и прочие источники топлива

Таким образом, можно сделать вывод о тенденции увеличения объемов добычи нефти, что не может не сказываться на изменении ее мировых запасов. Однако благодаря инвестициям в нефтегазовую отрасль и научно-техническому прогрессу, а как следствие, разработке новых месторождений по всему миру, запасов нефти при сохранении объемов ее добычи хватит еще на 50 лет. В связи с этим особый интерес представляет динамика и структура нефтяного рынка, которая является саморегулирующейся системой, существующей в рамках материально-производственных, финансовых, институциональных и социально-политических факторов развития. Рассмотрим совокупность составляющих некоторых из них:

✓ Фундаментальные материально-производственные факторы: динамика издержек; изменение технологий, влияющих на добычу, транспортировку; структура энергетического баланса; рост или падение разведанных запасов; картелизация рынка физической нефти; спрос на нефть, его соотношение с предложением.

✓ Институциональные факторы: объем вмешательства государства на рынок нефти: величина налогов; уровень инфляции; риски внутри страны и норма прибыли в цене, покрывающая риски; субсидии государства, поддерживающие различия между мировым и внутригосударственным уровнями цен; уровень коррупции; регулятивные издержки внутри цены; структура рынков; разрыв между номинальным и реальным эффективными валютными курсами [3].

Исходя из этих и некоторых других факторов, формируется спрос и предложение, осуществляется процесс ценообразования на нефтяном рынке.

Если рассматривать сценарии развития мировой энергетики, а конкретно тенденции в нефтяной отрасли, то можно утверждать, с одной стороны, что они находятся в зависимости от темпов развития отдельных отраслей энергетики, а с другой – сами формируют эти тенденции через запрос общества на энергию определенного типа. Этот запрос, в свою очередь, определяется уровнем и характером экономического развития определенного потребителя и цивилизации в целом [5]. В настоящее время существует высокий уровень взаимной зависимости транспортного сектора и нефтяной отрасли. Нефть как сырье для производства моторного топлива до недавнего времени не имела реальной альтернативы. В случае сочетания роста количества автотранспорта и сохранения доминирования нефтепродуктов потребление нефти будет только расти, что может привести к неблагоприятным экономическим, социальным и экологическим последствиям, поэтому сейчас является актуальным вопрос перехода на альтернативные источники энергии [5, 6].

Автор выражает глубокую признательность к. экон. н. Никишину Вадиму Михайловичу за помощь в проведении научной деятельности и трактовке полученных данных.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мухсинова Л.Х. Приоритетные направления устойчивого развития мировой энергетики // Вестник ОГУ. 2013. №12 (161).
2. Остроухова Н. Г. Современное состояние и ключевые тенденции развития мировых энергетических рынков: последствия для России // Вестник НГУ. Серия: Социально-экономические науки. 2015. № 2.
3. Сергеева З.Х. Нефтегазовый рынок: механизмы формирования мировых цен на нефть // Вестник Казанского технологического университета. 2014. № 21.
4. Гильмундинов В.М. Мировой энергетический рынок и нефтегазовый комплекс России // Вестник НГУ. Серия: Социально-экономические науки. 2004. № 1.
5. Белогорьев А.М., Бушуев В.В., Громов А.И., Куричев А.Н., Мастепанов А.М., Троицкий А.А. Тренды и сценарии развития мировой энергетики в первой половине XXI. Под ред. В.В. Бушуева. – М.: ИД «ЭНЕРГИЯ», 2011. – 68 с.
6. Новиков Ю.Н. Динамика изменений и современное состояние мировых запасов, добычи и потребления нефти // Нефтегазовая геология. Теория и практика. 2013. - Т. 8. - № 1.
7. http://www.worldenergy.ru/stat/stat_0003.php.
8. http://www.ifs.ru/upload/riski.pdf.

БЛОКЧЕЙН КАК ИНСТРУМЕНТ РАСШИРЕНИЯ ПОТРЕБНОСТЕЙ

***А.С. Изюмова**, С.В. Рассказов*
Санкт-Петербургский государственный университет

Цифровая революция способствует созданию новых подходов, которые видоизменяют способ взаимодействия и сотрудничества между людьми и организациями [1]. Одной из сквозных технологий является блокчейн (технология распределенных реестров). Она делает возможным взаимодействие людей без участия посредников. В существующих публикациях основное внимание уделяется программной составляющей и описанию различных приложений блокчейн. Цель данной работы – проследить социологические основы технологии, в частности, связи блокчейн с потребностями. Идея данной работы принадлежит к.э.н. А.Н. Сошневу.

При раскрытии заявленной темы мы придерживаемся следующего плана. Сначала даются краткие сведения о понимании потребностей. Затем перечисляются возможности технологии блокчейн и приводятся некоторые области ее применения. Наконец, сравнение обеих частей позволяет указать влияние блокчейн на потребности.

Существуют несколько подходов к пониманию понятия «потребность». В частности, называются следующие [2] («понимание потребности как …»):

- как нужды;
- как предмета удовлетворения нужды;
- как отсутствия блага;

- как ценности;
- как необходимости;
- как состояния.

В нашей работе потребность понимается как отражение в сознании нужды (недостачи, нехватки чего-то в определенный момент), часто переживаемое как внутреннее напряжение («потребностное состояние») и побуждающее психическую активность, связанную с целеполаганием.

В основе различных классификаций потребностей человека, как правило, лежат испытываемые организмом (или личностью) нужды либо зависимости от каких-либо объектов. В данной статье наиболее подходящей классификацией является разделение потребностей А.В. Петровским по объекту (предмету) на материальные и духовные, где материальные – это потребности человека в обеспечении своего материального существования. Среди материальных выделяются материальные биологические потребности (потребности в пище, одежде, жилище, благоприятной окружающей среде, физическом здоровье и физической безопасности, в продолжении рода) и материальные социальные потребности (труд и основанный на нем процесс материального производства, т.е. предметно-орудийная преобразовательная деятельность человека, общение - взаимодействие в процессе трудовой деятельности и обмен продуктами труда). Духовными называются потребности человека в духовной культуре. К ним относятся потребности в знаниях об окружающем мире (в науке, просвещении), эстетические (в искусстве, зрелищах), моральные (в дружбе, исполнении долга). Особый интерес представляет подход Ш. Шварца, согласно которому основные ценности, наличие которых характерно для всех культур, отражают человеческие потребности как осознанные цели [3].

Как программно-математическая система, технология распределенных реестров позволяет обеспечить:

- прозрачность;
- мониторинг;
- оценку;
- автоматизацию транзакций;
- создание знаний;

Прозрачность технически достигается за счет неизменности общих записей. Записи истории транзакций облегчают мониторинг. Способность отслеживать цепочки транзакций формирует ответственность участвующих во взаимодействиях стороны. Полный набор данных для каждого сообщества пользователей позволяет проводить оценки, которые создают знания [4].

Интерес к использованию блокчейн проявляется в государственном управлении, деловом мире и гражданском сообществе. Его свойства, как «института процедурной справедливости», обеспечивают условия «для честной процедуры взаимодействия при решении различных задач создания и совместного использования ресурсов», такие как репутация, автономная идентичность и доверие [5]. Первоначально технология оказалась востребованной в финансовом секторе. Затем на ее достоинства обратил внимание бизнес, где блокчейн позволяет упростить взаимодействия с поставщиками/партнерами/клиентами и, тем самым, сократить время решения координационных проблем. К настоящему времени блокчейн подтвердил практическую значимость для хранения записей о пациентах в здравоохранении, ускорения обмена данными между контрагентами, предупреждения мошенничества при заключении коммерческих сделок и регистрации собственности, выявления контрафактных продуктов, защиты интеллектуальной собственности. Это – далеко не полный перечень имеющихся примеров [6]. Пока в полной мере не раскрыт потенциал технологии распределенного реестра как инструмента борьбы против бюрократии и коррупции, а также в качестве элемента выборной системы. Прогресс при внедрении блокчейн во многом зависит от государственной поддержки, заинтересованности участников рынка и актуальности социальных проблем.

Сопоставление потребностей, свойств и приложений показывает, что рассматриваемая информационная технология позволяет обеспечить более качественное удовлетворение потребностей, связанных с:

- стабильностью и безопасностью общества/личности;
- ограничением действий и побуждений, причиняющих вред другим или нарушающих социальную гармонию;
- поддержанием и повышением благополучия людей.

Эти универсальные потребности отражаются в таких основных человеческих ценностях, как безопасность, равенство, богатство.

Работа выполнена по гранту РНФ 19-18-00210 «Политическая онтология цифровизации: исследование институциональных оснований цифровых форматов государственной управляемости».

ЛИТЕРАТУРА

1. Шваб К. Четвертая промышленная революция. – М.: «Эксмо», 2016. – 208 с.
2. Ильин Е.П. Мотивация и мотивы. - СПб.: Питер, 2002. - 512 с.
3. Лебедева Н.М., Татарко А.Н. Культура как фактор общественного прогресса. - М.: ЗАО «Юстицинформ», 2009. - 408 с.
4. Davidson, S., de Filippi, P., & Potts, J. Blockchains and the Economic Institutions of Capitalism // Journal of Institutional Economics. - 2018. - V. 14. – N 4. - P. 639-658.

5. Сморгунов Л.В. Блокчейн как институт процедурной справедливости // Полис. Политические исследования. - 2018. - № 5. - С. 88-99.
6. Xun (Brian) Wu, Weimin Sun. Blockchain Quick Start Guide. - Birmingham – Mumbai: Packt, 2018. - 207 p.

ПРОЦЕССНЫЙ ПОДХОД КАК ОСНОВА ВНЕДРЕНИЯ МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА В ГОСУДАРСТВЕННОМ УПРАВЛЕНИИ

Т.А. Малафеевский
Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)

Говоря о качестве, как о степени соответствия совокупности присущих характеристик объекта требованиям, первое, следует отметить, что далеко не всегда речь идет о каких-либо материальных вещах, как, например, продукция. Органы государственной власти, в основном, не выпускают продукцию, качество которой можно оценить, в связи с этим, к построению систем менеджмента качества в органах власти зачастую относятся скептически.

Объектом, согласно ГОСТ Р ИСО 9000-2015, может быть что-либо воспринимаемое или воображаемое, а требования – это потребность или ожидание. Для органов власти потребителями являются граждане, получающие государственные услуги. Их потребности и ожидания легко преобразуются в требования [1]. Самим объектом, к которому требования предъявляются, является любая из государственных услуг, оказываемых органом власти. Удовлетворением данных требований, органы власти способны реализовать первый принцип СМК – ориентацию на потребителей. При этом важно помнить, что потребители делятся на внешних и внутренних. Улучшение выполнения процессов внутри организации путем их ускорения или снижения затрат – тоже улучшение качества.

Проблемы, обуславливающие трудности внедрения менеджмента качества в данной сфере, оговорены в статье «СМК в госорганизации: быть или не быть» Валентина Рахманова. Среди них выделена инертность госструктур в силу необходимости согласования изменений, низкая мотивация и зависимость от вышестоящих руководителей. Мало внимания также уделяется и работе с персоналом. СМК мало где внедрена, а там, где она есть, функционирует зачастую лишь на бумаге. Зачастую руководители среднего и низшего звена в органах власти даже не знают, что у них внедрена СМК. Они работают, не опираясь на разработанные показатели и инструкции, руководствуясь лишь должностными обязанностями. Данную практику перенимают и новые сотрудники таких учреждений. Это противоречит принципам лидерства руководства и вовлечения персонала.

По поводу противоречивости практики управления качеством в государственных органах высказался Михаил Дмитриев, руководитель некоммерческой организации «Новое экономическое партнерство», в прошлом – глава Центра стратегических разработок. Его мнение заключается в том, что деятельность органов власти в большинстве своем не структурирована должным образом, не представлена в виде формализованных процессов [2]. Данной проблемой стали всерьёз заниматься относительно недавно.

На данный момент в Санкт-Петербурге функционирует департамент процессного управления и государственных услуг, отдел процессного управления которого занимается внедрением процессного подхода к управлению в администрации Ленинградской области [3]. Моделирование процессов осуществляется с помощью BPMN. Для каждого процесса определяется клиент (потребитель), производится разложение его на шаги, производится расчет затрат, назначается владелец и показатели эффективности процесса. Этим обеспечивается понимание того, кто и по каким результатам должен отчитаться, и ради чего функционирует процесс. Затем процесс облегчается и автоматизируется, анализируется отдача от автоматизации.

У такого важного для функционирования государства органа, как ФНС, налоговая служба, которая обладает системой менеджмента качества, соответствующим приказом введен реестр процессов, а также разработано Руководство по качеству [4], введены все элементы СМК для соответствия ГОСТ Р ИСО 9001:2015. Но даже там в территориальных органах осведомленность о существовании СМК зачастую в принципе отсутствует.

По вопросам процессного управления в органах власти ЦСР совместно с РАНХиГС был представлен доклад «Трансформации государственного управления: процессы и качество», который впоследствии обсуждался на одном из Интернет-ресурсов [5]. Выясняется, что работа над повсеместным внедрением процессного подхода в органах власти находится на начальных этапах. Реализация пилотных проектов по оптимизации процессов ведется в следующих организациях: Росздравнадзор, Роспотребнадзор, МЧС, Роструд, ФАС и Росприроднадзор. Конечно, при внедрении процессного подхода применительно к органам власти Российской Федерации необходим учет культуры управления именно в нашей стране.

Помимо всего прочего, конечным этапом выстраивания модели процессов является их автоматизация. Она связана с затратами, поэтому сперва необходимо освобождение организаций от лишних процессов. Их исключение из программных продуктов позволит, во-первых, облегчить их использование, во-вторых – снизить затраты на разработку программного обеспечения. Действуя по такому пути, органы власти обеспечат

выполнение пятого принципа – системного подхода к менеджменту, обеспечить прозрачность и управляемость процессов, поскольку сокращение числа процессов, их систематизация улучшает читаемость процессной модели. Для государственных организаций, обладающих иерархически выстроенной организационной структурой, целесообразно использовать процессные модели с разной степенью декомпозиции. Это поможет концентрироваться на нужном участке работ.

Принципы постоянного улучшения и принятия решений, основанных на фактах, можно реализовать с помощью соответствующего программного обеспечения, позволяющего вести базу знаний, запись несоответствий, примечаний, а также сопровождать операционную деятельность сотрудников той или иной организации, в том числе – государственных структур. В производственных организациях для подобных практик используются PDM-системы. Согласно последним данным, по образу и подобию разрабатываются системы для органов сертификации (например, АДВАНСдокс). Для сотрудников налоговой службы – это АИС Налог. В любых госорганах, где подобные практики не внедрены, они потенциально реализуемы, скорость их реализации напрямую зависит от заинтересованности руководства и уровня организации процессов.

Работая с программными продуктами и собирая данные, руководство получает возможность их дальнейшей обработки для принятия решений, основанных на фактах. С течением времени показатели меняются. Отображая их изменение и анализируя, можно находить причины отклонений показателей от желаемого уровня, а затем воздействовать на них, что позволит реализовать принцип постоянного улучшения.

Параллельно с этим реализуется и принцип взаимовыгодных отношений с поставщиками. Так, например, избавляясь от ненужных процессов, организация упрощает для поставщика ПО его разработку, при этом экономит время и деньги. Внутри организации это может проявляться в ускорении работы между поставщиками процесса, владельцами процесса и получателями результата процесса.

После завершения автоматизации процессов может быть создана база данных для отслеживания его параметров и сбора дополнительной информации. На примере процесса «Камеральная налоговая проверка» для налоговой службы это может выглядеть так, как показано на рис. 1.

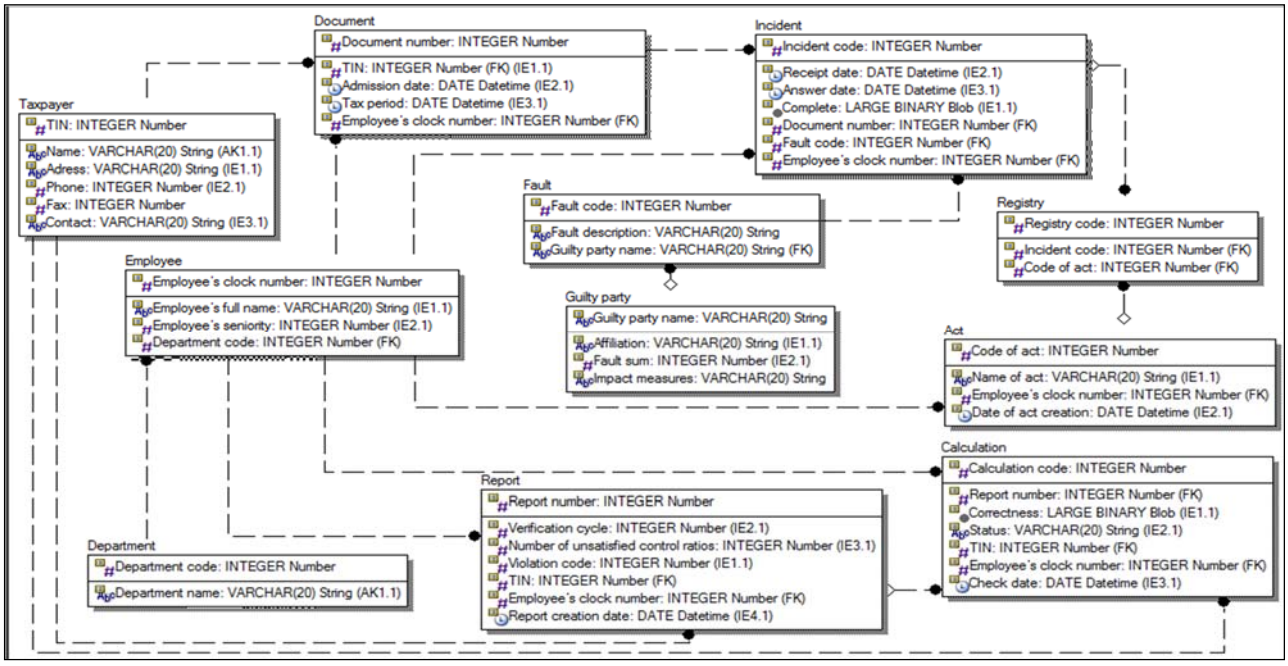


Рис. 1. Реляционная модель базы данных для поддержки процесса камеральных проверок

Итак, несмотря на особенности, связанные со спецификой деятельности органов власти, построение в них систем менеджмента качества принципиально не отличается от такового в производственных организациях. Первым шагом к построению таких систем является выделение, описание и упрощение процессов организации, вторым шагом – поиск способов автоматизации части процессов. Последним этапом является информатизация, создание хранилища данных, служащего для постоянного улучшения и принятия управленческих решений, призванных увеличить удовлетворенность потребителей, внешних и внутренних.

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ Р ИСО 9000-2015 Основные положения и словарь. М.: Стандартинформ. 2015.

2. PRO Качество [Электронный ресурс] // СМК в госорганизации: быть или не быть. URL: https://kachestvo.pro/kachestvo-upravleniya/sistemy-menedzhmenta/smk-v-gosorganizatsii-byt-ili-ne-byt/ (дата обращения: 06.10.2019).

3. Комитет экономического развития и инвестиционной деятельности Ленинградской области [Электронный ресурс] // Департамент процессного управления и государственных услуг. URL: http://econ.lenobl.ru/ru/about/direction/dep_pu_gu/ (дата обращения: 06.10.2019).

4. Приказ ФНС России от 16.11.2017 N ММВ-7-17/940@ "Об утверждении Руководства по качеству ФНС России" // Налоги и право. URL: https://nalogcodex.ru/Prikazy-Minfina-i-FNS/Prikaz-FNS-Rossii-ot-16.11.2017-N-MMV-7-17_940_/ (дата обращения: 06.10.2019).

5. Центр стратегических разработок [Электронный ресурс] // Процессный подход в госуправлении. URL: https://www.csr.ru/news/protsessnyj-podhod-v-gosupravlenii/ (дата обращения: 06.10.2019).

О СОСТОЯНИИ И РАЗВИТИИ РЫНКА ПРИБОРОВ И УСЛУГ УЛЬТРАЗВУКОВОГО НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ

А.Р. Нургалиева

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ»

В области электроакустической и ультразвуковой технике важную роль занимает рынок приборов и услуг ультразвуковой техники, в частности дефектоскопия. Дефектоскопия, как составная часть диагностики технического состояния оборудования, представляет рынок приборов и услуг неразрушающего контроля. Дефектоскопы применяются в различных областях, таких как машиностроение, нефтегазовая промышленность и пр. Диагностика приборов, связанная с выявлением дефектов, совмещается с ремонтными работами и техническим обслуживанием. Некоторые виды дефектоскопов имеют возможность исследовать изделия, движущиеся с большими скоростями, а также могут передвигаться сами относительно проверяемых изделий (рельсовые дефектоскопы). Так, производство приборов(аппаратуры) неразрушающего контроля, как наукоемкая и высокотехнологичная отрасль, может стать при эффективной организации достаточно прибыльным делом, бизнесом.

В 80-х годах прошлого столетия уровень развития науки в данной отрасли был достаточно высоким. Но качество производимых приборов было ниже мирового уровня, что обуславливалось низким качеством комплектующих изделий и материалов и пр. Но, несмотря на отставание, советское производство могло обеспечить промышленность требуемым оборудованием. Например, ежегодный объем годового выпуска УЗ толщиномеров УТ-93 и дефектоскопов УД2-12 достигал нескольких тысяч штук [1].

В этот период времени многие организации активно занимались научными исследованиями, разработками и производством аппаратуры неразрушающего контроля. Лидирующей организацией в этой области являлось ПО «ВОЛНА» в составе завода "Электроточприбор" и ВНИИНК (Всесоюзный НИИ неразрушающего контроля), располагавшееся в Молдавии, г. Кишинев. Помимо этого, производством аппаратуры неразрушающего контроля занималось Московское НПО «СПЕКТР». Различными исследованиями, методиками и разработками занимались ЦНИИТМАШ, ВИАМ, НИИМостов, МВТУ им. Баумана, ЛИИЖТ, Томский НИИИН и ряд других.

Однако, после распада СССР произошло разрушение производственных связей предприятий данной области, что привело к падению производства оборудования неразрушающего контроля, в результате чего ухудшилось экономическое состояние отрасли (падение производства и потребления продукции).

В настоящее время иностранные компании активно пытаются функционировать на российском рынке неразрушающего контроля. Однако, стоимость их оборудования примерно в 3-4 раза выше отечественных аналогов при сравнимом качестве. К тому же, ввиду низкой платежеспособности российского потребителя, попытки зарубежных фирм укрепиться не достигают их желаемого успеха. Подтверждением этому является незначительная доля импортных приборов на ультразвуковом рынке, которая составляет не более 10-15% [1].

Ежегодная потребность в приборах неразрушающего контроля на отечественном рынке составляет 1000 дефектоскопов и более 500 толщиномеров(в расчет берутся только приборы для контроля металла). Это обусловлено эксплуатационным износом техники и ее моральным устареванием. При этом обновление аппаратуры неразрушающего контроля происходит после 10-ти летнего периода. Годовая выручка данного сегмента рынка может составить от нескольких миллионов до десяти и более миллионов долларов [1].

Сегодня бывшее предприятие ПО "Волна" – это иностранная компания АО «Интороскоп» (Молдова), действующая на российском рынке, предлагает технику (например, УЗ дефектоскопы типа УД2-12 и толщиномеры УТ-93), отвечающую техническим требованиям 20-летней давности. Эти приборы не всегда подходят под современные запросы отечественных потребителей, поскольку считаются достаточно устаревшими. Но при этом, спрос на них существует из-за их невысокой цены.

В сфере услуг неразрушающего контроля и технической диагностики в современной России зарегистрировано порядка 300 компаний, в которых работают примерно 50 000 человек. При этом оборот компаний, оказывающих услуги по неразрушающему контролю, составляет 76 млн. долларов (без гамма-дефектоскопии) [2]. К сожалению, российские компании не имеют гамма-дефектоскопов (только X-Ray и другие). Однако в них нуждаются судостроительная, атомная и нефтегазовая промышленности, которые по причине специфики деятельности не могут отказаться от их использования. А препятствием к использованию данного метода в России является необходимость получения лицензии, обучение специалистов и др. Отсутствие гамма-дефектоскопов, по нашему мнению, является большой потерей для отечественного рынка неразрушающего контроля.

Лидерами российского рынка по производству ультразвуковой техники являются такие компании, как НВП «Кропус» (г.Ногинск), ЗАО «Константа» (г.Санкт-Петербург), НПП «Технотест» (г.Москва), «Акустические контрольные системы» (г.Москва) и многие другие. Так, например, НВП «Кропус» осуществляет поставки своей продукции крупнейшим отечественным компаниям: ПАО «Газпром», ПАО «Транснефть», «Роскосмос», «Росатом» и др.

В настоящее время российский рынок неразрушающего контроля направлен, в первую очередь, на развитие основных видов и методов физического неразрушающего контроля (акустического, радиографического, электромагнитного и т.д.). Одновременно с этим ведутся разработки по созданию, производству и продвижению на рынке современных конкурентоспособных средств неразрушающего контроля. Кроме этого, компании предпринимают усилия по внедрению современных технологий неразрушающего контроля по принципу «под ключ» и др.

Этот рынок при создании необходимой конкурентоспособной среды может привести к функционированию только нескольких лидирующих производителей приборов неразрушающего контроля, которые впоследствии смогут выйти на мировой рынок.

Как нам представляется, успех развития рынка неразрушающего контроля, прежде всего, будет достигнут в результате: повышения эффективности координации академической, вузовской и отраслевой науки, международного сотрудничества для обеспечения прогресса в области неразрушающего контроля; совершенствования системы подготовки специалистов в данной области и повышения их квалификации; развития специализированных центров технологий неразрушающего контроля. Успешный опыт работы таких центров, как НТЦ «Эталон» (СПб), подтверждается созданием технологии неразрушающего контроля качества сварных швов, получаемых фрикционной сваркой при производстве ракет-носителей «Ангара».

Неразрушающие методы дефектоскопии обеспечат надежность и долговечность атомных и тепловых электростанций, космических ракет, электронных приборов, кораблей, самолетов, трубопровода и т.д., что в целом отразится на развитии стран. Следует учесть, что мировой рынок ультразвукового неразрушающего контроля ежегодно растет, так в 2016 году он оценивался в 7,07 млрд. долларов США, а по прогнозу на 2023 год он составит 12,06 млрд. долларов США, при темпах роста 7,83% [3]. Отсюда следует, важность и необходимость в усилении развития дефектоскопии в России, поскольку от этого зависит не только надежность отечественного оборудования, но и экономическое состояние страны.

ЛИТЕРАТУРА

1. Клюев В.В., А.В., Самокрутов А.А. Рынок средств ультразвукового контроля - современное состояние. URL: http://www.acsys.ru/article/rynok-sredstv-ultrazvukovogo-kontrolya-sovremennoe-sostoyanie/ (дата обращения: 17.02.2019).

2. Чепайкин И.А. Обзор мирового рынка приборов и услуг неразрушающего контроля. URL: http://www.tpinauka.ru/2016/06/Chepaykin.pdf (дата обращения: 17.02.2019).

3. Б/а. Non-Destructive Testing and Inspection Market by Technique (Visual Testing, Magnetic Particle, Liquid Penetrant, Eddy-Current, Ultrasonic, Radiographic, Acoustic Emission), Method, Service, Vertical, and Geography - Global Forecast to 2024. URL: https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/non-destructive-testing-ndt-equipment-services-market-882.html (дата обращения: 17.02.2019).

СЛОЖНОСТИ, С КОТОРЫМИ СТАЛКИВАЕТСЯ ОТДЕЛ СМК

А.В. Политова, Д.В. Прядко

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)

В структуре крупных организаций можно встретить отдел СМК, то есть отдел системы менеджмента качества. Основная цель отдела заключается в обеспечении стабильности бизнес-процессов, построенных на основе процессной модели организации и поддержании системы менеджмента качества организации.

Первостепенная задача отдела – это разработка и совершенствование руководств и процедур системы менеджмента качества, также программ качества по проектам, процессам и видам продукции. Процедуры и руководства — это базовая документация СМК, регулирующая деятельность организации в области качества. Отдел СМК также занимается мониторингом и контролем соблюдения положений нормативной документации.

Кроме создания и внедрения локальной нормативной документации отдел устанавливает оценки уровня качества, которые используются для анализа результатов деятельности. Соответствующие оценки проводятся в подразделениях организации, у действующих и потенциальных поставщиков. Опираясь на них, руководство организации принимает решения о мерах совершенствования деятельности, а также о формах сотрудничества с поставщиками. Помимо анализа полученных оценок качества и принятия соответствующих управленческих решений, отдел СМК занимается проведением внутрениих аудитов СМК и организаций внешних аудитов системы. Главная задача отдела СМК при проведении этих мероприятий – это выявление любых несоответствий в системе менеджмента качества и оперативное устранение этих несоответствий. Кроме того, важной функцией

отдела является консультирование и обучение сотрудников организации в сфере менеджмента качества. Вся деятельность отдела направлена на улучшение деятельности организации и совершенствование качества.

Часто бывает так, что к отделу СМК плохо относятся сотрудники других подразделений. Что значит плохо? Они просят не мешать работать, говорят, что и так все знают, злятся на необходимость заполнения «ненужных» документов. Бывают и более жесткие проявления негативного отношения. Сотрудников отдела СМК могут выгнать или обругать.

Деятельность отдела СМК многим выглядит избыточной и ненужной. Со стороны сотрудникам кажется, что отдел, не участвуя в создании выручки организации, готовит документы, которые никто не читает и проводит внутренние аудиты, к которым нужно готовиться. Правда, перед внешними аудитами сотрудники отдела помогают и объясняют, что могут спросить и просят найти свою должностную инструкцию. Описанная ситуация характерна для организаций, где система менеджмента качества и получение сертификата ИСО 9001, были выполнены формально, для участия в тендерах или повышения статуса организации.

Еще бывает ситуация, когда отдел «назначается» ответственным за качество, при этом остальные подразделения самоустраняются от этого и продолжают работать как прежде.

Основной причиной неприятия отдела СМК можно назвать формальность создания системы менеджмента качества. Когда целью является не управление качеством, а наличие сертификата для участия в тендерах. В таких организациях сотрудники видят в СМК в лучшем случае инструмент продаж и не понимают, как система может влиять на качество. Поэтому любое действие сотрудников отдела СМК воспринимается как помеха основной работе.

Наличие сертификата ISO 9001 часто включается в обязательные требования к участникам тендеров. Предполагается, что сертификат гарантирует высокую репутацию организации и наличие действующей системы менеджмента качества. На деле, это благое намерение заказчиков привело к тому, что появилось большое количество фирм, предлагающих за три дня подготовить комплект документов СМК и выдать сертификат. Такие сертификаты являются фиктивными, хоть и дают возможность участия в тендерах. Настоящие проекты по созданию СМК в организации выполняются в сроки 6 месяцев и более. В них участвуют все сотрудники и, как правило, меняется подход к управлению организацией. Однако, и при серьезном внедрении менеджмента качества возможны сложности. Хотя при корректном внедрении СМК их меньше. Тем не менее, они возможны.

Еще одной причиной можно считать недостаток образования в области управления качеством среди сотрудников организации. Когда не все прошли достаточное обучение и не полностью понимают принципы и инструменты СМК. Часто бывает так, что в организации работают люди, которые получали образование в те времена, когда управление качеством не входило в учебные планы. Поэтому многие термины и понятия им не знакомы. Стоит добавить, что не все хотят учиться новому, считая, что и без этого хорошо работают. Если среди руководителей таких сотрудников много, то популяризация менеджмента качества в организации может столкнуться с немалым сопротивлением на всех уровнях.

Также может быть ситуация, при которой сотрудники понимают важность и задачи отдела СМК, но у них такая высокая загрузка, что им просто некогда заниматься задачами менеджмента качества. Поддержание и развитие системы менеджмента качества никогда не происходит при остановке основной деятельности организации. Чем динамичнее работа и больше задач у сотрудников, тем меньше времени остается на деятельность по управлению качеством. Хотя именно она должна в перспективе облегчить работу. Проблема в том, что задачи надо решать сейчас, а гарантий пользы от менеджмента качества никто не дает. Поэтому сотрудники выбирают текущие задачи вместо задач отдела СМК.

Еще может быть так, что видение руководителей подразделений не совпадают друг с другом или с видением руководства организации. При плохой организации коммуникаций между подразделениями, это может стать препятствием эффективной работы отдела СМК.

Нередко, к сожалению, подразделения одной организации конфликтуют друг с другом: маркетинг и продажи, бухгалтерия и экономисты, производство и снабжение. Кажется, что у всех свои личные цели. Цели организации при этом тоже воспринимаются сквозь призму личных. Руководители и сотрудники редко говорят друг с другом о единых целях и личном видении их достижения, руководство организации не всегда рассказывает о свои настоящих целях и планах. Например, один проект в области управления качеством сотрудники выполняли, думая, что оптимизируют процессы, а руководство считало, что должны сократиться издержки. При этом главная цель оставалась тайной до финальной презентации результов проекта. Сотрудники гордились тем, что смогли описать и упорядочить процессы, а топ-менеджер разозлился, что изреджки не сократились.

Все эти причины, по отдельности или вместе, не способствуют положительному восприятию отдела СМК в организации. Более того, кажется, что это избыточное подразделение, без которого всем лучше. Можно ли сделать что-то, чтобы ситуация изменилась?

Руководству организации необходимо проанализировать возможные выгоды от внедрения СМК, и принять решение о том, будет ли система фиктивной или менеджмент качества станет полноценной частью системы управления организацией. От этого зависит смысл существования отдела СМК и его роль в организации.

В том случае, если организация заинтересована в СМК, могут быть выполнены следующие действия для изменения отношения сотрудников к деятельности отдела СМК.

1. **Обучение сотрудников организации и популяризация менеджмента качества.** Необходимо проводить регулярное обучение персонала в зависимости от должностей и выполняемых задач. Ответсвенных исполнителей и участников процессов важно обучить основам процессного управления и менеджмента качества.

Для руководителей должно проводиться более глубокое обучение менеджменту качества, предполагающее последующую поддержку и обучение других сотрудников. Помимо обучения важно создать систему популяризации СМК в организации. К этой задаче может привлекаться служба связей с общественностью, а также неформальные лидеры в подразделениях. Руководитель компании должен возглавить деятельность по популяризации СМК.

2. **Рабочие встречи и организационные сессии.** Для устранения конфликтов между сотрудниками и формирования единого понимания задач организации в области качества необходимо проводить собрания, направленные на формирование единого видения участников системы менеджмента качества и устранения разногласий. Встречи могут проходить с привлечением профессиональных модераторов и авторитетных сотрудников организации.

3. **Корпоративный коучинг.** Для развития руководителей и сотрудников, и повышения эффективности СМК могут проводиться коуч-сессии, направленные на определение путей достижения целей СМК и определение текущих задач.

Если представить организацию, которая сознательно разработала и внедрила СМК, то можно предположить, какую пользу она получает. Во-первых, это непрерывное улучшение качества своих товаров, услуг и процессов. Система менеджмента качества предполагает мониторинг и анализ тех процессов и результатов деятельсти, которые влияют на качество. Отдел СМК решает задачи, связанные с разработкой, поддержанием и совершенствованием основной документации системы качества, а также программ качества по проектам, видам продукции и видам деятельности.

Если руководитель организации хочет получать пользу от деятельности отдела СМК, то должен спланировать действия по повышению его эффективности. Ведь недостаточно нарисовать еще один прямоугольник на оргструктуре организации. Сам по себе он пользы не принесет.

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЯ В IT-ОТРАСЛИ

Н.В. Размочаева

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина) СПбГЭТУ «ЛЭТИ»

На сегодняшний день для активного развития всех сфер деятельности гражданина Российской Федерации (РФ) импортозамещение играет важнейшую роль. Согласно [1], под импортозамещением можно понимать замену иностранных товаров на продукцию отечественного производства, что способствует созданию дополнительных рабочих мест, стимулирует появление новых компаний и предпринимателей в сегменте среднего и малого бизнеса. Ответственное отношение граждан к организации и проведению мероприятий в рамках политики импортозамещения обеспечивает отечественным технологиям достижение высокого уровня, ничуть не уступающего уровню в других странах.

В связи с широчайшим распространением ЭВМ и повсеместным присутствием в жизни человека информационных технологий (ИТ), особое внимание уделяется импортозамещению в ИТ-сфере. В [1] утверждается, что в качестве основной причины важности импортозамещения в ИТ-сфере можно рассматривать необходимость создания абсолютной технологической независимости ИТ-решений отечественного производителя (что должно обеспечиваться не только в интересах органов государственной власти, но и в связи с военной политикой). Далее под ИТ будем подразумевать совокупность аппаратного и программного обеспечения и её применение.

Сложности реализации. Однако процесс замещения импортных решений отечественными аналогами требует много времени. Уже сейчас некоторые зарубежные производители, достигшие высочайшего уровня техники, с большой вероятностью смогут представить на рынке более совершенную продукцию, даже по сравнению с той, которую производили ранее [2]. На таком фоне возникает идея создания сильно опережающей политики импортозамещения, а именно: разрабатывать необходимо такую импортозамещающую продукцию, которая будет не хуже иностранного аналога, который еще не произведен (но, с большой вероятностью, обязательно будет).

Если же говорить об иностранных решениях, которые уже внедрены и эффективно работают на иностранных рынках, то попытки отечественных производителей создать их аналоги могут привести к неприятным последствиям, например, к технологическому отставанию [2], что, в свою очередь, подталкивает с большим опозданием прибегнуть к использованию иностранных решений, которые уже могут начать устаревать. В связи с вышесказанным, опережающая политика импортозамещения должна реализовываться на основе крепкого научно-технического фундамента. Причем в некоторых ситуациях имеет место неотвратимость создания этого фундамента на основе иностранных решений (в пределах разумного: брать из иностранных решений всё необходимое по минимуму), но обязательно с таким расчетом, чтобы дать возможность отечественному производителю «вырастить» на установленном фундаменте конкурентоспособную продукцию в будущем.

Согласно [3], ИТ-отрасль, включая телекоммуникации и Интернет, очень динамична. Глобализация ИТ-рынка, разработка, внедрение и применение единых стандартов, протоколов и пр. могут сделать местные рынки весьма открытыми для внешнего производителя. Но в тоже время нельзя закрывать глаза на необходимость организовывать защиту отечественных производителей и рынка труда, что включается в себя обеспечение информационной безопасности отечественных решений.

С конца 1940-х имела место самостоятельная разработка специализированного ПО и уникальных вычислительных машин, которые создавались десятками научно-исследовательскихцентров, где работали выдающиеся советские ученые, создававшие ИТ-решения, начиная от общих принципов программирования, заканчивая системным и прикладным ПО. Более подробно об истории развития отношения к ИТ-сфере (от копирования ПО, через приобретение зарубежного, к политике активного импортозамещения) можно ознакомиться в [4].

Вопросы эффективности и целесообразности. Конкурентоспособность – основной критерий ИТ-решений на мировом рынке и, в то же время, большой камень преткновения для производителей отечественных ИТ-решений, потому что не всё то, что успешно внедрено и используется на отечественном рынке, может получить перспективу развития за рубежом. Это чревато тем, что разработка собственных ИТ-решений может приводить к тупиковым ветвям, что может отрицательно сказаться на мотивации отечественного производителя и выражаться в неудовлетворительном процессе финансового стимулирования производства.

Следует заметить, что основополагающим моментом в успешности импортозамещения в ИТ-сфере все-таки является качественная подготовка и повышение квалификации кадров. На территории Российской федерации по-прежнему сильна высшая школа в области технических и информационно-технологических наук. Отечественные ИТ-компании обладают высоким потенциалом в разработке как программных, так и аппаратных продуктов.

Вопрос для отдельного исследования — задачи и проблемы финансирования ИТ-проектов в рамках политики импортозамещения.

Нельзя не отметить успешные отечественные ИТ-решения, такие как, как системы 1С, антивирусное ПО Касперского и др. В то же время на отечественном рынке уже укоренились иностранные продукты, например, от компании Microsoft, о нецелесообразности импортозамещения которых уже слагают легенды [5]. Также в [5] отмечается, что наиболее конкурентоспособны на мировом рынке как раз производители антивирусов, прикладного ПО и средств коммуникации, кроме того, лидеры рынка в этих областях обладают достаточным количеством персонала для дальнейшего развития.

Интересный пример реализации политики можно рассмотреть в отношении компании «Рикор» [6], где имела место стопроцентная интеллектуальная собственность: разработка продуктов осуществлялась исключительно компанией, серверы производятся на заводе в Нижегородской области частично из иностранных, а частично из российских компонентов.

Заключение. Несмотря на имеющиеся сложности проведения эффективной политики импортозамещения, существуют отечественные решения, признанные на мировых рынках и активно внедряемые за рубежом. По данным IDC [6], на российские продукты в общих поставках серверных решений приходится около 61% (при этом подавляющая доля ИТ-оборудования пока еще иностранного производства).

Имеет место еще одно препятствие к реализации импорторозамещения – традиционные предпочтения импортной продукции, нежелание тратить время на ожидание итогов разработки отечественных ИТ-решений. Российским производителям необходимо много работать, чтобы достигнуть достаточного уровня доверия к своей продукции.

Политика импортозамещения должна быть нацелена на стимулирование отечественных ИТ-производителей, чтобы те начали активно и смело развивать свое производство для выхода в новые сегменты не только отечественного, но и мирового рынка ИТ-решений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лямин Ю.А. Проблемы импортозамещения в информационных системах // Экономика, Статистика и Информатика. № 4. 2016. С. 35-38.

2. Калюжный К.А. Состояние и перспективы импортозамещения в российской ИТ-отрасли // Наука. Инновации. Образование. 2016. № 2 (20). С. 85-103.

3. Мелащенко Н.В., Наумов В.Б. Подходы к правовому регулированию импортозамещения в сфере информационных технологий в США, КНР, ЕС и России // Инновации. № 6 (200). 2015. С. 54-60.

4. Афанасьев А. Импортозамещение ПО в России: общие вопросы // PC Week/RE №16 (871) [Эл. ресурс]. – URL: https://www.itweek.ru/gover/article/detail.php?ID=165280/. Дата обращения: 07.09.19.

5. Долганина Я. Импортозамещение в IT: «Только вера в себя и административный ресурс» // Сайт информационного агентства. - Тайга.инфо. [Эл. ресурс]. – URL: https://tayga.info/123495/. Дата обращения: 07.09.19.

6. Иванов Б. Импортозамещение в ИТ: производителям нужно начинать с интеграторов // PC Week. [Эл. ресурс]. – URL: https://wwwф.itweek.ru/business/article/detail.php?ID=177545. Дата обращения: 07.09.189.

ЛАЗЕРНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ И ЛАЗЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ОТЕЧЕСТВЕННОГО РЫНКА

А.А. Рыжая

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ»

В СССР существовали специализированные заводы, цеха, научно-исследовательские институты, конструкторские бюро, разрабатывающие и изготавливающие разнообразную лазерную технику, что позволило стране занимать ведущие позиции в мире. Так, в советский период (70-е-80-е гг.) производство лазеров и лазерного оборудования соответствовало мировым объемам производства подобной продукции. Удельный вес СССР в рассматриваемый период времени составлял приблизительно половину мирового объёма производства лазеров и лазерного оборудования [1].

В начале 90-х происходило разрушение инфраструктуры высокотехнологичной лазерной индустрии из-за политической ситуации в стране. К тому же, в результате приватизации определённая часть уникальных производств были закрыты, а те, которые остались, были поставлены в очень тяжёлые условия: сокращение внутреннего спроса, прекращения крупных военных заказов, государственного финансирования научных разработок. К тому же, несовершенства как налоговой, так и таможенной систем в тот период времени в определенной мере создавали некоторые трудности для создания необходимой инфраструктуры для развития наукоемких производств. И только в 1998 году появились некоторые положительные изменения.

В целом к 2014 году на территории страны действовало более 10 лазерных инновационно-технологических центров (ЛИТЦ), около 60 тыс. человек являлись разработчиками лазерно-оптической отрасли в России. Следует сказать, что объём выпуска лазерно-оптического оборудования, способного конкурировать на мировом рынке – 0,2% из-за неиспользования имеющегося потенциала, отсутствия должного регулирования и контроля при распределении средств и, в целом недостаточного финансирования этой отрасли.

Отечественная лазерная отрасль представлена малыми предприятиями. Эти предприятия производят порядка 70% выпуска лазерной аппаратуры гражданского назначения и ее комплектующих [1]. На российском рынке лазерного оборудования есть все виды отечественного лазерного оборудования, включая лазерные технологические комплексы (ЛТК) для обработки материалов и лазерные технологические установки (ЛТУ). К числу главных производителей отечественных ЛТУ и ЛТК относятся: ООО «Тета», АК ТМЗ ЗАО «Технолазер», ЗАО «Лазерные комплексы»,АО «ЭНИМС», «Артлазер»ОКБ «Булат», НПЦ «Лазеры и аппаратура ТМ»,. Центры, создающие лазерную технику находятся в Москве, Санкт-Петербурге, Новосибирске, Туле.

В современное время важными для многих отраслей промышленности являются лазерные технологии, которые применяются в основном в таких сферах как авиакосмическая, металлургия, медицина, военно-промышленный комплекс, телекоммуникации и пр. Как известно, разработка и внедрение лазерных технологий в индустриально развитых странах обеспечивается значительной государственной поддержкой. Так, в соответствии с федеральными программами, созданные системы специальных центров способствуют сотрудничеству потребителей с исполнителями заказов на лазерную обработку материалов, измерения и т.д. К сожалению, в России должной поддержки пока нет. К тому же отсутствует структура, занимающаяся продвижением лазерных технологий в промышленность, способная провести их исследования и разработку. Несмотря на то, что из бюджета ежегодно выделяются финансовые средства на поддержку НИОКР по лазерам, однако государство не осуществляет должного контроля за использованием их результатов. В итоге, не получив ожидаемой поддержки государства, новые научно-технические достижения, получаемые в РАН и вузах, а также в негосударственных малых предприятиях, находят отклик у иностранных партнёров, теряя порой права на интеллектуальную собственность или от них получают незначительные средства, не влияющие на дальнейшее развитие исследований и разработки лазерных технологий в России.

Удельный вес России на мировом рынке лазеров в последние десятилетие не превышает 1,5% (70% оборудования не соответствует мировому уровню, 80% промышленных предприятий нуждаются в оборудовании).

Стоит отметить, что Россия выпускает практически все виды лазерной техники. Однако современному мировому техническому уровню соответствует лишь 5–10% от всех моделей, а многие из них остаются опытными образцами [2]. По нашему мнению, существующая с 2008 года система сертификации для лазерно-оптической отрасли являющаяся добровольной, а не обязательной, не осуществляет должного надзора за исполнением стандартов [2].

В России в последние годы происходит рост экспорта лазеров, так в 2016 г. (129 млн. долл.) по сравнению с 2013 г. (55 млн. долл.) поставки увеличились в 2,3 раза, а экспорт частей и комплектующих лазеров в 4 раза [3].

Россия экспортирует лазеры и комплектующие в основном в Германию и Китай и в меньшей степени - в США, Индию, Республику Корея, Белоруссию и другие страны. Экспорт в Германию за 10 месяцев 2017 года составил 107 млн. долл. против 79 млн. долл. за весь 2016 год. Лидером экспортных поставок выступает НТО «ИРЭ-Полюс» (г. Фрязино, Московская область), входящее в международную группу IPG Photonics. В 2016 году Россия заняла 6-е место в мире по экспорту лазеров, уступив Германии (1,44 млрд. долл.), США (1,17 млрд. долл.), Китаю (0,47 млрд. долл.), Великобритании (0,35 млрд. долл.) и Японии (0,23 млрд долл.). [3]

На сегодняшний день можно говорить о том, что в России ведется разработка и внедрение лазерных технологий в производство. Группа компаний «Лазеры и аппаратура» разработала и с 2016 года производит станки послойного лазерного сплавления металлопорошков серии МЛ6 (лазерные аддитивные технологии), а также производит станки для резки и раскроя листовых и рулонных материалов серии МЛ35 КОМПАКТ[4]; ООО «МелСиТек», входящее в Группу компаний «РАЙН» из г. Дзержинск, Нижегородской области является разработчиком и производителем уникального российского медицинского лазера - трехволнового медицинского лазерного комплекса MAGIC, предназначенного для широкого круга применений - прежде всего это борьба с различными кожными и сосудистыми патологиями, омоложение, а также удаление волос и удаление тату путем воздействия лазерного излучения.Достаточно сказать, что конкурентами этому оборудованию являются такие известные на весь мир марки как Fotona, Candela, DekaLasers и множество других. Вместе с низкой ценой это позволяет сократить минимальный срок окупаемости прибора до 7 месяцев [5].

Лазеры, применяемые в различных сферах производства, способствуют как развитию стратегически важных отраслей народного хозяйства, так и в целом самой страны. Несмотря на некоторый упадок данной отрасли в период трансформационных процессов 80-х – 90-х гг., Россия сегодня наращивает обороты в лазерной сфере.

ЛИТЕРАТУРА

1. Афримович В.Б., Казакевич В.С., Яресько С.И. Тенденции развития рынка лазерных технологий для решения задач лазерной обработки материалов. Часть 2 Рынок лазерных технологий в России и Самарской области // Известия Самарского научного центра Российской академии наук, 2014, т. 16, № 4.

2. Лазерная промышленность. – [Электронный ресурс]. – https://www.photonics-expo.ru/ru/news/index.php?id4=1968.

3. Россия наращивает экспорт лазеров. – [Электронный ресурс]. – URL: http://www.arms-expo.ru/news/cooperation/odk_razrabotala_pervyy_rossiysk... 01/01/2018.

4. Рынок лазеров и лазерных технологий. – [Электронный ресурс]. – http://laseris.ru/public/content/analytics/2017-04-21-Statia_obzor_lazer_rinka3.pdf.

5. Уникальный российский медицинский лазер. – [Электронный ресурс]. – https://yandex.ru/turbo?text=https%3A%2F%2Fsdelanounas.ru%2Fblogs%2F55917%2F.

МЕТОДИЧЕСКИЙ ПОДХОД И РЕЗУЛЬТАТЫ ОЦЕНКИ БИОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА РЕСПУБЛИКИ КАРЕЛИЯ

С.В. Тишков[1]*, А.П. Щербак[1], В.В. Каргинова-Губинова[1], Ю.В. Ромашкина[1], К.А. Кулаков[2]*
[1]Институт Экономики Карельского научного центра Российской Академии Наук
[2]Петрозаводский государственный университет

Современные технологии, в частности технология производства биогаза, позволяют получать доходы из отходов. Помимо дополнительного источника дохода эта технология является наиболее эффективной системой утилизации отходов, в том числе биологически опасных. Переработка отходов на биогазовой установке дает одновременно: газ, электричество, тепло, топливо для транспорта, экологически чистое биоудобрение и существенную экономию капитальных затрат для новых строящихся предприятий агропромышленного комплекса. Таким образом, эта технология дает возможность решить большинство проблем в АПК, при этом повысив уровень конкурентоспособности и энергоэффективности предприятия, являющихся одними из приоритетных направлений развития Российской экономики. Вместе с тем не удается использовать потенциал АПК в полной мере, в силу ряда причин, таких как неэффективные рыночные механизмы, недостаточное развитие инвестиционных инструментов, а также некоторых устойчивых стереотипов по отношению к биоотходам.

Большая часть регионов с развитым сельским хозяйством, соответственно и с высокой концентрацией ресурсов для производства биогаза (Белгородская область, Краснодарский край, Республика Карелия, Алтайский край и другие), являются энергодефицитными. Во всех сельскохозяйственных регионах существует проблема крайне низкой степени доступности объектов энергетической инфраструктуры, в частности только 37% крупных и средних сельхозпроизводителей имеют доступ к сетевому газу.

В количественном выражении, суммарный энергетический потенциал биологических отходов АПК России, при использовании биогазовой технологии, достигает 81 млн. т.у.т. Этот объем позволит покрыть потребности сельских районов в газе на 14%. Если биогаз будет преобразован на когенерационных установках, это даст возможность обеспечить сельские территории электроэнергией на 23% и на 15% тепловой энергией от общей потребности.

Также биогазовая энергетика – это ещё и источник относительно дешевых комплексных органических удобрений, которые образуются в качестве побочного продукта (шлама) при производстве биогаза. Например, ежедневный потенциал переработки навоза одной коровы составляет 0,25 кг азота, 0,13 кг оксида фосфора, 0,3 кг оксида калия и 0,25 оксида кальция и сравним с килограммом комплексных удобрений. В целом для сельского

хозяйства такие относительно дешёвые и доступные удобрения – это важный фактор интенсификации производства и повышения конкурентоспособности отечественной продукции.

В России, как и зарубежных странах биогазовая технология развивается в энергетическом направлении, главной целью которой является максимизация выхода биогаза, при этом сопутствующий продукт (шлам) пока еще очень робко применяется как биоудобрение. Такая схема развития присуща энергодефицитным регионам с высоким естественным плодородием почвы. В регионах, где естественное плодородие почвы находится на достаточно низком уровне, потребность в биоудобрении существенно выше.

Особый интерес представляет опыт работы по внедрению биогазовых технологий в Белгородской области, где на сегодняшний день 1,5 тыс. объектов АПК ежегодно формируют 10 млн.т. органических отходов. Введена в эксплуатацию биогазовая установка, перерабатывающая 75 тыс.т. отходов животноводства в год. В результате переработки этого количества отходов ежегодно вырабатывается 20 млн. кВтч электроэнергии и 65 тыс.т. высококачественных органических удобрений. В области разработана программа биогазовой переработки органических отходов. Программой предусмотрено строительство 100-150 биогазовых установок с размещением на всей территории Белгородской области. Это позволит производить 230МВт электроэнергии, что составляет 10% от общего потребления областью электроэнергии, а также обеспечит область высококачественными биоудобрениями (около 7 млн.т.).

В Мурманской области с 2006 года работает биогазовый комплекс емкостью четырех реакторов по 120 куб.м. каждый. Перерабатывает отходы 600 голов КРС, 1000 свиней, 50000 кур. Установлена когенерационная установка мощностью 350 кВт, сушилки и гранулятор финского производства. Хозяйство продает 70 видов экологически чистых продуктов. Получаемые ежегодно 20 тыс.т. биоудобрения используется в хозяйстве, излишки поставляются в торговые сети.

«Селекционно-генетический центр компании «Мортадель» из Владимирской области в 2011 году запустил биогазовую станцию. Эта установка вырабатывает биогаз из отходов свиноводческого комплекса поголовьем 72 тыс. голов. По подсчетам специалистов, мощность установки и объемы сырья позволят получать 3-4 тыс. кубов биогаза в сутки.

Чувашская Республика одним из первых регионов России разработала Стратегию «Чувашия - Биорегион до 2020". Стратегия предусматривает создание и комплексное развитие биотехнологических производств на всей территории республики, в том числе переработка отходов животноводческих комплексов в производство биогаза и органических удобрений.

В табл. 1 представлен потенциал биоотходов на основных сельскохозяйственных предприятиях Республики Карелия (КФХ, малые, средние и крупные сельскохозяйственные организации).

Таблица 1. Потенциал биоотходов на сельскохозяйственных предприятиях Республики Карелия

Сельхозпредприятия Республики Карелия	Возможный объём навоза под биогаз (т.)	Ожидаемый выход биогаза (м3 / год)
ООО «Родина»	1000	65700
ЗАО «Пряжинское»	5000	722700
ОАО «Ведлозерский»	11000	1095000
ЗАО «Эссойла»	5000	1460000
ОАО «Корм»	35000	2920000
ОАО «Агрокомплекс им. Зайцева»	17000	730912,5
ООО «Маяк»	6000	523775
ЗАО «Свинокомплекс Кондопожский»	5000	685579,5
ООО «Реал»	1500	121362,5
ЗАО «Янишполе»	5000	461725
ООО «Ладожское»	2500	182500
ООО «Возрождение Салми»	5000	410625
ОАО «Агрофирма «Видлица»	9000	584000
ОАО «с-з Аграрный»	11000	1095000
ОАО «Племсовхоз «Мегрега»	90000	2983875
ОАО «Племенное хозяйство «Ильинское»	25000	1825000
ЗАО «Медвежьегорский молокозавод»	45000	1733750
ОАО «Совхоз «Толвуйский»	10000	1266550

Биоустановки с объемом реактора 3 – 1 0 куб. м. по своим параметрам удовлетворяют условиям личных подсобных хозяйств и мелких крестьянских (фермерских) хозяйств (КФХ). Сырьем для переработки являются отходы растениеводства, навоз, получаемый от скота и различные органические бытовые отходы. Продукцией переработки является биоудобрение и биогаз. Биоудобрение вносится на приусадебный участок, биогаз используется на бытовые нужды и обеспечивает энергопотребность хозяйств.

Установка для этой категории хозяйств должна отвечать следующим требованиям:

- простота конструкции;
- невысокая стоимость;
- возможность переработки широкого спектра органических отходов;
- безопасность в эксплуатации.

Исследование возможных путей переработки биоотходов с минимальным воздействием на экологию выявило, что оптимальным решением для переработки органических отходов на сельскохозяйственных предприятиях может стать биогазовая технология. Биогаз может разрешить сразу несколько сложных вопросов для сельскохозяйственных предприятий: снижение затрат на энергообеспечение предприятия, повышение конкурентоспособности и снижение негативного воздействия на окружающую среду.

Биогазовые установки позволят полностью или частично решить проблемы, связанные с обеспечением производства АПК тепловой и электрической энергией по доступной цене. Экономические расчеты указывают, что средний срок окупаемости оборудования составляет 2-3 года, в некоторых случаях достигает 1 год.

Исследование АПК в Республике Карелия, свидетельствуют, о том, что сельскохозяйственные предприятия обладают достаточным потенциалом использования биоотходов на нужды энергетики. Для успешного развития данного направления созданы необходимые условия и предпосылки.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Республики Карелия в рамках научного проекта № 18-410-100002 р_а Исследование факторов, определяющих энергоэффективность экономики Республики Карелия на основе математических моделей.

ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ЗНАЧЕНИЕ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ В ЕС

А.И. Черкасова

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский Государственный Экономический Университет»

Несомненно, транспорт играет значительную роль в экономике, поскольку он является неотъемлемой составляющей цикла производства и потребления. Показатели экономического воздействия помогают проследить взаимосвязь между транспортными системами и экономикой, а также информацию об экономическом значении этого вида деятельности.

Под транспортной системой мы подразумеваем совокупность четырех взаимодействующих элементов: инфраструктура, информационный технологии, институциональная основа и транспортные средства.

Род Эддингтон в своем исследовании «Роль транспорта в поддержке продуктивности и конкурентоспособности экономики Великобритании» [1] определил семь категорий воздействий транспортной системы на экономику, которые он назвал «микроэкономическими драйверами производительности»: повышение эффективности бизнеса за счет экономии времени и повышения надежности , увеличение инвестиций в бизнес за счет поддержки эффекта масштаба или расширения рынков, повышение инновационности бизнеса, поддержка процессов кластеризации и агломерирования, улучшение функционирования рынка труда, повышение его гибкости и доступности рабочих мест, усиление конкуренции за счет открытия доступа к новым рынкам, привлечение международных компаний и специалистов путем обеспечения привлекательной бизнес-среды и хорошего качества жизни.

Помимо этих, более частных факторов, существуют и более обобщенные связи между транспортной системой и экономикой. В первую очередь это влияние на внутренний валовый продукт- общий эффект, к которому сводятся все взаимодействия транспорта и экономики.

Основой современной европейской транспортной системы является программа транспортных коридоров TEN-T, нацеленная на привлечение всех типов инвестиций в транспортный сектор. Она состоит из множества проектов: их конечной целью является обеспечение взаимосвязанности и функциональной совместимости транспортной сети ЕС. В основе лежат девять транспортных коридоров, которые должны быть полностью завершены к 2030 году.

Экономическая модель ASTRA, используемая в отчете Еврокомиссии [2] для измерения экономического влияния программ TEN-T, просчитала эффект на ВВП и занятость населения всего Европейского Союза каждый год относительно уровня 2017 года. Эти данные отражены в табл. 1.

Таблица 1. Экономическое влияние проектов TEN-T на ВВП и занятость населения

	ВВП		Занятость населения (в эквиваленте работников с полной занятостью)	
	2020	2030	2020	2030
ЕС-15	0,3%	1,4%	185200	509600
ЕС-13	1,9%	4,2%	155300	287500
ЕС-28	0,4%	1,6%	340500	797000

Так как в Европейский союз входят страны с различными экономическими показателями, то и влияние TEN-T будет крайне неодинаково. Ожидается, что большее экономическое влияние получат менее развитые восточноевропейские страны, входящие в ЕС-13. Таким образом, важной функцией сети коридоров стало объединение экономик западноевропейских стран с новоприсоединенными восточноевропейскими членами Евросоюза – Венгрией, Кипром, Латвией, Литвой, Польшей, Словакией, Словенией, Чехией и Эстонией, присоединенными в 2004 году, Болгарией и Румынией (2007 год) и Хорватией (2013 год). Финансирование транспортных проектов в этих, экономически менее развитый странах, – это один из инструментов для улучшения экономической и социальной обстановки.

Также различным может оказаться влияние проектов TEN-T на ВВП стран между 2020 и 2030 годами, так как сначала идет прямое воздействие от инвестиций (которое появляется достаточно быстро), а затем косвенное (уже после включения прямого в ВВП). В некоторых странах оно может быть одинаковым (например, Венгрия и Люксембург), а в некоторых (Латвия, Болгария) – иметь разрыв в несколько раз.

Что касается занятости, то производительность труда в сценарии ASTRA представляет собой важный фактор экономического воздействия. Это очевидно с учетом того, что дополнительная занятость определяется на основе соотношения между инвестициями и производительностью, так что высокие уровни производительности создают меньшую дополнительную занятость при том же уровне инвестиций, чем низкие уровни производительности. Как и в приведенном выше анализе ВВП, страны можно дифференцировать между теми, кто в основном извлекает выгоду из прямых последствий инвестиций, и теми, кто в основном извлекает выгоду из вторичных эффектов (то есть воздействия в 2030 году будут в два-три раза выше, чем в 2020 году). Следовательно, более высокие увеличения в абсолютном выражении соответствуют крупным европейским странам: Италия, Франция, Испания и Польша демонстрируют более 100 000 дополнительных рабочих дней к 2030 году относительно базового года. Воздействие в этих странах связано главным образом со вторичными эффектами.

Экономические мультипликаторы используются в качестве индикатора для понимания экономических последствий внедрения TEN-T. Мультипликаторы устанавливают связь между «входом» (требуемыми инвестициями), и «выходом», который может относиться к различным экономическим показателям, таким как ВВП, доход или занятость.

Таким образом, транспортные коридоры сети TEN-T используются как региональный экономический инструмент, влияющий на ВВП и уровень занятости в странах ЕС. Он используется для сглаживания экономических различий между более развитыми (ЕС-15) и менее развитыми странами- членами ЕС (ЕС-13), а также для решения проблем высокого уровня безработицы в таких странах, как Испания и Польша.

ЛИТЕРАТУРА

1. The Eddington Transport Study [Текст] / под ред. Rod Eddington. – Лондон: Изд-во The Stationery Office, 2006. – 366 с.

2. The impact of TEN-T completion on growth, jobs and the environment (Synthesis) [Электронный ресурс] / European Comission. – Электрон. дан. – Режим доступа: https://ec.europa.eu/transport/sites/transport/files/studies/ten-t-growth-and-jobs-synthesis.pdf. – Загл. с экрана. – Яз. англ.

ВОЗОБНОВЛЯЕМАЯ ЭНЕРГЕТИКА И ЭКОНОМИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

А.П. Щербак, *С.В. Тишков, В.В. Каргинова-Губинова, Ю.В. Ромашкина*
Институт Экономики Карельского научного центра Российской Академии Наук

На сегодняшний день в альтернативную энергетику инвестируются огромные средства, исчисляемые миллиардами долларов, так, например, в 2010 году лидирующие позиции по этому показателю принадлежат Китаю (54,4), Германии (41,2) и США (34,0).

Международные исследования выявили, что при должном финансировании и поддержки этой отрасли к 2030 году возможен полный переход на возобновляемую энергию и это больше относится к политической воли, а не от технологий. Разработанные технологии позволяют довести долю ВИЭ до 100%, причем не в отдельных странах, а в мире в целом. Уже существует долгосрочная программа по переходу на 100% энергию от возобновляемых источников в Европейском Союзе к 2050 году.

В таких странах как ЕС, Китай и США финансирование альтернативной энергетике уделяется особо значение, в результате эти страны возглавляют рейтинг стран по использованию возобновляемых источников энергии. Существует большое количество проектов по использованию ВИЭ, часть из них уже реализуется.

Россия пошла по пути модернизации своей энергосистемы и в 2009 году был принят Федеральный закон Российской Федерации № 261-ФЗ "Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации". В нем прописаны цели и задачи развития России в области энергосбережения. К основным направлениям отнесено: проведение энергоаудитов всех зданий; установка приборов учета ресурсов; снижение энергоемкости российской экономики на 40% (самое важное). Это позволит улучшить конкурентоспособность Российских предприятий в условиях мирового рынка.

В северных странах (Швеция и Финляндия) на единицу потребленного топлива в нефтяном эквиваленте в год производится в 3,5 раза больше ВВП, чем в России.

Актуальность исследования вопросов вовлечения возобновляемой энергетики объясняется современными тенденциями синтеза экономики, энергетики, экологии, географии, теории оптимизации и информационных технологий, развитием экономики природопользования, экологической экономики, регионального эколого-экономического анализа. Энергетика мира является большой сложной развивающейся системой, основу которой в настоящее время составляют ископаемые (традиционные) источники энергии - уголь, нефть и природный газ. В 2000 г. в мире было потреблено первичных топливно-энергетических ресурсов 13 млрд. тонн условного топлива (т. у. т.), в том числе нефти - 34,6%, твердого топлива - 28,5%, газа - 22%, атомной энергии - 7,1%, гидроэнергии - 2,6%, нетрадиционных возобновляемых и других ресурсов -0,4%.

Преобразование традиционных источников энергии в нужные для человечества формы приводит к отрицательным последствиям для планеты (загрязнение атмосферы, выбросы парниковых газов и др.). Так, по данным Мирового Энергетического Совета о запасах и потреблении первичных энергоносителей, обеспеченность текущего потребления геологическими ресурсами составляет по углю - около 850 лет, по природному газу - 270 лет, по нефти - 180 лет. Доля России в мировых запасах нефти составляет 4,6%, природного газа - 32,9%, угля -15,9%. Серьезную опасность представляют выбросы и накопление в атмосфере углекислого газа и метана, вызывающие неблагоприятные воздействия на климат и уровень Мирового океана, что может привести к экологическим катастрофам и экономическим бедствиям. Наряду с этим неравномерность распределения ископаемого топлива, его истощение, существующая система добычи, транспортировки, преобразования и потребления стали основным фактором процесса глобализации экономики, сферой политических интересов и методов воздействия одних стран на другие.

Решение указанных проблем делает актуальным рассмотрение в качестве возобновляемых источников энергии энергию солнца, земли, ветра, води и др. Энергетика, базирующаяся на использовании указанных возобновляемых источников энергии (ВИЭ), рассматривается как альтернативна современной энергетики.

В настоящее время интерес к развитию возобновляемых источников энергии существенно возрастает, о чем свидетельствует наибольший рост использования нетрадиционных возобновляемых источников энергии среди всех источников энергии в мировом балансе. Если потребление первичных энергоресурсов возрастает по прогнозам с 2000 по 2020 год в 1,47 раза, то потребление энергии из возобновляемых источников более чем в 5 раз. Однако это незначительная часть экономически реализуемого потенциала возобновляемых источников энергии, который, по минимальным оценкам, составляет 20 миллиардов тонн условного топлива в год.

Принимая во внимание актуальность проблем возобновляемых источников энергии, их решение основано на широком международном сотрудничестве в рамках Организации Объединенных Наций, Европейского экономического сообщества и других организаций, которое стало крупным научно-техническим и практическим развитием путей развития. энергетика, окружающая среда, социальное положение стран и регионов. Во многих странах мира основой энергетических стратегий является развитие возобновляемых источников энергии как направление государственной политики. Разрабатываются финансируемые научно-технические программы. Объем ежегодных затрат на исследования в области возобновляемых источников энергии в мире составляет не менее 1 миллиарда долларов. Нормативно-правовые акты принимаются. Экономическое стимулирование осуществляется за счет налоговых и кредитных льгот, льготных тарифов, субсидий и т. Д. Особенно это законодательство активно развивается в США и Германии. Организационная основа развития возобновляемой энергетики дана в виде определения государственного органа, ответственного за это направление. Исследование рынка проводится на внутреннем и внешнем рынках, создаются демонстрационные модели. Энергетическая безопасность с учетом экологических факторов является одним из важнейших приоритетов. Этот приоритет может обеспечить экономическую безопасность страны с учетом необходимости развития науки и образования, взаимодействия промышленных предприятий с научными и образовательными учреждениями.

Широкое использование возобновляемых источников энергии сдерживается малыми плотностями их потока и изменчивостью во времени, достаточно высокой стоимостью большинства технологий преобразования, ориентацией промышленности и потребителей на использование органического топлива.

Наиболее перспективными источниками возобновляемой энергии в настоящий момент являются: энергия биомассы, низкопотенциальная энергия земли, энергия ветра и воды, а также солнца. Исследования показывают, что потенциал только солнечной энергии будет достаточным для обеспечения населения необходимым количеством энергии. Предварительная оценка показала, что на каждый квадратный метр земной поверхности можно получить около 500 Вт. При эффективности преобразования 4% на человека требуется десять квадратных метров. Учитывая среднюю плотность населения, это вполне достижимая цифра.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента РФ для государственной поддержки молодых российских ученых МК- 229.2019.6.

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ ОТ ВНЕДРЕНИЯ НОВОЙ АРМАТУРНОЙ СЕТКИ С ЯЧЕЙКАМИ ШТЕЙНЕРА

Е.И. Якимова

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ)

Предмет исследования: свойства новой облегчённой арматурной сетки с квадратными ячейками, построенными на основе решения плоской задачи Штейнера о соединении четырёх вершин квадрата самой короткой линией.

Материалы и методы исследования базируются на решении экстремальных задач методами математического анализа. Однако применение таких методов возможно только после выяснения формы, общего вида оптимального решения, который определяется методами вариационного исчисления. Оказывается, получить общий вид оптимального решения для дальнейшего его изучения методами дифференциального исчисления можно на основе физической аналогии арматурной конструкции с минимальными поверхностями и мыльными плёнками, натянутыми на проволочные каркасы.

Результаты исследования получены в виде конкретной силовой ячейки Штейнера, повторение которой приводит к созданию изотропной или анизотропной арматурной сетки с облегчёнными квадратными ячейками.

Цель работы – экономия металла, а значит, и финансовых средств. Вполне реально получить экономию металла 3,5%. Для строительных объектов типа современных 20-этажных зданий такая экономия металла позволит сократить финансовые расходы на строительство на 0,64-15,7 млн. руб. Для достижения цели работы была решена задача о свойствах рациональной ячейки арматурной сетки. Обычная "квадратная" сетка на арматуре имеет элементарную ячейку "крестик", интуитивно производимую предприятиями без анализа оптимальности. Более сложные самые экономичные арматурные сетки "соты" применяются исключительно в специальной технике (авиация и космонавтика), в строительстве практически не используются, потому что в зданиях и сооружениях углы в основном прямые. Предлагается к промышленному производству промежуточный вариант арматурной сетки, между неэкономичной квадратной и самой экономичной сотовой - это квадратные ячейки Штейнера, созданные на основе решения известной задачи математика о соединении четырёх вершин квадрата самой короткой линией. Арматурная сетка применяется в следующих основных конструкциях: железобетонные конструкции, удерживающие сетки для штукатурных работ, кладочные сетки в строительстве, дорожные сетки для полотна, ограждающие сетки (например, "рабица"), арматурные перекрытия без наполнителя. Применение новой арматурной сетки в железобетонных конструкциях требует обосновать не только сокращение расхода металла, но и сохранение прочности армированной по-новому конструкции. В связи с этим необходимы дальнейшие исследования. Однако применение удерживающих арматурных сеток, например, для штукатурных работ, связано не столько с прочностью арматуры, сколько с зацеплением материала. Штукатурка часто выполняет функцию дополнительного утеплителя, поэтому желательно иметь как можно меньше теплопроводного металлического материала внутри неё. В связи с этим применение новых экономичных арматурных сеток для штукатурных работ является вполне обоснованным. Ограждающие сетки с предлагаемыми экономичными ячейками потребуют меньшего расхода металла при полном сохранении своих основных функций, например, в заборах. Кроме того, появится новый эстетический элемент при создании ограждений.

Задача об изготовлении новой арматурной сетки с квадратными облегчёнными ячейками появилась после исследования различного типа перекрытий в строительных конструкциях [1]. При проектировании перекрытий надо учитывать не только прочность конструкции, но и минимизировать массу и расход строительных материалов [2]. Такая задача оказалась актуальной не только для строительства, но и особенно для авиационно-космической техники. Появилась задача об анализе различных схем армирования квадратной области. Является ли диагональное перекрытие самым лёгким. В геометрии известна задача Штейнера о соединении четырёх вершин квадрата самой короткой линией [1]. Эту задачу можно решить методами математического анализа только при условии, что общий вид соединительной линии известен априорно, например, четыре сходящихся отрезка, как в рассмотренных уже случаях. Но почему четыре отрезка? Штейнер доказал, что пять отрезков соединяют четыре вершины квадрата по более короткому пути, чем четыре. Однако вопрос определения общего вида соединительной линии остался открытым. А.И. Драцкая предложила определять вид оптимальной соединительной линии по аналогии с мыльными плёнками, натянутыми на проволочный кубический каркас. Вид мыльных плёнок сбоку совпадает с формой соединительной линии, предложенной Штейнером [2].

После определения вида соединительной линии не составляет труда записать целевую функцию, применить необходимое условие экстремума, проверить достаточное условие экстремума и доказать, что в треугольниках отрезки должны быть наклонены к стороне квадрата под углом 30^0, или, что тоже самое, как у Штейнера, углы треугольников рядом с перемычкой должны быть равны 120^0. Самое главное то, что ячейка квадратная, поэтому может соединяться с другими квадратными ячейками в новую экономичную арматурную сетку. На рис. 1 представлен вид самой короткой линии, соединяющей четыре вершины квадрата и варианты новых экономичных арматурных сеток с квадратными ячейками. Квадратная ячейка Штейнера на 3,5% легче

традиционной элементарной ячейки-крестика, применяемой в строительстве или в конструкции космических аппаратов, например, в тканевых материалах.

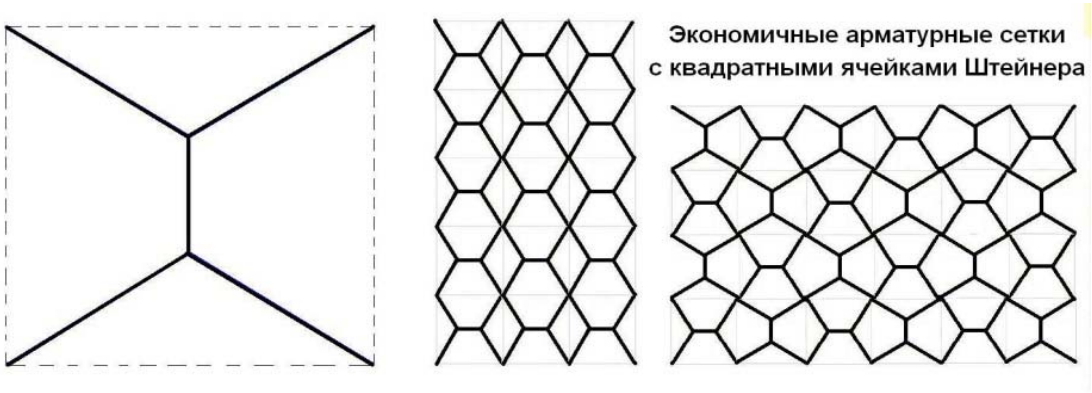


Рис. 1. Ячейка и виды новых облегчённых арматурных сеток

Ячейка Штейнера обладает свойством анизотропии прочности вследствие нарушения диагональной симметрии по сравнению с традиционной ячейкой-крестиком. Свойство анизотропии прочности ячейки Штейнера позволяет создавать множество вариантов арматурных сеток с такими ячейками – все они будут на 3,5% легче традиционных арматурных сеток или тканей с распространёнными квадратными ячейками.

Подтверждение правильности полученных результатов можно найти в природном явлении, в трещинах на поверхности земли во время высыхания почвы, особенно глинистого грунта. Усадка грунта при его высыхании приводит к сжатию материала, поэтому обязательно появятся трещины. Естественно, что трещины будут образовываться по самым коротким линиям. Значит, в картине растрескивания грунта обязательно должны присутствовать ячейки Штейнера, в том числе и для квадрата. На рис. 2 показана авторская фотография трещин на глинистой почве во время засухи и обозначены явно проявившиеся квадратные или прямоугольные ячейки Штейнера.

Рис. 2. Трещины на глинистой почве с образованием ячеек Штейнера

Дальнейшее исследование квадратных ячеек Штейнера связано с изучением их инерционных свойств, построением эллипса инерции для единичной ячейки и комбинации различных соединений анизотропных ячеек и расчётом прочности предлагаемой новой облегчённой армированной конструкции.

Применение нового типа арматурного перекрытия квадратных ячеек на основе решения математической задачи Штейнера (соединить четыре вершины квадрата самой короткой линией) позволить экономить 3,19% металла. Экономический эффект заключается в сокращении расхода материала в плоских армосетках почти на 3,2%. Для справки. Для строительной конструкции массой 2000 тонн экономия финансов в современных ценах составит: 640 тыс. руб. – сталь, 3,5 млн. руб. – алюминий, 16,9 млн. руб. – медь.

ЛИТЕРАТУРА

1. Якимова Е.И. Минимизация силового арматурного перекрытия прямоугольной формы / Строительство — формирование среды жизнедеятельности. – Электронный ресурс: сборник трудов XX Международной межвузовской научно-практической конференции студентов, магистрантов, аспирантов и молодых ученых (26–28 апреля 2017 г., Москва). – Москва: Изд-во Моск. гос. строит. ун-та, 2017. — Режим доступа: http://mgsu.ru/resources/izdatelskaya-deyatelnost/izdaniya/izdaniya-otkrdostupa/. — Загл. с титул. экрана. – С. 420-424.

2. Драцкая А.И., Скворцова А.А., Якимова Е.И. Оптимизация арматурного перекрытия в строительных конструкциях / Сборник тезисов участников форума «Наука будущего – наука молодых». – Нижний Новгород, 12-15 сентября 2017, в двух томах. – Том 1. – 295 с. – С. 187-189. – Электронный ресурс: http://sfy-conf.ru/.

СЕКЦИЯ

«ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ОБРАЗОВАНИИ»

ИНТЕГРАЦИЯ СРЕДСТВ СИНХРОННОЙ КОММУНИКАЦИИ В ПРОЦЕСС ОБУЧЕНИЯ АНГЛИЙСКОМУ ЯЗЫКУ СТУДЕНТОВ МНОГОПРОФИЛЬНОГО ВУЗА

А.С. Гришина, ***П.М. Лычковская***
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

Продуктивность обучения иностранным языкам напрямую зависит от методик обучения и подходов к преподаванию. В наше время информации к изучению становится больше, система образования меняется, и большая часть учебного времени отводится на самостоятельное (дистанционное) обучение. Некоторые учащиеся сталкиваются с психологическими трудностями при этом, так как отсутствует обратная связь в так называемой «веб-аудитории». Одним из способов решения этого вопроса является работа в педагогическом чате. Учащийся находится в постоянном контакте как с одногруппниками, так и с преподавателем. Современные технологии снимают барьеры восприятия новой информации, поскольку повышают активность студента к изучению нового материала, способствуют повышению мотивации, оптимизируют образовательный процесс и упрощают возможность связи ученика с преподавателем.

Использование Интернет-технологий в учебном процессе и их интеграция в курс обучения английскому языку в многопрофильном вузе способствует преодолению психологических трудностей, представляют возможным удовлетворение потребностей современного общества, а также, при эффективном их использовании, требований, предъявляемых работодателем к современным выпускникам вузов. Актуальность данной темы обуславливается необходимостью поиска эффективных стратегий обучения английскому языку учащихся высшей школы в условиях цифровизации.

Целью данной ракботы является раскрытие понятия средствам синхронной коммуникации, а также утверждение важности применения их на практике в рамках дисциплины «Английский язык». Основными задачами при проведении исследования являлись ознакомление с научной литературой по данной теме и анализ стратегий развития речевых навыков у учащихся посредствам обучения при помощи средств синхронной коммуникации.

На сегодняшний день все средства коммуникации, применяемые в процессе обучения, можно разделить на две категории: средства синхронной и асинхронной коммуникаций [1]. Средства синхронной коммуникации являются наиболее эффективными при обучении иностранным языкам. *Синхронные средства коммуникации* – это средства коммуникаций, позволяющие обмениваться информацией в режиме реального времени. К ним можно отнести голосовые и видео конференции, реализация которых возможна посредствам таких программ, как: Skype, Yahoo Messenger. Этот способ коммуникации создает «ощущение присутствия», стирая таким образом некоторые психологические барьеры, поскольку представляется возможным не только услышать тон собеседника, но и увидеть его реакцию. Тем самым, дистанционное обучение становится похожим на обучение «лицом к лицу» («face-to-face» [2]). Видео-чаты не только способствуют улучшению навыков коммуникации, социализации и норм поведения (приветствие, продвижение собственных идей, вежливое и адекватное взаимодействие, проявление уважения и т.д.), но и уравновешивают и увеличивают вовлеченность студентов, уменьшая участие преподавателей.

Другой способ синхронной коммуникации – это непосредственно чат. *Чат* (от англ. chat – болтать) – это двусторонняя синхронная форма компьютерно-опосредованной коммуникации, диалог в режиме реального времени, где общение происходит либо с помощью клавиатуры, либо с помощью аудиосообщений [2]. Педагогический чат побуждает учащихся к совместному обучению и командной деятельности, помогает улучшить навыки работы в группе; развивает коммуникативные навыки (поддержание разговора, интервьюирование, переговоры) [5]. Использование чата на занятиях по английскому языку позволяет решить несколько задач: преподаватель может делиться не только домашним заданием со студентами, но и обмениваться новой информацией и методическими указаниями. Самыми популярными на сегодняшний день мессенджерами среди студентов, согласно проведенному опросу, являются: Telegram, WhatsApp, Viber; а также социальные сети, с помощью которых студенты и преподаватели также обмениваются информацией – Facebook, VK, Instagram.

Педагогический чат сравнительно недавно начал использоваться в учебном процессе, хотя уже этот вид синхронной коммуникации является практически самым распространённым и удобным способом обучения английскому языку. На сегодняшний день исследователи выделяют 5 видов педагогического чата [2]:

1. чат на свободную тему (free topic chat), основной задачей которого является развитие у студентов навыков говорения, чтения, письма и аудирования на изучаемом языке;
2. чат, направленный на решение определенной учебной задачи (collaborative task-oriented chat). Обычно, такие чаты создаются на некоторое время, где студенты обсуждают проблему, задачи и методы для ее дальнейшего решения.
3. чат-семинар или чат-презентация (academic seminar or presentation chat);
4. чат, направленный на отработку определенного материала или действия (practice chat);
5. оценочный чат (evaluation chat), задача которого – оценить знания и умения студента использовать усвоенную раннее информацию [4].

В рамках дисциплины «Английский язык» целесообразно использовать все виды средств синхронной коммуникации, поскольку с точки зрения развития речевых навыков, благодаря этим программам развиваются как рецептивные, так и продуктивные виды речевой деятельности:

1. Чтение – каждый ученик учится читать и понимать смысл прочитанного, находить и извлекать главную мысль из текста, подстраиваясь только под свою быстроту и технику чтения; точно и полно понимать содержание текста, находить основную важную информацию и воспроизводить её в виде устного или письменного изложения.

Чтение как коммуникативно-познавательная деятельность учащегося служит для практического овладения иностранного языка, помогает ознакомиться с культурой изучаемого языка и является средством познавательной и образовательной деятельности. Общение учеников в чат подразумевает собой получать от них сообщения и читать их, понимая общий смысл.

2. Письмо, как продуктивный вид деятельности, служит для изложения своих мыслей в графической форме. Письмо служит формированию навыков речи и мышления в графической форме, т.е. в виде сообщений, текста, рассказа и т.д., а при использовании всех видов синхронной коммуникации, ученик закрепляет раннее сформированные навыки и тренируется применять адекватные лексические единицы, которые будут соответствовать стилю письма. Использование чатов тесно коррелирует с развитием навыков письма, т.к. без набора текстовых сообщений применение чата к образовательному процессу изучения иностранных языков потеряет большую значимость.

3. Говорение – это выражение собственных мыслей в устной форме. Говорение способствует развитию понимания устной речи и формированию использования лексико-грамматических навыков. На данный момент практически в каждом мессенджере или социальной сети есть возможность отправлять голосовые аудиосообщения: они позволяют практиковать навыки говорения во внеурочное время. Вовлечение учащихся в диалог в форме аудиосообщений позволяет побороть стеснение говорить на иностранном языке, страх сделать ошибку и боязнь подвергнуться критике.

4. Аудирование – это процесс восприятия иностранной речи на слух. Оно развивает у учащихся понимать и воспринимать устную иностранную речь, а также расширение пассивного и активного словарей. Аудирование тесно связано с каждым из упомянутых видов речевой деятельности: ученик слышит иностранную речь и, во-первых, пытается понять смысл изложенной информации; во-вторых, он изучает новую лексику и грамматическую структуру языка; и, в-третьих, слушая чужую речь, ученик научается говорить правильно.

Таким образом, очевидно, что использование педагогического чата не только способствует более эффективному проведению занятий по английскому языку, но и при правильном и корректном использовании этого вида синхронной коммуникации, способствует развитию и совершенствованию навыков социальной коммуникации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мингазизова Г.Г. Интеграция мультимедийных технологий в процесс обучения иностранным языкам. // Вестник Казанского юридического института МВД России. – 2013. – № 11.

2. Gonzalez, D. Teaching and learning through chat: a taxonomy of educational chat for EFL/ESL // Teaching English with technology. – 2003. – № 3.

3. Мальцев А.О. Средства коммуникаций дистанционного обучения // Современные проблемы науки и образования. – 2009. – № 3.

4. Poole B.J., Axmann M., Calongne C.M., Cox D. To Chat or to Chatter: Making Online Sense of the Chat Room Environment. In: The TCC 2003 Online Conference (2003).

5. Shawar B.A., Atwell E. Accessing an Information System by Chatting. In: Meziane, F., Métais, E. (eds.) NLDB 2004. LNCS, vol. 3136, pp. 407–412. Springer, Heidelberg (2004).

НЕКОТОРЫЕ СОСТАВНЫЕ АСПЕКТЫ УСЛОВНО-РЕЧЕВЫХ УПРАЖНЕНИЙ В ОБУЧАЮЩЕ-КОНТРОЛИРУЮЩЕЙ КОМПЬЮТЕРНОЙ ПРОГРАММЕ ПО ИНОСТРАННОМУ ЯЗЫКУ

С.В. Кади
СПбПУ Петра Великого

С каждым годом повышается престиж выпускников политехнических, нелингвистических специальностей, владеющих несколькими иностранными языками как видом коммуникативной деятельности, то есть способными активно участвовать в профессионально ориентированном общении с зарубежными партнерами. Особое место в этом процессе занимает французский язык наряду с английским, позволяющий студентам вузов при интенсивном развитии международных контактов, стать более успешными в их будущей профессиональной деятельности. Преподавателями решается нелегкая задача эффективной иноязычной подготовки студентов в оптимально короткие сроки, обусловливающая необходимость одновременной

поддержки и своего методического уровня. В этой связи резонно усиливать имеющиеся методические учебные пособия, содержащие описание таких технологий, которые указывали бы на способы формирования лексико-грамматической составляющей языковой компетенции как составляющей иноязычной профессиональной компетентности, а также создавать новые локальные электронные образовательные ресурсы в виде обучающе-контролирующих компьютерных программ с учетом специфики изучаемого языка в неязыковых вузах.

Условно речевые задания к упражнениям, на основе пройденной лексики и грамматики, выделение основных мыслей, перевод, задания на свертывание и развертывание информации, интерпретация прослушанного или прочитанного предусматривают активное формирование и совершенствование лексико-грамматической стороны языковой компетенции. Заложенные в обучающе-контролирующую компьютерную программу тесты, на развитие грамматических элементов, таких как артикли французского языка, предлоги, окончания, вспомогательные глаголы, нужные для корректного построения предложений; временные формы и залоговые конструкции (Passé composé, Imparfait и др.) показывают максимальную результативную информацию по семантико-структурной организации. Поскольку знание грамматических элементов изучаемого языка и умение воспользоваться ими дает возможность студентам понимать и выражать корректно определенный смысл профессионально ориентированных текстов и диалогов [2]. Необходимо учитывать, что компонентное устройство предложения разграничивается по трем уровням:

1) типовое значение объединяет в себе несколько вариантных семантические структур. Их предметными компонентами могут быть семантические актанты: субъект (является производителем действия, носитель состояния в отражаемой предметной ситуации), объект (в структуре предложения является участником действия), адресат и локализатор объединяют в себе лексическое наполнение предложения [3];

2) инвариантная семантическая структура отличается определенным фиксированным словопорядком;

3) лексико-грамматический вариант инвариантной семантической структуры, содержащий в себе субъектно-объектные отношения/возвратные и невозвратные глаголы, активные конструкции [1].

Работая с обучающе-контролирующими аутентичными письменными, условно-речевыми текстами, студенты могут встретиться с незнакомыми им грамматическими конструкциями. Тем не менее, лексико-грамматическая сторона языковой компетенции несет на себе не только информативную нагрузку как языковые знания о правилах лексико-грамматического оформления и произносительных нормах, но саму возможность получить языковые навыки.

Таким образом, грамматически правильно подобранные предложные конструкции в профессионально ориентированных текстах способствуют адекватному зрительному и пассивному восприятию.

ЛИТЕРАТУРА

1. Копров В.Ю. Аспекты сопоставительной типологии простого предложения (на материале русского, английского и венгерского языков) / В.Ю. Копров. – Воронеж: ВГУ, 1999. – 160 с.

2. Широкова А.В. Сопоставительная типология разноструктурных языков / А.В. Широкова. – М.: Добросвет, 2000. – 196 с.

3. Greimas A. Sémantique srucrurale / A. Greimas. – Paris: Presse Universitaire de France, 1995. – 262 p.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИННОВАЦИОННЫХ ПЕДАГОГИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ В СОВРЕМЕННОЙ СИСТЕМЕ ОБУЧЕНИЯ ИНОСТРАННОМУ ЯЗЫКУ В ВУЗЕ (НА ПРИМЕРЕ ОНЛАЙН-СЕРВИСА LINGUALEO)

Е.В. Куликова

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

Стремительно развивающийся современный мир требует от образовательной системы не просто успевать за развитием общества, но в какой-то мере предвидеть изменения в потребностях общества в будущем и адаптировать образовательную систему, готовя специалистов, знания и умения которых будут востребованы по окончании обучения. Одним из средств развития и совершенствования образовательной системы являются инновационные технологии. По словам Джумаевой С.А., педагогические инновации – это новые способы взаимодействия преподавателей и учащихся, обеспечивающие эффективный результат педагогической деятельности. Основные направления инновационных преобразований: разработка новых концепций образования, обновление содержания образования и разработка новых образовательных технологий [1].

Внедрение новых технологий встречает ряд трудностей (слабое развитие технологий, недостаточное финансирование). Однако не всегда новые технологии требуют финансовых вложений. Иногда дидактические возможности уже существующих технологий не используются полностью, поэтому нам представляется важным исследовать их с целью определения возможного их применения в условиях сегодняшних учебных программ. Для этого вначале нужно определить область применения, цели, которых мы хотим достичь в обучении студентов и посмотреть, что из существующих ресурсов мы можем применить.

Одной из проблем первоочередной важности при обучении английскому языку студентов бакалавриата неязыкового вуза является значительная разница в языковой подготовке у обучающихся. При обучении в одной группе студентов, показавших значительную разницу в языковом уровне, возникают неизбежные проблемы, когда студенты с низким уровнем языковой подготовки не могут усваивать материал занятий из-за отсутствия базовых знаний, а студенты с высоким уровнем находят материал слишком простым и теряют интерес к обучению. Налиткина О.В. утверждает, что построение курса обучения иностранному языку осуществляется без учета исходного уровня лингвистической подготовки студентов, что препятствует успешному созданию базы формирования профессионально ориентированной иноязычной компетентности [2].

Необходимо разработать систему упражнений, позволяющую заниматься со студентами, имеющими разный уровень языковой подготовки, и организовать самостоятельную работу студентов. Аюшеева Д.П. называет основными трудностями недостаточный словарный запас, грамматика, разговорные навыки (наличие или отсутствие беглой речи) и навыки аудирования (способность понимать речь). Работа с новыми словами является для студентов трудоемким процессом, без которого невозможна активная языковая практика. Если проблема накопления словарного запаса не решена, то она становится препятствием к изучению иностранного языка и повышению его уровня [3]. Аюшеева Д.П. подчеркивает важность создания у студентов большого запаса слов, особенно профессиональной направленности, перевод их из пассивного словаря в активный, и умений складывать эти слова в предложения. Это единственное условие для выражения своего или чужого мнения по определенному вопросу [3].

Сейчас существует достаточно большое количество сайтов для изучения английского языка. В данной статье мы предлагаем проанализировать дидактические возможности сервиса Lingualeo, поскольку он отвечает вышеперечисленным потребностям. Lingualeo использует методику accelerated learning (ускоренное обучение). Данный метод опирается на разработанную американским психологом Говардом Гарднером теорию множественного интеллекта [11]. В результате проведенных им исследований человеческого мозга, поврежденного в результате болезни или несчастного случая, было сделано предположение о наличии у каждого человека различных типов интеллекта, действующих независимо друг от друга. Гарднер выделяет восемь типов интеллекта, и подчеркивает, что каждый из этих типов может быть развит при наличии соответствующих условий: лингвистический, логико-математический, визуально-пространственный, телесно-двигательный, музыкально-ритмический, внутриличностный, межличностный, натуралистический [11].

Гарднер пишет о том, что образовательные программы акцентируются на двух типах способностей: вербально-лингвистических и логико-математических. Определенный тип интеллекта (или несколько типов) сильнее развиты у одних людей, но почти не используется у других. Если строить обучение, задействовав самые сильные стороны студента, то информация будет усваиваться быстрее и эффективнее (так как это для него естественно). Использование теории множественного интеллекта помогает организовать учебный процесс с учетом разных стилей обучения, используя разные типы интеллекта, тем самым способствуя их развитию.

Онлайн-сервис Linguoleo предлагает разнообразные типы заданий, обращенные ко всем видам интеллекта, и позволяет каждому обучающемуся найти наиболее эффективный способ занятий. Таким образом, он подходит для студентов с любым языковым уровнем, поскольку позволяет работать индивидуально. Можно создавать наборы слов со специальной лексикой и делиться со всей группой. Студенты с более слабым уровнем языка, нуждающиеся в значительно большем расширении лексического запаса по сравнению с остальными, получают дополнительное задание: сформировать свой собственный словарик. Все слова прорабатываются в игровой форме так называемых «тренировок», важно отметить, что во время каждого обращения к слову оно автоматически произносится, способствуя развитию связи между словом и его зрительным и фонетическим образом. Удобна возможность использования собственного варианта перевода, так как при изучении технического английского, например, будут наблюдаться большие различия в переводе одних и тех же терминов в разных профессиональных сферах, так же возможно добавление в словарь словосочетания и целые предложения.

Каждому студенту предлагается создать индивидуальный словарь на сайте Linguoleo, предварительно зарегистрировавшись. Храброва В.Е подчеркивает, что для более успешного запоминания слов лучше работать не с отдельными словами, а со словосочетаниями, потому что попытка учить слова вне контекста приводит к использованию комбинаций слов, не существующих в языке [5].

На сайте Linguoleo есть удобная опция (расширение для GOOGLE Chrome), позволяющая мгновенно отправлять новые слова в словарь, размещающийся на сайте, с любой страницы в интернете, кликнув левой кнопкой компьютерной мыши два раза на требуемое слово. Это помогает значительно ускорить процесс чтения и работы со словами, поскольку студенты одновременно пополняют свой словарь на сайте, эти же слова с переводом появляются в выпадающем меню при щелчке по значку расширения, откуда их можно копировать и работать с ними, как с обычным списком – распечатать, переслать другим студентам, создать тест. Таким образом, сайт предоставляет возможность студентам работать самостоятельно. Получив, например, домашнее задание «выучить новые для Вас слова из изученного юнита», каждый студент создает свой словарь на сайте и работает в своем собственном режиме. Однако для успешной работы преподаватель должен знать все потенциальные возможности и недостатки данной программы, и уметь научить студентов, как использовать сервис эффективно. Например, по умолчанию, каждая тренировка слов доступна только один раз в определенный временной интервал. Если же возникает необходимость провести ее еще раз сразу же за первой, то в словаре

необходимо справа от слов выбрать опцию «сбросить статус слова», и можно тренировать слова бесконечное число раз.

Для овладения профессиональным дискурсом необходимо на только владение базовым курсом английского языка, но и способность применять грамматические конструкции и знание особых правил употребления профессиональной лексики. Онлайн-сервис Lingualeo предлагает тренировку основных грамматических тем. Кроме интерактивных заданий при необходимости можно прочитать объяснение того или иного грамматического правила, которые поясняются большим количеством примеров. Преподаватель может легко проконтролировать выполнение заданий и понимание темы с помощью создания тестов по изученным темам и использованием тех же самых примеров, о чем стоит предупредить студентов заранее: подобные задания не вызывают трудности у тех, кто подготовился к занятию и показывают студентам посильность и доступность изучаемого материала, что является одним из дидактических принципов.

Недавно на сайте Linguoleo появилась новая опция «для учителей», позволяющая преподавателю создавать группы учеников, отправлять задания одной или нескольким группам одновременно. Таким образом, мы видим, что сервис удобен и прост в использовании благодаря повышению наглядности и репрезентативности заданий, занятия с его помощью активизируют способность запоминать материал, задействуя все виды интеллекта, помогают обучающимся чувствовать себя успешными, повышая мотивацию к изучению английского языка, и значительно экономят время как студентам, так и преподавателям.

ЛИТЕРАТУРА

1. Джумаева С.А. Педагогические инновации в современной системе образования / С.А. Джумаева, М.Х. Хайруллаева // Научные исследования, 2019. – № 3 (29). – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/pedagogicheskie-innovatsii-v-sovremennoy-sisteme-obrazovaniya-1 (дата обращения: 24.09.2019).

2. Налиткина О.В. Система выравнивания уровня языковой подготовки студентов нелингвистических специальностей как основа формирования иноязычной профессионально ориентированной коммуникативной компетентности: дис….к.пед.наук / О.В. Налиткина, 2011. – 210 с.

3. Аюшеева Д.П. Методы и приемы словарной работы на уроках делового русского как иностранного / Д.П. Аюшеева // Вестник БГУ, 2010. – № 15. – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/metody-i-priemy-slovarnoy-raboty-na-urokah-delovogo-russkogo-kak-inostrannogo (дата обращения: 22.08.2019).

4. Гарднер Г. Структура Разума. Теория множественного интеллекта / Г. Гарднер // Москва: Вильямс, 2007. – 512 с.

5. Храброва В.Е. Словосочетание как проблема обучения английской письменной речи / В.Е. Храброва // Вестник ЛГУ им. А.С. Пушкина, 2014. – № 4. – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/slovosochetanie-kak-problema-obucheniya-angliyskoy-pismennoy-rechi (дата обращения: 18.09.2019).

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ EXCEL ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ СЕБЕСТОИМОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Т.А. Малафеевский

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)

В настоящей работе предлагается использование оптимизационной задачи в качестве основы для проектирования продукции с известным набором параметров. Предложенный метод позволяет расширить так называемый «метод баллов» определения себестоимости проектируемых изделий, обладающих рядом параметров. В табл. 1 представлены условия задачи.

Таблица 1. Исходные данные задачи

X_i	a_i	$X_{iп}$	$b_{iп}$	$a_ib_{iп}$	X_{ia}	b_{ia}	a_ib_{ia}	X_{ilim}
V, дм3	0,15				320			350
$V_{пхк}$, дм^3	0,25				200			220
$V_{пмк}$, дм^3	0,20				75			100
ЗС, кг/сутки	0,22				4,2			5
$T_{сл}$, лет	0,1				15			18
$t_{мк}$, ^{0}с	0,08				-16			-18

Здесь V, дм^3 – объем холодильника; $V_{пхк}$, дм^3 – полезный объем холодильной камеры; $V_{пмк}$, дм^3 – полезный объем морозильной камеры; ЗС, кг/сутки – замораживающая способность; $T_{сл}$, лет – срок службы; $t_{мк}$, ^{0}с – температура морозильной камеры; a_i – коэффициенты весомости, заданные изначально (понимается, что данные коэффициенты пропорциональны затратам на улучшение характеристики); $b_{iп}$ и b_{ia} – баллы для характеристик проектной единицы и аналога соответственно; X_{ilim} – предельное значение характеристики, которое можно

воплотить в заданных условиях; $X_{ia,}$ $X_{iп}$ – характеристики аналога, который нужно превзойти, и проектируемого изделия соответственно.

Ограничимся условием, что стоимость аналога составляет 16000 рублей, а стоимость проектируемого изделия, которое должно быть лучше по ключевым параметрам, может быть выше не более чем на 10%, то есть не выше 17600 руб. Для начала определим b_{ia} согласно алгоритму метода, будем использовать десятибалльную шкалу.

$$bia = 10 \times Xia \div Xilim. \quad (1)$$

Так для bia для общего объема имеем 10*320/350=9,14. Остальные ячейки столбца заполняются по аналогии. Затем весовые коэффициенты перемножаются на b_{ia} для заполнения столбца a_ib_{ia}. Результат представлен в табл. 2.

Таблица 2. Найдены b_{ia} и a_ib_{ia}

X_i	a_i	$X_{iп}$	$b_{iп}$	$a_ib_{iп}$	X_{ia}	b_{ia}	a_ib_{ia}	X_{ilim}
V, дм3	0,15				320	9,14	1,37	350
$V_{пхк}$, $дм^3$	0,25				200	9,09	2,27	220
$V_{пмк}$, $дм^3$	0,20				75	7,50	1,50	100
ЗС, кг/сутки	0,22				4,2	8,40	1,85	5
$T_{сл}$, лет	0,1				15	8,33	0,83	18
$t_{мк}$, ^{0}c	0,08				-16	8,89	0,71	-18

Следующим шагом необходимо найти коэффициент распределения затрат по следующей формуле:

$$Кз = Ca/\sum(ai \times bia). \quad (2)$$

Для конкретного случая Кз = 16000/(1,37+02,27+1,50+1,85+0,83+0,71)=1874,28.

Теперь необходимо расставить приоритеты в баллах для проектируемого изделия так, чтобы Сп (стоимость проектируемой единицы) была не более 16000+10%, то есть не более 17600 р. Кроме того, итоговые значения $X_п$ рассчитываются следующим образом:

$$Xiп = Xilim \times bia \div 10. \quad (3)$$

Здесь начинается творческий подход к оптимизации. В идеале необходимо, чтобы каждая копейка себестоимости, в рамках доступного, была использована. Это достигается условием, что Кз, то есть Сп/∑aibiп не больше чем 1874,28, а поскольку мы используем все доступные ресурсы, то = 1874,28. Помимо этого, каждое $b_{iп}$ не должно превышать 10, чтобы итоговые параметры проектируемого изделия не вышли за лимитирующие. Затем надо учесть, что нельзя полностью жертвовать одними параметрами для улучшения других. Должно быть введено соответствующее ограничение, например, 7, но оно может варьироваться для всей совокупности $b_{iп}$ или для каждого индивидуально в зависимости от результатов исследования потребностей потребителей. Не должны нарушаться логические связи между показателями, например, сумма объемов камер не должна быть равна объему холодильника, это будет означать, что у него нет стенок, добавим ограничение на разность между этими объемами как для предельного варианта: 350-220-100=30. Если уменьшается температура морозильной камеры, то замораживающая сила не может уменьшиться. Последняя вещь, которая может быть неочевидной, это какую целевую функцию оптимизировать. Можно было бы задать максимизацию Кз, но это ограничение, нам же нужна такая методика, которая позволяет удовлетворить запросы многих покупателей и учесть важность каждого показателя. В этой методике мы лишь задаем ограничения, отсекаем неприемлемые показатели для покупателя, но методика финального расчета баллов и характеристик проектируемых изделий должна быть автоматизированной. Предложим следующий метод:

$$\sum_{i=1}^{n}\left(\frac{bi}{Xilim} \times |Xilim - Xiп|\right) \rightarrow min. \quad (4)$$

Это означает сведение к минимуму суммы относительных отклонений параметров идеального и проектируемого изделий. Метод похож на вычисление суммы относительных погрешностей, но добавлено взвешивание на баллы. Зададим условие, что температура морозильной камеры не больше, чем -16,5 ^{o}c, а замораживающую способность не менее 4,3 кг/сутки. Итоговый набор ограничений в нашем решении будет выглядеть следующим образом:

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^{n}\left(\frac{bi}{Xilim} \times |Xilim - Xiп|\right) \rightarrow min \\ \frac{17600}{\sum(aibiп)} = 1874{,}28 \\ \forall bi \leq 10 \\ \forall bi \geq 7 \\ X1п - (X2п + X3п) \geq 30 \\ Xп4 \geq 4{,}3 \\ Xп6 \leq -16{,}5 \end{cases} \quad (5)$$

Симплекс-метод и метод ОПГ дали результаты чуть хуже, чем эволюционный метод решения задачи. Результаты представлены ниже в табл. 3. На рис. 1 изображен результат решения и ограничения.

Таблица 3. Результаты решения задачи

Симплекс метод и метод ОПГ			Эволюционный метод		
Хп		bin	Хп		bin
V, дм^3	325,56	9,30	V, дм^3	326,48	9,33
$V_{пхк}$, дм^3	175,56	7,98	$V_{пхк}$, дм^3	177,28	8,06
$V_{пмк}$, дм^3	100	10	$V_{пмк}$, дм^3	99,30	9,93
ЗС, кг/сутки	5	10	ЗС, кг/сутки	5	10
$T_{сл}$, лет	18	10	$T_{сл}$, лет	18	10
$t_{мк}$, ^{0}с	-18	10	$t_{мк}$, ^{0}с	-18	10

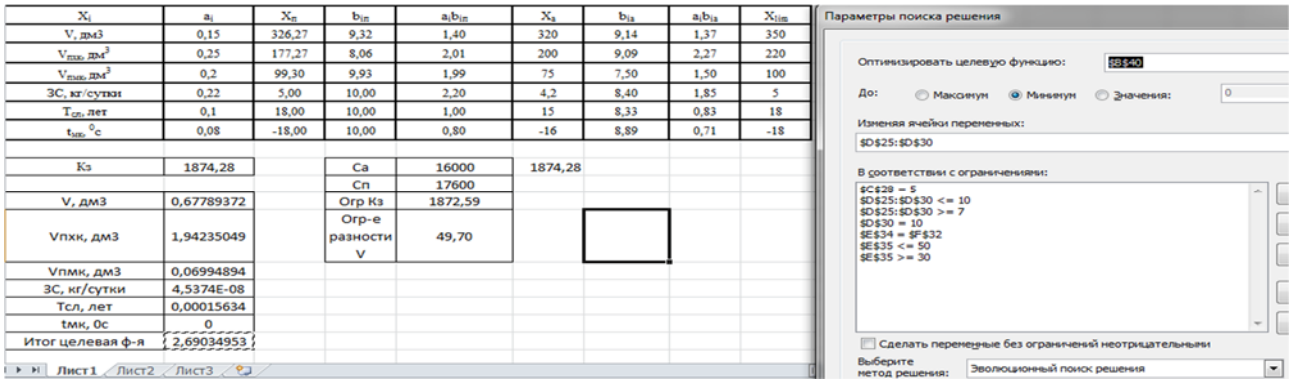


Рис. 1. Результаты решения и ограничения

Как можно видеть, все ограничения были соблюдены, выдано вполне адекватное решение, отражающее действительность. Использованная целевая функция может быть изменена в зависимости от методики расчета, также могут быть внесены иные ограничения, но суть метода от этого не изменится, и он будет применим в любом случае. Таким образом, определение себестоимости проектирования продукции методом баллов может быть легко дополнено более обобщенным и точным методом решения оптимизационной задачи. Данный метод применим для учебных целей, для решения реальных задач и для развития системного мышления.

BLOCKCHAIN В ОБРАЗОВАНИИ

А.Ю. Садикова

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» имени В.И. Ульянова (Ленина) (СПбГЭТУ «ЛЭТИ»)

В настоящее время существует ряд проблем в образовании. Одной из них является мошенничество в сфере фальсификации документов и безопасности их сохранности, а также проблема хранения документов. Для решения данных проблем предлагается внедрить технологию блокчейна. В этом случае высшие учебные заведения, выпускающие цифровые дипломы, будут использовать для их хранения единый блокчейн. Уникальные дипломы, подписанные закрытым ключом, будут предоставлены непосредственно работодателям. Таким образом, для аутентификации диплома будет требоваться только сравнение с хешем, хранящимся в блокчейне. Это позволит решить проблему мошенничества в сфере фальсификации документов и проблему их сохранности. Даже если учреждение, выдавшее диплом, было закрыто или система образования рухнула, дипломы остаются в распределенной базе данных блокчейна.

Чтобы понять последовательность действий в блокчейне, необходимо рассмотреть механизм его работы (рис. 1) [1, с. 33]. Преимущества таковы, что свидетельства сертификатов будут храниться полностью, надежно и в постоянной цепочке блоков (в постоянном блокчейне).

Дальнейшими перспективами внедрения блокчейна в образование возможны такие проекты как:

1) личная карточка студента;
2) подтверждение аккредитации ВУЗа;
3) интеллектуальная собственность;
4) идентификация студентов [1, с. 33].

Университет Никосии (University of Nicosia, UNIC) — крупнейшее частное высшее учебное заведение на Кипре. Он стал первым учебным заведением в мире, использующим блокчейн для учета и записи академических

степеней, которые закодированы с использованием криптографии, и их нельзя изменить. С практической точки зрения это позволило компании, желающей нанять выпускника UNIC, проверить степень и квалификацию кандидата в онлайн-режиме. Кроме того, Университет Никосии стал первым в мире учебным заведением, предлагающим студентам курс по изучению криптовалют. Более того, университет принимает оплату в биткойнах, что также является передовой идеей, не имеющей аналогов нигде в мире [2].

Рис. 1

Массачусетский Технологический Институт (MIT) запустил пилотный проект на блокчейне и выдал уже более 100 цифровых дипломов своим выпускникам. Дипломы выпустили в приложении Blockcerts Wallet, которое позволяет выпускникам безопасно делиться проверяемой и защищенной от несанкционированного доступа цифровой версией диплома с потенциальными работодателями. В MIT использовали Blockcerts Wallet в сотрудничестве с Кембриджским университетом. Информация о дипломах MIT не хранится на блокчейне: система использует транзакции с временными отметками, которые сообщают, что цифровую запись о сертификате создали в Массачусетском технологическом институте. Это позволяет студенту подтвердить, что он — владелец диплома [3].

Блокчейн технологии возможно использовать при дистанционном образования, где будет работать достаточно большое количество преподавателей, которые будут поддерживать большое количество студентов. Но как образовательные блокчейн платформы будут работать? Прежде всего, вуз должен разработать алгоритм адаптивного обучения. Адаптивное обучения — это та модель обучения, основной идеей которой является «подстройка» под способности, знания, умения каждого студента. Основная идея такова: качественная адаптивная программа обучения должна быть предельно индивидуализирована - опираться на базовые знания каждого конкретного студента. Далее, когда адаптивная программа обучения детально разработана и находится в образовательной блокчейн платформе, вуз начинает набирать абитуриентов и проводить тестирования, определяя их базовые знания, навыки, заинтересованность в определенных профессиональных областях. После этого формируются определенные данные о абитуриентах, это «личные карточки» будущих студентов, в которых указаны их слабые и сильные стороны и рекомендации к выбору будущей специальности. Таким образом, можно максимально точно подобрать программу обучения для каждого студента.

Следующий шаг: когда будущий студент выбрал одну из предоставленных ему специальностей, создается цифровой файл, котор ый содержит основную информацию, такие как название вуза, факультета, специальности, ФИО студента и дату заключения договора на обучение. Вуз подписывает все это содержимое с использованием приватного ключа, к которому имеет доступ только образовательная организация. Данные подтверждаются сетевым узлом и передаются в сеть. Запись, соответственно, присоединяется к блоку. Затем вуз снова использует свой приватный ключ для создания записи в блокчейне, в которой говорится, что образовательная организация заключила определенный договор с определенным лицом в определенную дату на определенный факультет и специальность дистанционного обучения.

Наконец, вуз передает студенту открытый ключ, с помощью которого он получает индивидуальную программу обучения и возможность всегда быть на связи с преподавателями.

Огромный плюс всего этого состоит в том, что образовательная блокчейн платформа может адаптировать самый разный контент в любой предметной области для каждого конкретного студента.

У блокчейна есть множество перспектив, которые способны кардинальным образом изменить рынок образования за счет управления профессиональными квалификациями. Поэтому подобные системы на блокчейне могут быть очень полезны работодателям в будущем [4].

ЛИТЕРАТУРА

1. https://cyberleninka.ru/article/v/perspektivy-vnedreniya-tehnologii-blokcheyn-v-sovremennuyu-sistemu-obrazovaniya.
2. https://www.rumedia24.com/2017/11/03/university-nicosia-%D0%BF%D0%B5%D1%80%D0%B2%D1%8B%D0%BC-%D0%B2-%D0%BC%D0%B8%D1%80%D0%B5-%D0%B7%D0%B0%D0%BF%D0%B8%D1%88%D0%B5%D1%82-%D0%BE%D1%86%D0%B5%D0%BD%D0%BA%D0%B8-%D0%B2-%D0%B1%D0%BB%D0%BE/.
3. https://incrussia.ru/news/mit-vypustil-100-diplomov-na-blokchejne/.
4. https://rb.ru/opinion/blokchejn-kejs/.

ВСЕГДА ЛИ НУЖНА В ФИЗИКЕ «ЦИФРА»?

А.Е. Стукалина
Муниципальное бюджетное общеобразовательное учреждение «Гимназия № 5» городского округа Королёв (мкр. Юбилейный) Московской области

Цель работы заключается в обосновании необходимости в школьном курсе физики старых, уже забытых аналоговых приборов. Цифровая техника, как говорят «цифра», практически полностью вытеснила установки, которые позволяют понять суть физического явления. Аналого-цифровые преобразователи закрыли процесс понимания хода выполнения лабораторной работы. Красивые корпуса приборов по сути стали «чёрными ящиками» с аналоговым входом и цифровым выходом, очень часто подключенным к компьютеру. Различные фирмы наперебой предлагают современные красивые установки, например, для определения ускорения свободного падения на школьных лабораторных работах. Однако вся работа сводится к бросанию шарика и переписыванию ответа с экрана компьютера в тетрадь. Стоимость таких современных лабораторных установок составляет десятки тысяч рублей. Стоит всего лишь одной детали сломаться, как современная цифровая техника перестаёт работать. Конечно, нет смысла вручную бросать камни с крыш для определения ускорения свободного падения, но сохранить смысл первых опытов Галилея необходимо с дидактической точки зрения. Нельзя ли найти оборудование дешевле, эффективнее, надёжнее, а главное – увлекательнее для школьников? Предметом изучения в этой работе является не столько известная школьная лабораторная работа, сколько дидактика – наука о проблемах обучения. В Глазовском государственном университете есть специальная кафедра «Дидактика физики и информационных технологий», которой долго руководил признанный во всём мире специалист в этой области профессор доктор педагогических наук Валерий Вильгельмович Майер, создавший множество очень простых и наглядных приборов. В этой работе проведён анализ и предложено возрождение старой, забытой лабораторной установки для измерения ускорения свободного падения. Ход и результаты исследования особенно интересны, потому что параллельно другим автором выполнялось похожее исследование, но напротив, для обоснования «цифры» в школьном эксперименте. Дидактика – это основной предмет изучения в этой работе. Для достижения цели работы потребовалось решить три основные задачи:

- сравнить относительную ошибку цифровых и аналоговых методик измерений;
- сравнить экономические затраты на лабораторную работу с «цифрой» и «аналогом»;
- сравнить дидактическую отдачу цифровых и аналоговых приборов.

Методика измерения ускорения на школьных лабораторных работах давным-давно отработана [1]. Теоретический материал укладывается в две-три строки текста. При равноускоренном прямолинейном движении тела из состояния покоя между пройденным расстоянием $\mathbf{L}$, продолжительностью $\mathbf{t}$ движения и ускорением $\mathbf{a}$ существует взаимосвязь: $\mathbf{L} = \frac{\mathbf{a}\,\mathbf{t}^2}{2}$. Если расстояние $\mathbf{L}$ и продолжительность $\mathbf{t}$ движения измерены, то ускорение определяется по формуле: $\mathbf{a} = \frac{2\,\mathbf{L}}{\mathbf{t}^2}$. Ход работы тоже традиционный. Измерить расстояние $\mathbf{L}$ между начальным и конечным положениями шарика, записать его в таблицу. Снять показание $\mathbf{t}$ секундомера, записать результат измерения в таблицу. Повторить выполнение измерений не менее 10-20 раз с целью получения серии из $\mathbf{n}$ результатов измерений продолжительности движения шарика $\left\{\mathbf{t}_1;\mathbf{t}_2;\ldots;\mathbf{t}_\mathbf{n}\right\}$. Вычислить величину ускорения шарика в каждом измерении. При этом получится серия расчётных величин $\left\{\mathbf{a}_1\,;\,\mathbf{a}_2\,;\ldots;\,\mathbf{a}_\mathbf{n}\right\}$. Определить и записать в таблицу среднее значение $\mathbf{a}_{\mathbf{cp}}$ величины ускорения тела $\mathbf{a}_{\mathbf{cp}} = \frac{\sum_{\mathbf{i}=1}^{\mathbf{n}} \mathbf{a}_\mathbf{i}}{\mathbf{n}} = \frac{\mathbf{a}_1 + \mathbf{a}_2 + \ldots + \mathbf{a}_\mathbf{n}}{\mathbf{n}}$. Определить и записать в таблицу абсолютную величину отклонения измеренного значения $\mathbf{a}_\mathbf{i}$ величины ускорения тела в каждом опыте от вычисленного среднего значения $\mathbf{a}_{\mathbf{cp}}$ по формуле $\Delta\mathbf{a}_\mathbf{i} = \left|\,\mathbf{a}_{\mathbf{cp}} - \mathbf{a}_\mathbf{i}\,\right|$, где $\mathbf{i} = 1;2;\ldots;\mathbf{n}$ – номер опыта-измерения ускорения. Вычислить и записать в таблицу абсолютную величину среднего отклонения измеренных значений $\mathbf{a}_\mathbf{i}$ величины ускорения тела в серии опытов от вычисленного среднего значения $\mathbf{a}_{\mathbf{cp}}$ по следующей формуле

$\Delta a_{ср} = \frac{\sum_{i=1}^{n} \Delta a_i}{n} = \frac{\Delta a_1 + \Delta a_2 + \ldots \Delta a_n}{n}$, где $i = 1;2;\ldots;n$ – номер опыта-измерения величины ускорения тела. Полученная величина есть средняя абсолютная ошибка измерений. Вычислить среднюю относительную ошибку измерений по формуле $r_a = \frac{\Delta a_{ср}}{a_{ср}} \cdot 100\%$. Оценить достоверность полученного результата. Записать полученный результат в виде: величина ускорения тела равна $a_{ср} \pm \Delta a_{ср}$ (м/с^2), относительная ошибка измерений равна r_a (%). Сформулировать и записать выводы по лабораторной работе.

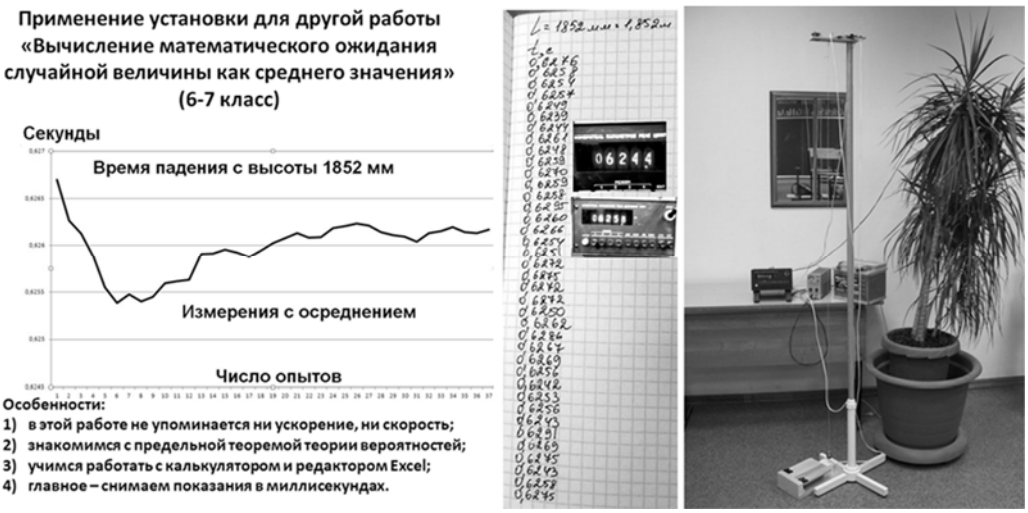


Рис. 1. Лабораторная установка и результаты измерений

На рис. 1 показан общий вид лабораторной установки. **О решении первой задачи**, связанной с обеспечением точности измерений, свидетельствует первое испытание, при котором шарик отпускался вручную. Никакой предварительной подготовки оборудования не было. Относительная ошибка в первом опыте составила 11%. Потом была проведена серия из 38 измерений. Относительная ошибка измерений 0,4% соответствовала классу точности прибора, но сразу же появилась инструментальная систематическая ошибка на порядок больше, то есть 4%. Это тоже отличная точность для школьной лабораторной работы. Современное компьютерное оборудование обычно выдаёт относительную ошибку измерений ускорения свободного падения не менее 5%. **Вторая задача** по обоснованию экономических затрат на лабораторное оборудование началась с выяснения истории приобретения самого дорогого прибора в установке – измерителя параметров реле цифрового Ф291. Уже давно такие приборы не выпускаются. Их заменили миллисекундомеры. В то время стоимость секундомера с точностью измерения 0,001 секунды начиналась с 8000 рублей. Прибор Ф291 был приобретён за 250 рублей, потому что продавец не знал, что в него встроен миллисекундомер на порядок точнее, позволяющий регистрировать промежутки времени 0,0001 секунды. Хотя прибор значится как цифровой, в нём вся «цифра» сводится к индикатору, на котором отображается показание времени между замыканием или размыканием контактов. Вообще говоря, в таких установках проблема связана не столько с точностью секундомера, который теперь есть на любом современном телефоне, а с синхронизацией запуска прибора, то есть опять требуется возвращение от «цифры» к «аналогу». Наконец, **третья задача** была решена демонстрацией доступности лабораторной установки для учеников среднего звена, то есть 6-8 классов. В этой установке практически нечему портиться. Но если говорить о современном компьютерном оборудовании кабинета физики, то сразу вспоминаются закрытые лабораторные шкафы с очень ценными, дорогими и чрезвычайно капризными датчиками, не говоря о ноутбуках и планшетах. Дидактическая ориентация старой физической установки обоснована упрощённой школьной лабораторной работой для 6-8 классов по определению времени падения тела в поле тяжести Земли, когда ускорение свободного падения ещё не изучено.

Цель работы достигнута. Решение трёх важных задач доказало актуальность аналоговых, упрощённых установок для изучения курса физики в школе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дроботов В.Б., Лебедев В.В. Лабораторный практикум по физике. Гимназия 5, г. Королёв, Московская область, 2007.

ИННОВАЦИОННЫЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ВУЗЕ КАК ЗАЛОГ УСПЕШНОЙ РАННЕЙ ПРОФОРИЕНТАЦИИ ШКОЛЬНИКОВ

***П.В. Тарусова**, А.В. Шепелева, А.О. Киселева, А.А. Киселева*
ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»

Главной отличительной чертой развития российского образования на современном этапе является его непрерывность, предусматривающая единство и целостность довузовской, вузовской и послевузовской подготовки [1].

В соответствии с «Национальной доктриной образования в Российской Федерации» (Постановление Правительства РФ от 04.10.2000 N 751) на период до 2025 года отмечено, что непрерывность образования в течение всей жизни человека и преемственность уровней и ступеней образования входят в состав образовательных целей.

В реализации идеи многоуровневого непрерывного образования большую роль играет профориентационная деятельность, проводимая в вузах. В настоящее время она приобретает особое значение и становится важнейшим этапом подготовки подрастающего поколения к профессиональной деятельности [2, 3].

Повышению эффективности профориентационной работы способствует система «школа-вуз», представляющая собой многоуровневую структуру высшего образования, открывающую новые возможности не только для взаимодействия общеобразовательных учреждений с вузами, но и обеспечивающую более успешное развитие гармоничной и разносторонне развитой личности.

В настоящее время в России одним из самых популярных образовательных проектов для школьников является Университет детей (УД). Впервые этот проект появился в Москве при поддержке Политехнического музея. Формат Университета детей, который функционирует в Москве и в Санкт-Петербурге, придумали польские ученые.

Санкт-Петербургский политехнический университет уже несколько лет является ведущей площадкой для проведения занятий для Университета детей. Сотрудничеству СПбПУ и Университета детей способствует Центр профориентации и довузовской подготовки СПбПУ.

Университет детей – это реализация возможности взаимодействия современных ученых и специалистов из разных областей науки с детьми, которые хотят знать намного больше, чем предлагает им школьная программа. Ученые и студенты СПбПУ разрабатывают и проводят различные занятия для детей с использованием современных образовательных технологий. Форматы проведения мероприятий различны: научное шоу, воркшоп, лекция-визуализация, развивающие занятие и др. В каждом занятии обязательно должен присутствовать очень важный момент – точка удивления – это то, что условно «взрывает» аудиторию, заставляет каждого юного студента «включиться».

В Высшей школе биотехнологий и пищевых производств студенты разных курсов под руководством педагогов-профессионалов помогают разрабатывать и проводить занятия для юных исследователей. Особенно популярными среди детей являются занятия в формате «Workshop», что в переводе с английского дословно обозначает «Мастерская» или иначе – это обучение через совместную работу.

Преподаватели и студенты ВШБиПП принимали участие в разработке и проведении занятии на темы: «Лаборатория на кухне», «Почему корова ест траву зеленую, а молоко дает белое?», «Почему конфеты сладкие?». Выбор тем занятий не случаен. Во-первых, зачастую юные студенты сами выбирают темы занятий, которые помогают им раскрыть ответы на самые интересующие вопросы. Во-вторых, все темы проведенных занятий связаны с пищевыми технологиями и химическими реакциями, происходящими с пищевыми продуктами в процессе их приготовления.

Занятия, проводимые педагогами и студентами ВШБиПП для юных студентов Университета детей, имеют ряд отличительных особенностей. Можно выделить ряд их характеристик.

Настоящие ученые. Ученикам преподают уроки только профессионалы – кандидаты и доктора наук. В зависимости от темы занятия для детей ученые разрабатывают различные задания, презентации, викторины и т.п. Все происходящие процессы описаны учеными доступным языком, с использованием инновационных образовательных технологий, подкрепленных лабораторными методами исследования в виде экспресс-экспериментов. Выбор таких преподавателей обеспечивает уверенность в том, что на вопросы, возникшие у детей, будут даны четкие, полные и достоверные ответы.

Работа в группе. При работе на занятиях все учащиеся делятся на несколько групп по 5-7 человек. Такое количество оптимально для проявления индивидуальных навыков каждого участника группы. Работа в небольших командах имеет несколько преимуществ: позволяет участникам посмотреть на проблему с нескольких точек зрения; развивает коммуникабельные способности ребенка; у юных студентов снимается внутренне напряжение перед боязнью «ответа у доски». Такая методика развивает чувство товарищества и взаимопомощи.

Студенты и УД. Вовлечение студентов в подобные мероприятия имеет множество преимуществ. Во-первых, юным участникам проще находиться на занятии среди студентов, так как порой дети стесняются взрослых. Во-вторых, студенты способны ответить на вопросы, которые не спросить у преподавателя. Например, нравится ли учиться на этом направлении? Сложно ли учиться? И так далее. Студенты являются связующим

звеном между преподавателем и юными студентами. Наконец, студенты вуза, ассистируя у преподавателя, способны помочь с мелкими задачами, держать участников заинтересованными и поддерживать атмосферу воркшопа.

Создание настоящих рецептур блюд. Нашей команде студентов-первокурсников довелось поучаствовать в организации и проведении воркшопа на тему “Почему конфеты сладкие?”. Важная часть занятия – создание рецептуры полезной конфеты. Предварительно наши преподаватели обсуждали с детьми пользу и вред ингредиентов, из которых производят большинство конфет. Дети работали в группах, рассматривали карточки с продуктами, обсуждали из чего же будет состоять их конфета и пришли к выводам, почему некоторые ингредиенты не стоит использовать при производстве конфет, особенно если это конфета для здорового питания. В настоящее время в общеобразовательные средние школы активно внедряются разносторонние методики здоровьесберегающих технологий. А правильное, здоровое питание детей – один из важнейших факторов таких технологий! Поэтому эта идея прошла красной нитью на протяжении всего занятия.

На занятии дети с помощью студентов и преподавателей созвали свои рецептуры полезных конфет. А когда работа была готова, юные студенты с большим интересом представляли её перед другими командами. Все вместе обсуждали созданную командой рецептуру, проверяли, есть ли ошибки. Такое задание помогает закрепить материал урока, учит ребят выступать публично, а также развивает воображение детей.

Домашнее задание, вовлечение родителей. Урок заканчивается, когда дети покидают аудиторию университета. Но всегда необходимо закрепление пройденного материала. Дети получают домашнее задание, которое помогут им выполнить родители. Для ребёнка очень важно, что родители не только водят его на занятия, но и занимаются с ним, могут выслушать и обсудить, что нового он узнал.

Ранняя профориентация. УД предлагает различные направления для изучения тем. На наших занятиях дети познакомились с такими профессиями как повар, технолог-исследователь. Ранняя профориентация способствует развитию интересов детей, любознательности и познавательной мотивации; становлению сознания; развитию воображения и творческой активности. Главная цель ранней профориентации - дать ребёнку возможность проявить свои силы и возможности в различных видах деятельности и профессий.

Таким образом, разработка и проведение занятий для Университета детей является важнейшим опытом и примером в формировании ранней профориентации школьников. А для студентов участие в разработке и проведении таких занятий является особенным опытом для своего профессионального роста и формирования навыков общения с группами разных возрастных категорий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Паскарь В.С. Современные формы профориентационной работы в ВУЗах // Научно-методический электронный журнал «Концепт». – 2017. – Т. 27. – С. 64–68.

2. Илюхина Н.А. Профориентационная работа вузов со школьниками: новые возможности традиционных форм // Вестник РГГУ. Серия: Философия. Социология. Искусствоведение. 2016. № 4 (6). С. 83-88.

3. Белокурова Е.С., Панкина И.А., Севастьянова А.Д Опыт применения формата "workshop" для проведения занятий с одарёнными школьниками. Сборник трудов Всероссийской научно-практической конференции: Создание эффективной системы развития одаренных детей. г. Чебоксары. 2018. С. 78-81.

ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ УЧЕБНОГО ПРОЦЕССА В РАМКАХ НОВОЙ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПАРАДИГМЫ

***Е.С. Толоченко**, О.О. Кунина*
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

В изменчивой и динамичной ситуации, в которой мы находимся, вызванной внедрением информационно-коммуникационных технологий в образовательный процесс, методы, стратегии и инструменты, используемые в обучении, должны быть пересмотрены, поскольку существуют показатели, свидетельствующие о том, что социальный и трудовой образовательный опыт, влияющий на развитие личности, не будет одним и тем же на протяжении всей жизни, что будут происходить различные изменения, связанные с работой, и что это является одной из типичных и основных целей образования и развития взрослых [1].

Электронное обучение в настоящее время является наиболее часто используемым способом обучения для непрерывного образования из-за больших преимуществ, предлагаемых данной средой. Однако, это не означает, что мы стали способны получать быстрее более качественные знания, напротив, переход на новую форму обучения бросает новые вызовы современной педагогике.

Проектирование учебных курсов в цифровой образовательной среде осуществляется не так, как строится традиционный учебный процесс. Это новый способ организации обучения, поэтому и принципы будут отличаться.

С точки зрения содержания образовательные материалы претерпевают изменения. Если раньше материалы было достаточно обновлять раз в три года, то сегодня изменения происходят настолько быстро, что они требуют еженедельного обновления. Повсеместно применяются технологии, усложняющие процесс простого

копирования информации, что, во-первых, позволяет осуществлять охрану авторских прав, а во-вторых способствует тому, чтобы учащиеся не слепо копировали информацию, а работали с ней, преобразовывали. Информацию можно получить в неограниченном количестве, что выражает один из основных принципов цифровой образовательной среды – избыточность [2].

При построении учебного процесса в традиционном виде зачастую форма определяет содержание. В цифровой среде теперь иные правила игры: содержание материалов определяет форму, а также функционал, то есть мы можем использовать любые релевантные материалы, выбирая из всего многообразия те инструменты, которые будут в наибольшей степени подходить для подачи именного этого материала.

Кроме того, теперь материалы можно излагать нелинейно. Появляются такие виды массовых открытых онлайн-курсов, как c-MOOC и r-MOOC, в основе которых лежат идеи коннективизма и взаимного обучения, что пытаются реализовать в цифровой среде.

Иной подход и к повышению уровня мотивации учащихся. Прежде всего в цифровой образовательной среде учащиеся имеют возможность получить мгновенную обратную связь после выполнения задания. Активно формируются наглядные межпредметные связи на всех уровнях. Важно не просто изучить структурную единицу онлайн курса, но и интегрировать ее в систему своих знаний, связав с уже имеющимися структурными единицами.

Важную роль в цифровой среде играет геймификация учебного процесса: бейджи, рейтинги, доски лидерства – всё это является элементом наглядности и способствует повышению мотивации учащихся.

Ключевым элементом работы в цифровой образовательной среде – это активность, что порождает самостоятельность. Учебный процесс построен таким образом, чтобы учащийся проявлял эту активность, выполняя любое свое действие. Просмотр видео, изучение текстового материала, прослушивание подкаста, выполнение задания, обратная связь – все это проявление активности [2].

Также в эпоху больших вызовов цифровая образовательная среда должна обеспечить учащимся возможность построения индивидуальной образовательной траектории. Важно, чтобы учащиеся могли строить свой учебных процесс, исходя из собственных интересов, уровня знаний и осознания, где они сейчас находятся и что является отправной точкой.

Однако учащемуся трудно построить индивидуальную образовательную траекторию самостоятельно. Необходим человек, который будет его сопровождать. Таким человеком выступает тьютор.

В словаре «Терминология в системе дополнительного профессионального образования» данный термин расшифровывается как «лицо, преподаватель, облегчающий процесс обучения, чья цель - быть знающим наставником своих воспитанников» [3].

Выделяют три главные функции тьютора:

1. Поддержка, которая направлена на формирование самостоятельности будущего специалиста.
2. Сопровождение, которое заключается в помощи, направленной на воплощение индивидуальных образовательных программ.
3. Фасилитация, которая направлена на культурное и личностное самоопределение студента.

Преподаватель-тьютор отличается от учителя в традиционном понимании, поскольку он не только обладает необходимым набором компетенций и соответствующим опытом в области педагогики, но разбирается в специфике дистанционного образования, способен оказать квалифицированную помощь в процессе получения и усвоения знаний, способен корректировать и контролировать процесс обучения в виртуальной образовательной среде.

Помимо трёх функций, перечисленных выше, Лоренте выдвинул предложение относительно пяти функций, которые должны выполнять тьюторы [1]:

– академическая функция: связанная с овладением содержанием, деятельностью и оценкой студента;

– техническая функция: предназначена для обеспечения учащимися всеми доступными инструментами в виртуальной среде;

– направляющая функция: наличие необходимых навыков для планирования, структурирования и установления правил работы, а также для программирования графиков;

– социальная функция: предназначена для преодоления чувства изоляции, потери или отсутствия мотивации у студентов, участвующих в данном образовательном режиме;

– организационная функция: относящаяся к задачам обеспечения студентов руководством и консультациями по организационным вопросам в ходе взаимодействия с платформой.

На данный момент тьюторская деятельность в дистанционном обучении является новшеством в процессе образовании. Ее введение в образовательный процесс позволяет более успешно продвигаться обучающемуся по своему индивидуальному образовательному маршруту. Из всего вышесказанного можно выявить среднюю степень реализованности тьюторских функций в современном учебном процессе. Также мы можем увидеть развитие МООК разных видов и усовершенствование их с помощью геймификации. В будущем образование будет претерпевать еще очень много изменений, но начало новой образовательной парадигмы создаться уже сегодня.

ЛИТЕРАТУРА

1. Llorente, M.C. La tutoría virtual: técnicas, herramientas y estrategias. Eduweb 2005. Caracas, Venezuela.

2. Манифест о цифровой образовательной среде [Электронный ресурс] // URL: http://manifesto.edutainme.ru (дата обращения: 5.10.2019).

3. Челногова Е.А, Тюмасева З.И. Тьюторская деятельность в дистанционном обучении // Вестник Мининского университета. – 2016. – Т. 16. – № 3.

СОДЕРЖАНИЕ

СЕКЦИЯ «Прикладные разработки и моделирование в области инженерных наук» 3

Т.А. Алимханова, *С.В. Ковшов.* Новые методические подходы к оценке рисков возникновения аварийных ситуаций на магистральных трубопроводах 4

А.С. Бондарь*, О.В. Стрельцова, Ф.В. Чмиленко.* Исследование предсказания свойств сталей с помощью искусственных нейронных сетей 5

Г.А. Бузмаков*.* Теория игр в генетике. применение вектора Шепли и индекса Банзафа в анализе экспрессии генов при болезни Альцгеймера 7

В.С. Жукова. Шагающее колесо 10

С.Ф. Лебедев. Метод рекомбинации кластеров для ускорения расчета гравитирующих систем 12

Л.Н. Маренина. Влияние формы поворотного колена на эффективность неподвижных элементов ступени промежуточного типа центробежного компрессора 13

В.В. Марковцев. Разработка программного комплекса для расчета параметров прохождения рентгеновского излучения через тело человека 15

В.Д. Марченко*.* Высокочастотный транзисторный генератор на базе карбидкремниевых силовых транзисторов 16

В.С. Махова*.* Априорная оценка точности при расчётах ферм 17

А.О. Орлов, *В.С. Баженов*. Исследование путей оптимизации конструкции и работы установки выращивания монокристаллов кремния 19

Н.М. Потапов, *Л.Б. Аксенов*. Особенности формоизменения трубных заготовок в процессах торцевой раскатки 22

Н.М. Сидоров*, А.В. Ившин*. Применение программной системы MicroShield в разработке контейнера для обращения с облучённым графитом 23

А.А. Скворцова. Механизм шагающей машины 25

А.А. Шульгин. Исследование напряженного состояния упругого стержня при циклических тепловых воздействиях 27

СЕКЦИЯ «Информационные технологии и системы» 29

К.В. Кудинов*, Е.Ю. Павленко*. Применение муравьиного алгоритма для поддержания отказоустойчивости сети 30

К.В. Матрохина. Исследование процессов нечеткого управления трафиком в глобальных сетях 32

А.Д. Михалёва. Применение программы MathCAD для исследования теплофизических свойств зданий 33

М.А. Рожнова. Увеличение точности обработки результатов эксперимента в накапливающейся статистической выборке 35

М.Д. Степанов*, Е.Ю. Павленко*. Применение алгоритма пчелиной колонии для создания отказоустойчивой противопожарной системы 37

И.В. Усатый*, Э.Д. Папиашвили.* Дистанционное зондирование Земли по её географической параллели 39

А.В. Шварнуков. Разработка автоматизированной информационной системы «НИР студентов» 41

СЕКЦИЯ «Новые материалы и технологии» 43

Я.Э. Бегич, *А.В. Черкашин*, *П.А. Шерстобитова*. Аморфная фибра из сплава системы Fe-B-C для объемного армирования бетона 44

О.Р. Боголепова. Методология эффективного использования цифровой каплеструйной печати на широком ассортименте запечатываемых материалов 46

Н.О. Борисов. Оценка влияния применения высокопрочных бетонов на напряжённо-деформированное состояние вертикальных несущих элементов высотного здания 47

А.Р. Галяутдинова*, Д.А. Третьяков*. Акустическая анизотропия на поздних стадиях пластического разрушения металлов 49

А.Д. Гроховский, *Д.В. Нижегородцев*. Композитная арматура. проблемы производства и применения....51

А.И. Драцкая, *А.А. Скворцова.* Анизотропия жёсткости арматуры композиционного материала с ячейками Штейнера 53

В.С. Петрович, ***Д.А. Левин****, М.В. Новоселов*. Струйная электролитно-плазменная обработка сплайновых поверхностей 55

А.С. Мельников. Применение технологии магнитно-импульсной обработки для осуществления ударного воздействия на тонкостенные металлические изделия 57

А.В. Садецкая, *Е.А. Сюккалова, А.С. Вепрева, М.Г. Осмоловский, Н.П. Бобрышева, М.А. Вознесенский, О.М. Осмоловская*. Термические свойства биосовместимых пигментов на основе наночастиц гидроксиапатита различной морфологии 59

А.А. Стрельникова. Контроль качества производства заготовок деталей из конструкционной рессорно-пружинной стали 61

Д.А. Третьяков*, А.Р. Галяутдинова*. Акустическая анизотропия при высокотемпературном усталостном нагружении монокристаллических сплавов....63

СЕКЦИЯ «Энергоресурсосбережение и экология» 67

С.Н. Бородин. Разработка проекта по внедрению «умного» контейнера для эффективного раздельного накопления и транспортировки твердых коммунальных отходов....68

Д.В. Григорьева. Экологические аспекты снижения технологического минимума методом обвода на примере энергоблоков с турбинами Т-100-130 и Т-250/300-240 70

Г.И. Гусев, *А.А. Гущин, В.А. Бондарев, Е.А. Москаленко, М.А. Шильке*. Адсорбция 2,4-дихлорфенола силикатным адсорбентом – диатомитом 72

В.А. Екимовская. Геометрия многократного дробления опасного астероида 74

А.А. Извекова*, А.В. Сунгурова, В.В. Рыбкин*. Восстановление-окисление ионов хрома и марганца в водном растворе под действием разряда постоянного тока атмосферного давления в воздухе....76

С.В. Ковшов, ***И.С. Ильяшенко***. Разработка экспериментального стенда по оценке аэротехногенной нагрузки от автомобильных дорог карьеров и разрезов 77

И.А. Искинова, *В.В. Воронина, Н.А. Кобелева, А.А. Гущин, Т.В. Извекова*. Контроль уровня загрязнения снежного покрова ПАУ на территории г. Иваново 79

А.Н. Коваленко*, Д.С. Корельский*. Рекомендации по снижению выбросов угледобывающих предприятий с целью уменьшения уровня заболеваемости в Кемеровской области 81

Д.С. Колоколов*, И.Е. Колесников, М.А. Вознесенский, Н.П. Бобрышева, М.Г. Осмоловский, О.М. Осмоловская*. Взаимосвязь «состав-строение-свойства» в допированных европием наночастицах диоксида олова 83

А.П. Константинова. Космический мониторинг района озера Байкал 84

И.Д. Налетов*, К.С. Калмыков, И.Д. Аникина*. Выбор оптимального рабочего тела интегрируемой в схему теплофикации теплонасосной установки и ее эффективность 86

И.Д. Налетов*, К.С. Калмыков, И.Д. Аникина*. Выбор оптимальной компоновки теплонасосной установки для системы подогрева обратной сетевой воды в реальных паротурбинных энергоблоках с турбинами ПТ-80 и Т-250....88

***О.А. Пугина**, М.А. Пашкевич*. Мониторинг атмосферного воздуха г. Череповца в зоне влияния ПАО «Северсталь» ... 90
***А.А. Спирина,** Ю.С. Моклокова, А.В. Преснякова*. Загрязненность донных отложений акватории Горьковского водохранилища ... 92
***К.А. Тюканова**, А.А. Гущин, Т.В. Извекова, Е.Ю. Квиткова*. Деструкция тетрахлорметана, присутствующего в газовых выбросах, в плазме барьерного разряда ... 93
П.А. Харько. Анализ возможности использования ионообменной смолы для очистки воды от ионов меди, цинка, железа, алюминия и марганца ... 95
***В.М. Чернов**, А.А. Гущин.* Исследование процессов деструкции фенола, растворенного в воде, под действием ферратов ... 97

СЕКЦИЯ «Физические науки» ... 101

И.Ю. Дашин. Расчет изменения электронной плотности в узлах одномерной кристаллической решетки Кронига-Пенни при сверхпроводящем фазовом переходе ... 102
Ц.М. Глазкова. Определение состава теллурсодержащих стекол методом рентгенофлуоресцентного анализа ... 104
В.А. Доронин. Ядерное квадрупольное взаимодействие и абсолютные значения эффективных зарядов атомов в кристаллах $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ и $La_{2-x}Sr_xCuO_4$ ... 105
А.А. Екимовская. Фрактальная модель конденсата ... 107
***А.А. Иванов,** В.В. Чалдышев.* Оптическое отражение света периодической структурой на основе системы из 100 квантовых ям InGaN ... 109
М.А. Косарева. Десульфататор кислотно-свинцовых аккумуляторов – реальность и перспектива ... 110
***Ю.С. Ледовская,** А.В. Лукин, И.А. Попов*. Балочный микроканальный резонатор как детектор массы наночастиц в протекающем потоке жидкости ... 112
В.П. Назаров. Деформация фононного спектра диспергированного галлия ... 114
***Л.А. Оборотова**, В.А. Герега*. Исследование термоэдс и электропроводности коллоидного раствора гидрооксида железа (III) ... 115
А.В. Овсянников. Сходящаяся теория возмущений в квантовой теории поля ... 117
А.А. Карпова, Е.И. Котова, ***А.Д. Парфёнова**, С.А. Щеглов*. Метод измерения параметров тонких пленок, разработанный на основе методов интерферометрии переменного угла падения ... 118
Ю.А. Петрушин. Мессбауэровское исследование редкоземельных металлов во фторидных, силикатных, боратных и фосфатных стеклах ... 120
***П.А. Тонкаев,** С.В. Макаров*. Фактор Парселла резонансных кубических свинцово-галоидных перовскитных наночастиц ... 121
К.Б. Шахович. Сверхтонкие взаимодействия в диэлектрических и сверхпроводящих металлоксидах меди ... 122

СЕКЦИЯ «Экономика и управление» ... 125

М.А. Рудый, И.А. Безнутрова. Современные тенденции миграции трудовых ресурсов и их влияние на рынок труда в РФ ... 126
Н.Ю. Глинистая. Некоторые аспекты о состоянии рынка приборостроения и измерительной техники ... 127
А.И. Драцкая. Труба с перегородкой Штейнера ... 129
В.В. Злобин. Состояние и перспективы развития нефтегазовой отрасли в условиях современной экономики ... 131
***А.С. Изюмова**, С.В. Рассказов*. Блокчейн как инструмент расширения потребностей ... 132
Т.А. Малафеевский. Процессный подход как основа внедрения менеджмента качества в государственном управлении ... 134

А.Р. Нургалиева. О состоянии и развитии рынка приборов и услуг ультразвукового неразрушающего контроля.....136
А.В. Политова, Д.В. Прядко. Сложности, с которыми сталкивается отдел СМК.....137
Н.В. Размочаева. Некоторые вопросы импортозамещения в IT-отрасли.....139
А.А. Рыжая. Лазерное оборудование и лазерные технологии отечественного рынка.....141
С.В. Тишков*, А.П. Щербак, В.В. Каргинова-Губинова, Ю.В. Ромашкина, К.А. Кулаков.* Методический подход и результаты оценки биоэнергетического потенциала Республики Карелия 142
А.И. Черкасова. Экономическое значение транспортной системы в ЕС.....144
А.П. Щербак, *С.В. Тишков, В.В. Каргинова-Губинова, Ю.В. Ромашкина*. Возобновляемая энергетика и экономическая безопасность 145
Е.И. Якимова. Технико-экономический эффект от внедрения новой арматурной сетки с ячейками Штейнера.....147

СЕКЦИЯ «Инновационные технологии в образовании».....149

А.С. Гришина, ***П.М. Лычковская***. Интеграция средств синхронной коммуникации в процесс обучения английскому языку студентов многопрофильного вуза 150
С.В. Кади. Некоторые составные аспекты условно-речевых упражнений в обучающе-контролирующей компьютерной программе по иностранному языку 151
Е.В. Куликова. Использование инновационных педагогических технологий в современной системе обучения иностранному языку в вузе (на примере онлайн-сервиса Lingualeo).....152
Т.А. Малафеевский. Использование Excel при определении себестоимости проектирования технических систем.....154
А.Ю. Садикова. Blockchain в образовании.....156
А.Е. Стукалина. Всегда ли нужна в физике «цифра»? 158
П.В. Тарусова*, А.В. Шепелева, А.О. Киселева, А.А. Киселева*. Инновационные образовательные технологии в вузе как залог успешной ранней профориентации школьников 160
Е.С. Толоченко*, О.О. Кунина*. Особенности проектирования учебного процесса в рамках новой образовательной парадигмы.....161

НАУКА И ИННОВАЦИИ В ТЕХНИЧЕСКИХ УНИВЕРСИТЕТАХ

Материалы Тринадцатого Всероссийского форума студентов, аспирантов и молодых ученых

23 – 25 октября 2019 года

Налоговая льгота – общероссийский классификатор продукции
ОК 005-93, т.2; 95 3004 – научная и производственная литература

Подписано в печать 15.10.2019. Формат 60x84/8.
Усл. печ. л. 21,25. Тираж 90. Зак.

Отпечатано с готового оригинал-макета,
предоставленного оргкомитетом форума,
в Издательско-полиграфическом центре Политехнического университета.
195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29.
Тел.: (812) 552-77-17; 550-40-14.