

**III Международная научная конференция**

**Энерго-ресурсоэффективность  
в интересах  
устойчивого развития**



**Санкт-Петербург, 2021**

## Все для вашей лаборатории!



### Аналитические приборы

- ВЭЖХ и УВЭЖХ Hitachi Chromaster
- Хромато-масс-спектрометры
- Препаративные хроматографы PuriFlash
- Спектрофотометры и спектрофлуориметры



### Все для хроматографии

Колонки для ГХ и ВЭЖХ, растворители, сорбенты, виалы, крышки, шприцевые фильтры

### Лабораторное оборудование и расходные материалы

- Проточные реакторы, мешалки, насосы, сушильные шкафы, центрифуги, испарители
- Лабораторное стекло и пластик



### Реактивы и стандартные образцы

- Реактивы производства Sigma-Aldrich, Merck, ABCR, Alfa-Aesar, ChemPure, Fluorochem, J&K
- Аналитические стандарты Supelco, Dr. Ehrenstorfer
- Фармакопейные стандарты USP, LGC Standarts

# Эксклюзивное предложение

## Препаративный хроматограф *puriFlash XS 520 Plus* оптимизирован для вашей обычной флэш-очистки

Насос - максимальное давление до 20 бар,  
скорость потока до 300 мл/мин

Большое разнообразие сорбентов в готовых флэш-картриджах  
(от 4 до 800 гр).

Детектор UV-VIS  
спектрофотометрический диодно-  
матричный, выбор режимов  
детектирования

Система ввода проб - прямой ввод  
в колонку или через сорбцию на  
специальной предколонке



**Всего за 1 999 000 руб со склада в Москве!**

Гарантия 1 год! Доставка не включена в указанную стоимость.  
Пуско-наладочные работы - бесплатно. Не является публичной офертой.

**ГАЛАХИМ** +7 (495) 151-01-50  
Все для Вашей Лаборатории  
Надежность. Сервис. Качество. mailbox@galachem.ru  
www.galachem.ru

- аналитические приборы
- лабораторное оборудование
- все для хроматографии
- лабораторное стекло
- химические реактивы
- проточные реакторы
- фотореакторы
- электросинтез
- мебель

# Хроматография

## Пластины для ТСХ и Сорбенты

Современные принадлежности для тонкослойной хроматографии и сорбенты от ведущего производителя в мире, компании Macherey-Nagel



- Высокое качество
- Эффективность
- Селективность
- Большой выбор
- Отличная цена
- Со склада в Москве

**MACHEREY-NAGEL**



CAREL

CAREL

## Энергоэффективные компоненты для HVAC/R

### Увлажнители воздуха



### Вентиляция и кондиционирование



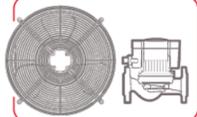
### Холодильное оборудование



### Системы диспетчеризации



Шина Fieldbus:  
вентиляторы и насосы с ЕС-двигателями,  
интеллектуальные устройства



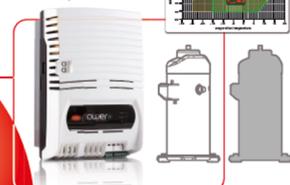
Локальные  
соединения и  
облачные  
сервисы



Графические терминалы и  
мобильные устройства



power+  
speed drive



Приводы инверторных  
компрессоров



Программное обеспечение для  
самостоятельной разработки  
программ управления и  
библиотеки готовых программ  
управления



Датчики и электронные ТРВ (EEV)

Контроллеры серии s.pCO - это современное решение от компании CAREL, предназначенное для организации управления системами отопления, охлаждения, вентиляции и кондиционирования воздуха.

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Университет ИТМО

**ЭНЕРГО-РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ  
В ИНТЕРЕСАХ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ**

**III международная научная конференция  
SEWAN – 2021  
(Санкт-Петербург, 19-24 апреля 2021 г.)**

**СБОРНИК ТРУДОВ**

**SUSTAINABLE AND EFFICIENT USE  
OF ENERGY, WATER AND NATURAL  
RESOURCES**

**III International Scientific Conference  
SEWAN – 2021  
(Saint-Petersburg, April 19-24, 2021)**

**PROCEEDINGS**

Ответственный редактор С.В. Романенко

Санкт-Петербург  
Университет ИТМО  
2021

УДК 658,18+620.91.004(063)

ББК 31.15Я 431

Э65

**Э65 Энерго-ресурсоэффективность в интересах устойчивого развития (SEWAN – 2021) = Sustainable And Efficient Use Of Energy, Water And Natural Resources (SEWAN – 2021):** сборник трудов III международной научной конференции (Санкт-Петербург, 19-24 апреля 2021 г.) / отв. ред. С.В. Романенко. — Санкт-Петербург: Университет ИТМО, 2021 — 369 с.  
**ISBN 978-5-7577-0647-4**

Сборник посвящён актуальным вопросам энерго-ресурсоэффективности в регионах России и в мире. В сборнике представлены тезисы докладов по следующим научным направлениям: энергосбережение и повышение энергетической эффективности, экоэнергетика, проблемы экологической безопасности, чистые технологии, чистая вода, рациональное природопользование, устойчивые холодильные цепи и пищевые биотехнологии для здоровья человека.



Университет ИТМО (Санкт-Петербург) — национальный исследовательский университет, ведущий вуз России в области информационных, фотонных и биохимических технологий. Альма-матер победителей международных соревнований по программированию: ICPC (единственный в мире семикратный чемпион), Google Code Jam, Facebook Hacker Cup, Яндекс.Алгоритм, Russian Code Cup, Topcoder Open и др. Приоритетные направления: IT, фотоника, робототехника, квантовые коммуникации, трансляционная медицина, Life Sciences, Art&Science, Science Communication. Входит в ТОП-100 по направлению «Автоматизация и управление» Шанхайского предметного рейтинга (ARWU) и занимает 74 место в мире в британском предметном рейтинге QS по компьютерным наукам (Computer Science and Information Systems). С 2013 по 2020 гг. — лидер Проекта 5-100.

**ISBN 978-5-7577-0647-4**

©Университет ИТМО, 2021

© Авторы, 2021

## **Section 1**

Energy Saving and Energy Efficiency

## **Секция 1**

Энергосбережение и повышение  
энергетической эффективности

## **Mathematical methods for solving problems of electrostatics in a layered environment**

G.D. Kogai<sup>1</sup>, A.L. Those<sup>2</sup>, V.G. Drozd<sup>3</sup>, V.L. Ivanov<sup>4</sup>, T.L. Ten<sup>3</sup>

<sup>1</sup> *Karaganda Technical University, RK, Karaganda*

<sup>2</sup> *Almaty Academy of Economics and Statistics, RK, Almaty*

<sup>3</sup> *Karaganda Economic University Kazpotreboysuz, RK, Karaganda*

<sup>4</sup> *ITMO University, RF, St. Petersburg*

The actual and urgent need to use analytical and numerical methods for studying problems of electrostatics determine the need to consider them in the case of layered and vertically inhomogeneous media. The original problem of electrostatics, in the case of a special choice of the source of electromagnetic disturbance, is reduced to a series of one-dimensional problems for the geoelectrics equation. Based on the "fitting" method, fixed measurement points for a class of calculated physical fields define a class of functions that describe the response of the medium [1–7].

*Purpose of work:* For this purpose, algorithms for reducing the noise level in the radarogram using various wavelets should be considered. Used: Haar wavelet and Daubechies 4 — order wavelets. The main area of application of wavelet transforms is the analysis and processing of signals and functions that are non-stationary in time and inhomogeneous in space. The results of such an analysis should contain the frequency response of the signal, the distribution of signal energy over frequency components. Compared to the decomposition of signals into Fourier series, wavelets are capable of representing local features of signals with a higher accuracy.

*Main results.* As a result of studying the subsurface environment, we will receive a lot of signals received from the receiving antenna for each measurement by the GPR. Many of these traces are visualized using the variable density method as an image. Automation of computational processes should be implemented on the basis of a software module, which will make it possible to determine the depths of objects and the relative permittivity of the subsurface medium. The location of the subsurface object is determined by the vertex of the hyperbola, which is constructed according to the points of the maximum values of the amplitudes of each trace.

To implement the set tasks, an algorithm is being developed for interpreting GPR data to determine the dielectric constant and conductivity of the medium. For this purpose, two practical inverse problems have been solved. At the beginning, the parameters of the source generated by the GPR are determined. According to a well-known source, the relative permittivity and conductivity of the medium are found. The tasks are solved on well-known

environments that were specially prepared at the test site. For the first problem, a homogeneous medium was created, for the second, a local heterogeneity located in a horizontally layered homogeneous medium. For the second task, a software module for determining the depth and conductivity of sub-surface objects is described.

Experimental studies were carried out on a landfill with a geological section containing perfectly clean sand and an inhomogeneous inclusion "salt dome" of artificial origin.

The results obtained demonstrate both the adequacy of the mathematical model and the possibility of practical application of the method under consideration for the interpretation of radarograms.

As a result of the study, numerical methods have been developed for solving direct problems of electrodynamics (layered media). Algorithms and a program of numerical methods for solving direct problems of electrodynamics have been developed. To compare the GPR data with the results of calculations of model problems for the geoelectric equation in the case of layered media, the "selection" method was used. In the class of finite-parametric media, an algorithm and software are built to determine the class of computed physical fields. Further, comparing the measurement data with this class, we reconstruct the geological section.

### **References**

1. Varaksin A.Yu. Collisions in gas streams with solid particles. Moscow: Fizmatlit. 2008. 312 p.
2. Goncharov V.A. Methods for modeling electromagnetic fields in computing environments / Scientific electronic archive. URL: <http://econf.rae.ru/article/5166> (date of access: 07.10.2020).
3. Markov G.T., Vasiliev E.N. Mathematical methods of applied electrodynamics. Moscow: Sov. radio. 1970. 119 p.
4. Bankov S.E., Kurushin A.A. Electrodynamics and microwave technology for CAD users. Moscow: Solon-Press. 2008. 185 p.
5. Hockney R., Eastwood J. Numerical modeling by the particle method: Per. from English. Moscow: Mir. 1987. 640 p.
6. Amitei N., Galindo V., By Ch. Theory and analysis of phased antenna arrays: Per. from English / Ed. Chaplin A.F. Moscow: Mir. 1974. 453 p.
7. Ilyin V.P. Numerical methods for solving problems of electrophysics. Moscow: Science. 1985. 336 p.

## **Mathematical model and analysis of hybrid solar hot-water systems for northern territories of Russia**

N.A. Tsvetkov<sup>1</sup>, S. Boldyryev<sup>2</sup>, Yu.O. Krivoshein<sup>1</sup>,  
A.V. Tolstykh<sup>1</sup>, A.V. Petrova<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Tomsk State University of Architecture and Building,  
2 Solyanaya Sq., Tomsk, 634003, Russia*

<sup>2</sup> *Tomsk Polytechnic University, Lenin Ave. 30, Tomsk, 634050, Russia*

Urbanization of Northern territories of Russia is associated with the continuous growth in the thermal and electric energy production. The restricted use of fossil fuels in energy production is explained by their depletion, extraction and transportation costs. However, the main reason of the restricted use of fossil fuels is the susceptibility of Northern territories to contamination by combustion products of these fuels, since the territory restoration afterwards requires a long period as compared to other regions. These circumstances necessitate the use of wind and solar power in the life-support systems throughout the year. A promising trend in natural gas saving is, therefore, the year-round use of hybrid solar hot-water systems [1–5].

This work explores a problem of construction of hybrid solar hot-water systems and the efficiency of solar energy generation, storage and use with regard to real climatic conditions such as permafrost (Yakutia, Yakutsk) and seasonally frozen (West Siberia, Tomsk) soils of the Northern Russian territories. The distance between Yakutsk and Tomsk is over 2500 km.

The proposed mathematical model of solar irradiance is additionally provided with real meteorological data for these cities. The developed software allows analyzing the flows of the radiant energy over the surface of solar collectors with south-facing orientations under optimum tilt angles. The paper presents new theoretical calculations and experimental data on cooling the external heat pipe solar collectors after sunset and their heating after sunrise depending on their heat capacity, the coolant circulation being absent. Also, new theoretical calculations and experimental data are obtained for the temperature conditions of internal pipes and a hot water storage tank of the solar system depending on room temperature, heat gain and loss across the exterior wall systems.

The results of frost formation on the outer surfaces of vacuum tubes are discussed. The estimation of the influence of frost formation on the decrease in the collector productivity is carried out. The results of temperature regimes of cooling solar collectors after sunset at negative outdoor temperatures are presented. Experimental data are presented to substantiate the possibility of avoiding freezing of the coolant in the circulation circuit of the collectors.

The paper presents the results of a study of the temperature modes of operation of a solar water heating installation when controlling the intermittent operation of the circulation pump of the hydraulic circuit of the collector. The conditions for obtaining the maximum possible solar energy into the system under different cloud cover are shown. The possibility of saving electrical energy by a circulation pump is shown.

Research findings are used to update the mathematical model of and design procedure for the hybrid solar hot-water systems intended for the Northern Russian territories.

The enhancement of hybrid solar hot-water system in Zhatay district (Yakutsk city), an energy-efficient urban locality, increases the annual solar fraction from 30 to 50 % and reduces the nonproductive natural gas consumption at least by 25 %.

### **References**

1. Tsvetkov N.A., Krivoshein U.O., Tolstykh A.V., Khutornoi A.N. Modeling insolation on a horizontal surface to calculate hourly values of solar radiation // *News of higher educational institutions. Construction*. 2019. № 6 (726). Pp. 81–92. DOI: 10.32683/0536-1052-2019-726-6-81-92.
2. Krivoshein Y.O., Tolstykh A.V., Tsvetkov N.A., Khutornoy A.N., Mathematical model for calculating solar radiation on horizontal and inclined surfaces for the conditions of Yakutsk // *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*. 2020. 408 p. 012002.
3. Krivoshein Y.O., Tolstykh A.V., Tsvetkov N.A., Khutornoy A.N. Efficiency of dual hot water systems with the use of solar evacuated tube collectors in the Northern territories // *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*. 2020. 408 p. 012011.
4. Tsvetkov N.A., Krivoshein Y.O., Khutornoi A.N., Boldyryev S., Petrova A.V. Development of the Computer-Aided Application for the Use of Solar Energy in the Hot Water Supply System of Russian Permafrost Regions // *Chemical Engineering Transactions*. 2020. Vol. 81. P. 943–948. DOI:10.3303/CET2081158.
5. Tsvetkov N.A., Krivoshein U.O., Tolstykh A.V., Khutornoi A.N., Boldyryev S. The calculation of solar energy used by hot water systems in permafrost region: An experimental case study for Yakutia // *Energy*. Vol. 210. 2020. 118577.  
<https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.118577>.

## **Energy analysis of the heat balance of an energy efficient home on Lake Baikal**

V.Yu. Borodulin, M.I. Nizovtsev, I.A. Ogorodnikov

*Institute of Thermophysics SB RAS, Russia, 630090,  
Novosibirsk, Academician Lavrent'ev Ave. 1*

In this work, the calculation of the energy efficiency of a low-rise house made of timber insulated with mineral wool in the conditions of island Olkhon on Lake Baikal based on heat balance analysis. It is assumed that the structure of the house is in dynamic equilibrium with the environment, and the heat transfer is quasi-stationary. The calculations use the average monthly ambient temperature and average monthly heat fluxes through the structural elements [1]. The model is built for multi-layer structures and allows one layer.

According to regulatory requirements, the construction of a house must provide a high resistance to heat transfer [2], and the specific consumption of heat energy for heating and ventilation should not exceed the standard values. For the given climatic conditions and characteristics of the construction of the house, the value of the specific characteristic of the consumption of thermal energy used for rationing is  $0.48 \text{ W} / (\text{m}^3 \text{ K})$ .

The model takes into account the heat input from solar radiation converted in an air solar collector with a surface area of  $12 \text{ m}^2$ . The model also takes into account the presence of a ground heat accumulator with a volume of  $20.2 \text{ m}^3$ .

Two operating modes of the building are considered. In the first mode, it is a residential building for a family of five, and in the second, a hotel for ten people. As a result of calculations, heat losses through all elements of the building enclosure and heat energy consumption for heating at the standard ventilation air consumption [2–3] and the share of energy spent on ventilation in the total thermal energy consumption in the considered modes were determined.

Calculations have shown that the house has high energy efficiency and low specific characteristics of heat energy consumption. When working in the hotel mode for 10 people, the specific characteristic of the heat consumption is  $0.059 \text{ W} / (\text{m}^3 \text{ K})$ , and in the mode of a residential building for 5 people, this value is  $0.05 \text{ W} / (\text{m}^3 \text{ K})$ . It is shown that additional accounting for household heat inputs, as well as heat inputs from a solar air collector, leads to a significant increase in the role of heat losses due to air ventilation.

On average, in January, about  $2.8 \text{ kW}$  of power is required to heat a house. In the coldest five-day period, no more than  $4.5 \text{ kW}$  is required. This low heat demand is on average achieved through the use of a recuperative

ventilation system and a solar air collector. The use of regenerative ventilation with a thermal efficiency of 82 % makes it possible to reduce energy consumption for heating by almost 2.5 times for housing for 5 people and almost 4.5 times for a hotel for ten people. The solar air collector, when operating a house in the mode of housing for five people, reduces energy consumption in the coldest five days by 16 %, in January by 24 %, and in December by more than 40 %. Thermal storage batteries can significantly increase the thermal inertia of a home. So on the coldest five-day period on a cloudy day, the air temperature in a house without heating can be kept above 16 °C for a day, and on a sunny day it does not drop below 18 °C. Thus, the selected design solutions of the house in the climatic conditions of the Olkhon island on Lake Baikal allow ensuring the stability of the thermal state of the house during the heating season and reducing, on average, material and financial costs for its operation.

As a result of calculations, the energy consumption for heating the building was determined for individual months and for the year as a whole. Calculations have determined a reduction in the building's energy consumption when using solar collectors and accumulating solar energy with a ground heat accumulator.

On the basis of the calculations performed, several full-scale demonstration objects were built on Olkhon island, using air solar collectors for additional heating.

### **References**

1. Building climatology. SP 131.13330.2012. Moscow. 2012. 109 p.
2. Thermal protection of buildings. SP 50.13330.2012. Moscow. 2012. 96 p.
3. Heating, ventilation and air conditioning. SNiP 2.04.05-91. Moscow. 1999. 79 p.

## **Предотвращение отложений минеральных солей и коррозии металла в системах водопользования как способ энергосбережения**

Б.Н. Дрикер<sup>1</sup>, А.А. Протазанов<sup>1</sup>, Н.В. Цирульникова<sup>2</sup>, Ю.И. Кузнецов<sup>3</sup>

<sup>1</sup> *ФГБОУ ВПО «Уральский государственный лесотехнический университет», 620100, РФ, г. Екатеринбург, ул. Сибирский тракт, 37*

<sup>2</sup> *ФГУП «Институт химических реактивов и особо чистых химических веществ» НИЦ «Курчатовский институт» — ИРЕА, 107016, РФ, Москва, ул. Богородский Вал, 3*

<sup>3</sup> *ФГБУН «Институт физической химии и электрохимии имени А.Н. Фрумкина РАН», 119071, РФ, Москва, Ленинский пр., 31, корп. 4*

Образование отложений минеральных солей и коррозия металлов в системах водопользования является одним из основных факторов, препятствующих сокращению водопотребления и, как следствие, энергосбережения. Достаточно указать, что в подобных системах в теплоэнергетике отложения величиной 1–2 мм приводят к перерасходу топлива на 15 %, и по причине коррозии ежегодно теряется до четверти производимой конструкционной стали.

Существенное сокращение влияния этих негативных явлений, как правило, решается с помощью ингибиторов солеотложений и коррозии — химических реагентов на основе органофосфонатов (ОФ), и композиций, содержащих их комплексоны, как правило, цинковые.

ОФ в качестве ингибиторов солеотложений используются в количествах 1–5 мг/дм<sup>3</sup>, оказывают влияние на процессы зародышеобразования частиц твердой фазы, препятствуют их росту и образованию и снижают интенсивность отложений в 10–15 раз.

Для снижения величины коррозии до нормативной (менее 100 мкм/год) используют композиционные составы, содержащие ОФ и комплексоны ОФ, как правило, цинковые [1]. Их эффективность обусловлена созданием защитной пленки на поверхности металла [2]. При этом расход реагента составляет 10–50 мг/дм<sup>3</sup>.

В данной работе с целью выяснения зависимости строения ОФ на их эффективность в качестве ингибиторов солеотложений на примерах оксиэтилендифосфоновой (ОЭДФ), нитрилтриметиленфосфоновой (НТФ), диаминопропанолтетраметиленфосфоновой (ДПТФ) кислот изучены кинетические закономерности кристаллизации малорастворимых солей. Рассчитанные по уравнениям Гиббса — Фольмера, Христиансена — Нильсена, Оствальда — Фрейдлиха параметры зародышеобразования (удельная поверхностная энергия, порядок реакции, радиус

критического зародыша) позволили определить эффективность ОФ с учетом их строения и количества функциональных групп. В ряду исследованных реагентов их можно расположить в порядке ДПТФ>НТФ>ОЭДФ.

Для предотвращения коррозии конструкционных сталей (Ст.3, Ст.10, Ст.20) изучены композиционные составы на основе тех же ОФ при различных мольных соотношениях ОФ:Ме с цинком и щелочноземельными металлами. Определены мольные соотношения, позволяющие одновременно ингибировать образование отложений и коррозию металла.

Установлено, что ингибирование коррозии обусловлено созданием защитной пленки на поверхности металла, состоящей из соответствующих комплексонов и гидроксидов металла. По своей эффективности комплексоны щелочноземельных металлов не уступают цинковым аналогам, что позволяет не только уменьшить экологическую нагрузку на окружающую среду, но и повысить экономическую целесообразность их применения.

#### **Список литературы**

1. Tsurulnikova N.V. Mg(II) and Zn(II) complexonates with a 1,3-diamino-2-propanol phosphorus-containing derivative as corrosion and scaling inhibitors / Tsurulnikova N.V., Driker B.N., Fetisova T.S., Protazanov A.A., Kuznetsov Yu.I. Москва: Из-во Некоммерческое партнерство коррозийщиков "Вакоп" International journal of corrosion and scale inhibition. 2020. Vol. 9. Issue 1. P. 362–371.
2. Чиркунов А.А., Чугунов Д.О., Редькина Г.В., Кузнецов Ю.И. О влиянии модификации поверхности стали цинковыми комплексами фосфоновых кислот на эффективность ее пассивации органическими ингибиторами // Электрохимия. 2019. Т. 55. № 2. С. 214–221.

## **Влияние условий работы алюминиевого радиатора на его тепловую мощность**

З.Г. Марьина, А.Ю. Верещагин, М.А. Комаревцев,  
А.В. Новожилова, К.О. Исаева

*Северный Арктический федеральный университет имени  
М.В. Ломоносова, г. Архангельск, наб. Северной Двины, 17*

Большое разнообразие нагревательных приборов в настоящее время привело к тому, что тепловые характеристики радиаторов обычно указываются производителем и на практике не всегда подтверждаются. Обзор многочисленных источников по данному вопросу позволяет сделать вывод, что теплотехническими исследованиями подтверждаются данные только для отдельных типов радиаторов [1–6].

На российском рынке сейчас появилось большое количество современных нагревательных приборов, из которых немалая доля приходится на алюминиевые радиаторы. Их несомненным преимуществом является высокая теплоотдача, достигающая 200–210 Вт, при этом объем каждой из секций батареи составляет около 450 мл.

Для исследования был представлен восьмисекционный алюминиевый радиатор типа ROYAL Termo Evolution, предназначенный для систем отопления жилых, общественных и промышленных зданий.

К настоящему времени правительством Российской Федерации принято Постановление от 17 июня 2017 г. № 717 о введении обязательной сертификации всех типов отопительных приборов [7], их соответствии ГОСТу [8]. Таким образом, отклонения номинального теплового потока, заявленного производителем, от показателей, установленных по результатам проведения испытаний, не должны превышать предельно допустимых допусков (от –4 % до +5 %) [8]. Представляет интерес определение фактического теплового потока нагревательного прибора, поэтому целью работы является исследование тепловых характеристик нагревательного прибора марки ROYAL Termo Evolution [9].

В стационарном тепловом режиме проводили замеры расхода теплоносителя, ЭДС термодатчиков, установленных на входе и выходе из радиатора, и температуры воздуха в помещении. Опытты проводились в диапазоне температур греющего теплоносителя 40–80 °С при расходах 0,13–0,22 м<sup>3</sup>/ч. Тепловая нагрузка отопительного прибора определялась по расходу и разности температур теплоносителя. Равномерность температурного поля на внешней поверхности ребер и направление движения теплоносителя в приборе определялась при помощи тепловизора TESTO-350 [10].

В паспорте нагревательного прибора производителем заявлена тепловая мощность секции  $q_{\text{ном}} = 203$  Вт при расчетной разности средней температуры теплоносителя и температуры воздуха в помещении  $\Delta t_{\text{ср}} = 70$  °С, полученной при температурах теплоносителя 110/70 °С и воздуха 20 °С [9]. В России проектирование двухтрубных систем отопления производят при температурах теплоносителя до и после нагревательного прибора 95 °С и 70 °С соответственно, а температура воздуха в помещении 20 °С, что соответствует расчетной разности температур  $\Delta t_{\text{ср}} = 62,5$  °С.

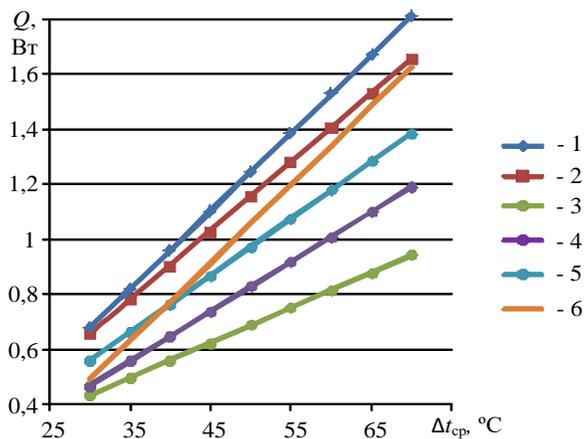
При других расчетных условиях производители предлагают использовать поправочный коэффициент  $k = f(\Delta t_{\text{ср}})$  и определять плотность теплового потока секции по формуле:

$$q = q_{\text{ном}} \cdot k. \quad (1)$$

Тепловая мощность радиатора при различных температурах, расходах теплоносителя и способах подключения представлена на рисунке 1.

Заявленная производителем плотность теплового потока восьми-секционного радиатора с учетом влияния  $\Delta t_{\text{ср}}$ , рассчитанная по формуле 1, показана линией 6.

Исследования всех способов подключения проводились при трех расходах теплоносителя соответственно 0,062 кг/с, 0,054 кг/с и 0,037 кг/с.



1 — одностороннее подключение «сверху-вниз»; 2 — диагональное подключение «сверху-вниз»; 3, 4, 5 — подключение «снизу-вниз» при расходах теплоносителя соответственно 0,062 кг/с, 0,054 кг/с и 0,037 кг/с;

6 — указанная производителем

**Рис. 1.** Тепловая мощность восьми-секционного радиатора

Изменение расхода не влияет на теплоотдачу радиатора при одностороннем и диагональном подключениях «сверху-вниз» (линии 1, 2). При подключении «снизу-вниз» влияние расходов необходимо учитывать (линии 3–5).

Сопоставление заявленных и экспериментальных данных показывает, что при подключениях «сверху-вниз» имеется запас по тепловой мощности, а при подключении «снизу-вниз» к определению числа секций следует подходить с осторожностью, так как мощность прибора будет ниже заявленной производителем и значительно зависеть от расхода теплоносителя.

Таким образом, при разнице температур  $\Delta t_{cp}=70$  °С наблюдаемый тепловой поток при одностороннем подключении «сверху-вниз» превышает тепловой поток при диагональном подключении на 9 % и заявленную производителем величину на 10 %. Подключение «снизу-вниз» снижает тепловой поток на 15 %, 27 % и 42 % при расходах теплоносителя соответственно 0,062 кг/с, 0,054 кг/с и 0,037 кг/с по сравнению с заводскими данными. При таком подключении прибора наибольшая мощность наблюдается при малых расходах греющего теплоносителя (до 0,037 кг/с). С повышением расхода до 0,06 кг/с тепловой поток снижается в 1,5 раза, так как увеличивается доля теплоносителя, протекающего по нижнему коллектору без затекания в первые секции радиатора.

### **Список литературы**

1. Теплоотдача радиаторов отопления — сравнение и расчет [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://otivent.com/sravnenie-radiatorov-otopleniya-po-teplootdache> (дата обращения: 21.10.2020).
2. Плохих И. Радиаторы в низкотемпературных системах отопления // *Аква-Терм*. 2011. № 2. [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://aqua-therm.ru/articles/articles\\_185.html](https://aqua-therm.ru/articles/articles_185.html) (дата обращения: 21.10.2020).
3. Embaye M., Al-Dadah R.K., Mahmoud S. Numerical evaluation of indoor thermal comfort and energy saving by operating the heating panel radiator at different flow strategies // *Energy and Buildings*. 2016. Vol. 121. P. 298–308.  
<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.12.042>.
4. Brady L.J., Abdellatif M., Cullen J., Maddocks J., Al-Shamma'a A. An investigation into the effect of decorative covers on the heat output from LPHW Radiators // *Energy and Buildings*. 2016. Vol. 133. P. 414–422.
5. Maivel M., Konzelmann M., Kurnitski J. Energy performance of radiators with parallel and serial connected panels // *Energy and Buildings*. 2015. Vol. 86. P. 745–753.

6. Gheibi A., Rahmati A.R. An experimental and numerical investigation on thermal performance of a new modified baseboard radiator // *Applied Thermal Engineering*. Vol. 163. 25 December 2019. 114324. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2019.114324>.
7. Постановление Правительства РФ от 17.06.2017 № 717 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=LAW&n=218692&fld=134&dst=1000000001,0&rnd=0.8020253409431399#018911350397033821> (дата обращения: 14.12.2020).
8. State standard No 31311-2005 «Heating devices. General specifications». Москва: Стандартинформ, 2006.
9. Алюминиевые радиаторы Royal-Thermo [Электронный ресурс]. Режим доступа: [http://www.royal-thermo.ru/catalog/radiator\\_otopleniya/alyuminievye\\_radiator/](http://www.royal-thermo.ru/catalog/radiator_otopleniya/alyuminievye_radiator/) (дата обращения: 14.12.2020).
10. Vereshchagin A.Yu., Latishova N.V. Thermal performance of aluminium heating appliance research // *Lomonosov scientific readings of students, postgraduates and young scientists-2017: collection of conference materials*. Arkhangelsk: Publishing house of the University. 2017. P. 400–404.

## **Energy efficiency improvement in geothermal hot water supply of residential buildings in Russia**

E.A. Buzoverov

*Joint Institute for High Temperatures of Russian Academy of Sciences,  
13 Bd. 2, Izhorskaya str., Moscow, 125412, Russia*

This paper is dedicated to study of the efficiency of geothermal hot water supply for space heating systems of Russian localities exemplified by the present system of Mostovskoy settlement, Krasnodar Krai. It is deemed that the conditions under which the existing Russian space heating systems operate are generally unfavorable for the use of geothermal water for space heating needs. This is due to low local price for conventional fuel — natural gas, high temperature of heat carrier specified for space heating systems, and rigid environmental requirements. An additional constraint imposed by the Mostovskoy geothermal field itself is the technical infeasibility to reinject the discharged geothermal carrier. Nevertheless, the urgent necessity for upgrading the present local space heating/hot water supply systems forces to make economic performance calculations in order to select new concepts to leverage.

The first option is a direct supply of consumers with the geothermal carrier as implemented to the date, but with the new geothermal wells drilled, for the fluid pressure tends to drop over the years and it already came to a critical level. There are certain pros and cons of a direct supply solution, but it proved its efficiency under the given conditions [1, 2]. Therewith, the water of Mostovskoy geothermal field has a health-giving effect, which makes it desirable among the local population.

The second option is utilizing geothermal heat via absorption heat pumps. In fact, they were commissioned as an integral part of the system back at the original project phase, but dismantled by the end of their life span, and the system was converted to a direct supply.

The calculations prove that the option of geothermal heating system with absorption heat pumps would have lower cost (16.51 USD/Gcal) when applied for seasonal residential space heating needs, while the direct use of geothermal carrier may still be considered advantageous for domestic year-around hot water supply in terms of Mostovskoy settlement (0.35 USD/m<sup>3</sup>) and even highly preferable when implemented in terms of Europe. In addition to economic efficiency, it shows adequate environmental friendliness and may lead to higher customer satisfaction. Should the reinjection be possible in the case under study, it might only have increased the costs (32.96 USD/Gcal for heating and 0.67 USD/m<sup>3</sup> for hot water).

The economic dimension of operation of geothermal heating system with integrated heat pumps in Russia is about the same as gas heating (16.51 USD/Gcal versus 16.31 USD/Gcal, respectively). Thereupon, the latter option is more preferable for practical implementation given the complexity of construction of geothermal system with heat pumps compared to further development of natural gas boiler plants system.

The studied status of Mostovskoy settlement geothermal heat supply system reflect the typical situation in this industry in Russia nowadays, so the conclusions above may be scaled up at country level.

### **References**

1. X. Song, G. Wang, Y. Shi, R. Zheng, J. Li. Numerical analysis on thermal characteristics of an open loop geothermal system in a single well // Proc. of 10th Int. Conf. on Applied Energy (ICAE2018) (Hong Kong, China). 2018. 6112–17.
2. X. Bu, Y. Ran, D. Zhang. Experimental and simulation studies of geothermal single well for building heating // *Renew Energ.* 2019. Vol. 143. 1902–09. DOI: 10.1016/j.renene.2019.06.005.

## **Компенсация реактивной мощности и снижение потерь электроэнергии на транзит**

А.Ю. Четыркина, С.В. Голобоков, Т.Ю. Бростилова, А.А. Тихомирова  
*Пензенский государственный университет, г. Пенза, ул. Красная, 40*

В настоящее время, компенсация реактивной мощности является важным фактором повышения качества электроэнергии на любом предприятии. Полная мощность складывается из активной и реактивной мощности. Активная составляющая — это полезная часть мощности, которая преобразует электрическую энергию в другой необходимый вид энергии. Если говорить о реактивной составляющей, то она служит для создания магнитных полей и создает дополнительную нагрузку на силовые линии питания.

Основными потребителями реактивной мощности являются сварочные трансформаторы, асинхронные электродвигатели, люминесцентные лампы и другие аппараты. На промышленных предприятиях основными потребителями реактивной мощности являются асинхронные двигатели 65–70 % ( $\cos\varphi \approx 0,7$ ). Переменный ток индуцирует ЭДС, обуславливает сдвиг по фазе между напряжением и током, данный угол увеличивается, следовательно, коэффициент мощности сети уменьшается. Реактивная мощность ухудшает показатели электроэнергии. Большая реактивная мощность влечет за собой большой ток, протекающий через сеть, увеличение потерь активной мощности, увеличение потерь напряжения.

Если реактивные сопротивления незначительны, то есть нагрузка представляет собой только активную часть, то коэффициент мощности, представляющий собой сдвиг фаз тока и напряжения, будет стремиться к единице ( $\varphi = 0$ ), то есть вся мощность передается в нагрузку. При таком режиме работы сети обеспечивается максимальная передача мощности.

Компенсация реактивной мощности называется ее выработка или потребление с помощью компенсирующих устройств. Компенсаторы реактивной мощности (КРМ) являются одним из видов оборудования, снижающим значения полной мощности, и в зависимости от природы реактивной мощности может быть как индуктивного характера, так и емкостного. Основными компенсирующими устройствами являются конденсаторы (батареи), синхронные компенсаторы, шунтирующие реакторы.

Зачем нужно компенсировать реактивную мощность. В первую очередь, установка компенсирующих устройств применяется для снижения потерь электрической энергии в сети. Так же компенсация

реактивной мощности необходима для баланса реактивной мощности, то есть равенство вырабатываемой и потребляемой электроэнергии в любой момент времени соответствует равенство вырабатываемой и потребляемой реактивной мощности, нарушения данного баланса приводит к изменению уровня напряжения в сети.

## **Повышение экологичности сжигания смесей в топках малого объёма за счёт включения органических компонентов**

Л.В. Кулагина, И.В. Кириллова

*ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет»,  
Россия, 660041, г. Красноярск, пр. Свободный, 79*

В современных условиях развития промышленности актуальной задачей становится повышение энергетической эффективности и экологической безопасности эксплуатации печей малого объема, которые широко используются в сельскохозяйственной промышленности, асфальтобетонных заводах и т. п. Решение данных задач экономически оправдано за счет усовершенствования технологии подготовки топлива, путем добавления в водоугольную смесь органических отходов животноводства и применение эффектов гидродинамической кавитации [1].

Основной целью исследования является создание установки для подготовки к сжиганию жидкого топлива с возможностью утилизации отходов животноводческих предприятий за счёт использования процесса суперкавитации для смеси топлива с органикой при подготовке массы к сжиганию. При этом улучшаются параметры горения топливной смеси, в частности, снижаются потери теплоты за счёт недожога и, как следствие, уменьшение габаритов топки [2].

Установка содержит последовательно устройство для подачи воды, угля и отходов животноводства, суперкавитационный реактор, смеситель, суперкавитационный гомогенизатор для повышения однородности с целью улучшения параметров горения, насос для подачи подготовленной суспензии с помощью потока воды.

Данная технология обеспечивает следующие преимущества:

1. За счёт применения в процессе подготовки топлива эффектов суперкавитации происходят микровзрывы частиц, обеспечивающие подогрев смеси и способствующие достижению оптимальных параметров горения, таким образом, исключается необходимость предварительного нагрева рабочей смеси.

2. Увеличение полноты сгорания топлива объясняется горизонтальным расположением форсунок в плоскости топки под углом 10–45° относительно друг друга. Такое строение повышает траекторию движения частиц топлива, снижает недожог и увеличивает производительность процесса, что позволяет сократить габаритные размеры топки.

3. Возможность утилизации органических отходов животноводческих производств, что весьма актуально.

4. Снижение расхода угольного топлива, что также уменьшает нагрузку на окружающую природную среду.

**Список литературы**

1. Кулагина Т.А. Дисс. Разработка режимов сжигания обводненных топочных мазутов и водотопливных эмульсий. канд. техн. наук. Красноярск: КГТУ. 2000. 178 с.
2. Вахрушева Г.Д., Мурко В.И., Федяев В.И., Карпенко В.И., Мастихина В.П., Дзюба Д.А. // Журнал СФУ. Техника и Технологии. 2011. Т. 5. № 4. С. 522–526.

## **Environmental assessment of energy efficient and energy saving technologies**

V.A. Savoskula, A.S. Pavlova, O.I. Sergienko, I.O. Vdovina,  
K.A. Pichugina, L.I. Kalashnikova

*ITMO University, Kronverksky Pr. 49, bldg. A,  
Saint Petersburg, 197101, Russia*

Today it is difficult to imagine a world without energy. But reserves of traditional energy resources are limited. Their use has a negative impact on the environment. Therefore, alternative energy sources have already been developed and are being applied, the efficiency of energy machines is increasing, the world is in search of any ways of rational use of resources [1].

For the purpose of using the residual or lost heat, many scientists are currently conducting research on the possibility of using thermoelectric energy. And one of the ways to save energy can be attributed to the use of thermal energy accumulators (heat storage).

At the same time, environmentally friendly energy is energy that, during its production, has a minimal impact on the environment. The fact that energy is ecologically friendly can only be confirmed with the environmental declaration, which is based on a life cycle assessment. Without a life cycle assessment, the claim that a product or service is safe for the environment will be unfounded [2].

Based on previous the purpose of the proposed project is aimed to analyze new energy efficiency technologies using Thermoelectric Energy Converters and electricity economy using thermal energy accumulators based on a life cycle assessment [3].

In turn, the objective of the impact assessment is to determine the main components of pollutants and the level of negative impact of the production, transportation, operation and disposal of thermal modules and heat accumulators on the components of the environment — atmospheric air, surface and underground water bodies, soils and land resources [4].

The scientific novelty of the research is due to the fact that the following results were obtained for the first time in the Russian and foreign practice of the development of thermoelectricity and heat accumulators within the framework of the project:

— developed a methodology for assessing environmental characteristics in the development of new thermoelectric materials and thermal energy accumulators;

— an assessment of the environmental aspects of new materials and technologies has been carried out, allowing to check their safety for the environment [5].

This introduction of energy efficient and energy saving technologies helps to reduce energy consumption and reduce anthropogenic impact on the environment.

**References**

1. Bagdasaryan V.A. // Science and education: new time. Scientific and methodological journal. 2017. №3 (4). P. 33–37.
2. Ilyina M.E., Sennikova G.N. // Collection of materials of the III anniversary international scientific-practical conference «Ecology of regions». 2010. P. 187–190.
3. Trifonova T.A., Ilyina M.E. Life cycle and its assessment as a tool for environmental management. Vladimir. 2016. 66 p.
4. GOST R ISO 14044-2019. Environmental management. Life cycle assessment. Requirements and guidelines. Introduced: 01.01.2020. National Standard of the Russian Federation. 2020.
5. GOST R ISO 14020-2011. Environmental labels and declarations. General principles. Introduced: 01.07.2021. National Standard of the Russian Federation. 2012.

## **Selection of the optimal fuel type for syngas production by the high-temperature co-electrolysis CO<sub>2</sub> and H<sub>2</sub>O**

M.T. Kuznetsov, S. Boldyryev

*Tomsk Polytechnic University, Lenin Ave. 30, Tomsk, 634050, Russia*

Syngas is the main feedstock for methanol and synthetic liquid hydrocarbons production in the modern chemical industry. Reducing the cost of syngas production may significantly decrease the cost of final products. The high-temperature co-electrolysis of CO<sub>2</sub> and H<sub>2</sub>O is a new and promising method of syngas production.

The price of syngas, which is produced by using this technology, mainly depends on the price of electricity and fossil fuel. Thus, optimization of hot utility sources may substantially reduce the cost of synthesis gas, as well as make this technology more cost-effective.

The aim of current research is to select the optimal type of fuel for the syngas production technology mentioned above, reducing the operating cost and carbon footprint.

Flue gases, produced by burning of various fuels (natural gas, liquefied petroleum gases (LPG), coal etc.), are considered as sources of hot utility. Using Pinch approach, it was found that the load on hot utilities varies within the range from 4110 to 4075 kW while exploiting different types of fuel. However, the flow rates change in a wide range from 2.6 to 4.4 thousand tons per year due to their different calorific value, respectively.

While comparing the prices of energy carriers, it can be found that despite the similar flow rate between natural gas and LPG, the cost of the latter is 6.5 times higher, but the cost of coal practically is identical to the price of natural gas that is 260 k\$ per year with a two-fold difference in a flow rate. These flow rates were obtained for optimal heat exchange networks. An explicit tendency could be found towards its decrease from cheaper fuels to more expensive ones while estimating  $\Delta T_{min}$ . Consequently, the high cost of LPG will add significant capital costs which are related to the big heat transfer area.

The smallest carbon footprint is achieved when using the natural gas and optimal configuration of the heat exchanger network; the final emissions equal to 5 ktCO<sub>2</sub>/y. Fuel oil has the largest carbon footprint, which is 9.7 ktCO<sub>2</sub>/y. The carbon footprint of the process that uses LPG and coal is practically the same, despite the significant difference in their heat exchange networks.

Thus, this technology is recommended for regions that have access to natural gas or coal. The use of LPG leads to a significant increase in the price of syngas.

## **Design approaches for photovoltaic thermal collectors with incorporated phase change materials**

Sandro Nižetić, Mišo Jurčević, Duje Čoko

*University of Split, FESB, Rudjera Boskovicica 32, Split, Croatia*

This work reports comprehensive analysis and review of various designs related to the photovoltaic-thermal solar collectors with incorporated phase change material (PVT-PCM collectors). PVT-PCM collectors can produce both electrical and thermal output on the limited surface, however specific design strongly determines electrical and thermal performance of the specific PVT-PCM collector design. This work was mainly focused on the investigations of the experimentally tested solar collector designs in different climates. The various working fluids were also analysed such as water, air or nanofluids. The main characteristics of the usually implemented PCMs in the PVT-PCM collectors were also discussed in detail. The conducted review indicated the importance of the PVT-PCM designs with respect to the overall PVT-PCM solar collector efficiency (electric and thermal), and in general it directed necessity for optimization of the main collector design parameters (such as tube geometry and layout, absorbers, PCM layer, etc.). The economic and environmental evaluation of the PVT-PCM collector designs is weakly discussed in the existing research literature and more serious research work should be conducted in that direction to determine techno-economic and environmental more suitable PVT-PCM collector designs.

## **Fair profit allocation between plants in Total Site Water Integration — Game Theory approach**

Hon Huin Chin, Xuexiu Jia, Petar Sabev Varbanov, Jiří Jaromír Klemeš

*Sustainable Process Integration Laboratory – SPIL, NETME Centre,  
Faculty of Mechanical Engineering, Brno University of Technology – VUT  
Brno, Technická 2896/2, 616 69 Brno, Czech Republic*

### **Abstract**

Designing inter-plant water networks is aimed to minimise freshwater consumption, wastewater discharge or the total annualised cost in the overall system. In order to achieve the optimal design, it requires the collaboration between process plants in the site to facilitate the operation. This study considers the grand coalition with finite players (process plants), who agreed to take part in the Total Site Water Integration. The confidential data and information about the water qualities in different plants are to be shared among the plants. Each plant may sell their water sources to the other plants via centralised water mains, and the other plants have to pay a certain cost to buy the specific water source. The coordination of the resources has to be fixed in a revenue-sharing or cost-sharing contracts between plants. This work aims to apply the cooperative game theory approach to examine the possible coalitions between the plants and estimate the overall system's profits. The ultimate goal is to identify the stable and fair profit distribution among the plants for the overall benefits of the system, specifically using the point solution methods (Shapley, Nucleolus and the tau-value) and the core methods (least core and minimax core method).

**Keywords:** cooperative game theory, process integration, total site water integration, mathematical optimisation, water management.

### **Acknowledgement**

The EU supported project Sustainable Process Integration Laboratory – SPIL funded as project No. CZ.02.1.01/0.0/0.0/15\_003/0000456, by Czech Republic Operational Programme Research and Development, Education, Priority 1: Strengthening capacity for quality research.

## Puffing and micro-explosion in composite droplets

D.V. Antonov

*Tomsk Polytechnic University, Lenin Ave. 30, Tomsk, 634050, Russia*

Micro-explosion effects in composite droplets make it possible to improve integral characteristics of secondary atomization processes in the combustion chamber, increase completeness of fuel combustion, reduce ignition time delay, and diminish anthropogenic emissions [1]. The purpose of this work is experimental and theoretical researches of micro-explosion effects in composite (water/fuel) droplets.

The experimental researches of micro-explosion effects of composite droplets was carried out by varying the temperature of the gaseous medium (473–773 K) [2]. The influence of the gaseous medium temperature and fuel/water concentration on the time delays of droplets fragmentation was investigated. Composite droplets were generated and placed on the holder using Finnpiquette Novus electronic single-channel dispensers (ranges 0.1–50  $\mu\text{l}$  variation step of the generated volume 0.01  $\mu\text{l}$ ). The initial droplet volume in the experiments ranged from 1 to 15  $\mu\text{l}$ . This was in agreement with the range of radius variation  $R_{d0}=0.5\text{--}1.5$  mm. The studied composite droplets were placed on steel holder with a diameter of 0.2 mm, which was introduced into the high-temperature gas flow using a motorized manipulator.

The problem of micro-explosion simulation in composite (water/fuel) droplets was examined with using model for puffing/micro-explosions in water/fuel emulsion droplets [3]. The developed mathematical apparatus can be helpful in developing high-temperature gas-vapour-drop technologies associated with ignition and combustion of liquid and slurry fuels.

*This study was supported by a Scholarship from the Russian Federation President (Project No. SP-447.2021.1).*

### References

1. Sazhin S.S. // Fuel. 2017. T. 196. C. 69–101.
2. Antonov D.V., Piskunov M.V., Strizhak P.A. // Int. J. Therm. Sci. 2019. T. 142. C. 30–41.
3. Nissar Z., Rybdylova O., Sazhin S.S., Heikal M., Aziz A.R. B.A., Ismael M.A. // Int. J. Heat Mass Transfer. 2020. T. 149. 119208.

## **Относительные показатели энергетической утилизации высоковлажных смесей на основе отходов**

К.Ю. Вершинина, Д.С. Романов, В.В. Дорохов

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30*

В энергетической сфере методы многофакторного анализа [1] широко используются как для оценки новых топлив, так и для анализа работы каких-либо установок и станций. Показатели, рассматриваемые различными научными группами, достаточно типичны и могут быть объединены в группы технологических, экономических, экологических и социальных. В данной работе анализ проводился для суспензий [2] на основе воды, угольных шламов, бурого, каменного угля. В качестве добавок применялись такие компоненты как ореховая шелуха, опилки, отработанное турбинное масло, крахмал, неол, ксантановая и гуаровая камеди.

Для расчета показателей эффективности использовался метод взвешенных сумм (weight sum method [1]). Алгоритм метода включал выбор параметров, характеризующих эффективность топлива; нормирование абсолютных значений параметров (относительно значения, которое считалось наилучшим); (в) вычисление показателя эффективности в каждой группе параметров. Рассчитанные показатели могут принимать значения в диапазоне от 0 до 1. Чем выше значение, тем более эффективно топливо по совокупности учитываемых характеристик.

В данной работе выделены следующие категории, характеризующие эффективность использования суспензионного топлива:

1. Стоимость (приоритет — минимальное значение).
2. Энергетические характеристики: удельная теплота сгорания (приоритет — высокое значение); зольность, время задержки зажигания, температура зажигания (приоритет — минимальное значение); температура горения (приоритет — высокое значение).
3. Экологические характеристики: концентрации  $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$  в дымовых газах (приоритет — минимальное значение).
4. Реологические характеристики: вязкость (приоритет — минимальное значение); седиментационная устойчивость (приоритет — максимальное значение).

5. Распыление: числа Вебера и Рейнольдса (приоритет — минимальное значение); радиус капель (приоритет — минимальное значение); угол раскрытия факела (приоритет — максимальное значение).

6. Дробление и фрагментация: время до реализации условий дробления (приоритет — минимальное значение); соотношение площади поверхностей вторичных капель и площади поверхности исходной капли топлива (приоритет — максимальное значение).

Среди изученных топлив, основными компонентами которых являлись угольные шламы и угли разной степени метаморфизма, наиболее перспективными стали смеси из угольных флотационных отходов. Это обусловлено их низкой стоимостью, хорошими показателями стабильности и вязкости, а также приемлемыми энергетическими и экологическими характеристиками. С учетом большой социальной значимости утилизации низкосортного сырья можно сделать вывод о приоритете использования угольных шламов в качестве основы для приготовления топливных суспензий.

Во всех шести группах критериев интегральный показатель варьировался в диапазоне 0.4–0.9. Наименьшие показатели итоговой эффективности (0.239–0.487) типичны для топлива «50 % фильтр-кек Д, 40 % вода, 10 % турбинное масло». Согласно проведенному анализу, наилучшими топливами могут считаться смеси на основе угольного шлама и воды. Их итоговая эффективность варьировалась от 0.447 до 0.727 при задании шести различных вариантов распределения приоритета.

Полученная база данных абсолютных, относительных и интегральных характеристик суспензий различного состава может быть использована для технико-экономического обоснования применения низкосортных топлив в энергетике, проектирования или модернизации участков подготовки, подачи, сжигания топлива, очистки дымовых газов и др.

*Исследование поддержано грантом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, Соглашение №075-15-2020-806 (договор №13.1902.21.0014). Экспериментальное определение экологических показателей горения топлив выполнено при поддержке РФФИ (проект № 18-43-700001).*

#### **Список литературы**

1. Kumar A. et al. // *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2017. Vol. 69. P. 596–609.
2. Nyashina G. et al. // *Fuel Process. Technol.* 2020. Vol. 201. Article number 106334.

## **Анализ компонентного состава газовых продуктов термохимической конверсии биомассы**

Д.О. Глушков, Г.С. Няшина, П.А. Стрижак

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30*

Среди возобновляемых источников энергии одним из наиболее доступных и перспективных принято считать биомассу. Использование биомассы в теплоэнергетике положительно влияет на экологическую обстановку, экономическое развитие сельских районов, внутреннюю энергетическую безопасность ряда регионов мира [1, 2].

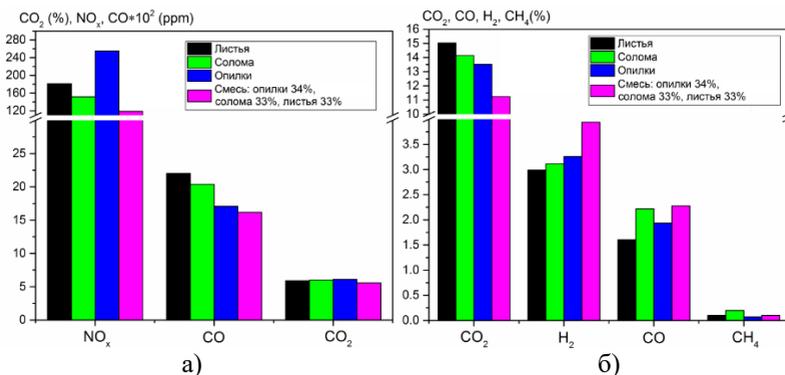
Пиролиз и сжигание являются наиболее распространенными термохимическими способами использования энергии биомассы [1, 2].

В рамках данной работы выполнены экспериментальные исследования процессов сжигания биомассы и пиролиза. В качестве объекта исследования рассматривалась три вида биомассы и смесь на их основе: опилки деревьев сосновых пород; листья (береза, тополь); солома (сено).

Исследования по сжиганию биомассы проводились с использованием экспериментального стенда, подробное описание которого представлено в [3]. Главными элементами стенда являлись горизонтальная трубчатая муфельная печь (максимальная возможная температура 1300 °С), газоанализирующий комплекс (на базе газоанализатора Testo 340), координатный механизм, персональный компьютер и вспомогательное оборудование (весы, дозаторы, держатели и сетки). Пиролиз биомассы и смесей на ее основе осуществлялся с помощью второго стенда, который включал герметичную электрическую печь (диапазон температур 20–700 °С), блок управления (регулятор), газоанализатор Тест 1, компрессор для продувки газовых каналов, персональный компьютер и вспомогательное оборудование.

На рис. 1а представлены результаты выполненных экспериментов при прямом сжигании биомассы в муфельной печи при температуре 700 °С. Установлено, что основными газообразными продуктами сжигания биомассы являются  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$  и  $\text{NO}_x$ , концентрации которых изменяются в диапазонах 5.5–6.1 %, 1618–2200 ppm, 119–254 ppm, соответственно. Минимальными выбросами при этом характеризовалась смесь разных видов биомассы, сжигание которых позволило снизить концентрации  $\text{CO}_2$  до 9 %,  $\text{CO}$  до 26 %. Выбросы оксидов азота для смеси уменьшились в диапазоне 22–53 %. Концентраций  $\text{SO}_2$  в дымовых газах не зарегистрировано. Это связано с низкой концентрацией серы в биомассе.

При термическом разложении (пиролизе) биомассы регистрировались следующие компоненты газовой смеси:  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{NO}$  и  $\text{H}_2\text{S}$  (рис. 16). Диапазоны изменения концентраций газов составили 11.23–15.03 % ( $\text{CO}_2$ ), 1.6–2.28 % ( $\text{CO}$ ), 2.99–3.94 % ( $\text{H}_2$ ), 0.07–0.2 % ( $\text{CH}_4$ ), 10.33–46.74 ppm ( $\text{NO}$ ) и 5.09–10.81 ppm ( $\text{H}_2\text{S}$ ). Как и в случае сжигания, пиролиз смеси оказался эффективнее. Установлено, что за счет комбинации разных типов биомассы можно увеличить выход  $\text{CO}$  до 30 %,  $\text{H}_2$  до 23 %, при этом снизить эмиссию  $\text{CO}_2$  до 25 %,  $\text{NO}$  до 77 % за счет проявления синергетических эффектов при взаимодействии компонентов биомассы и их продуктов пиролиза.



**Рис. 1.** Концентрации компонентов газовой смеси, образующихся при а) сжигании и б) пиролизе биомассы

*Исследования, связанные со сжиганием биомассы, выполнены при поддержке гранта РФФИ (проект № 18-43-700001). Изучение процессов пиролиза биомассы производилось при поддержке гранта РФФИ № 19-53-80019.*

### Список литературы

1. Bhuiyan A.A., Blicblau A.S., Islam A.K.M.S, Naser J. // J. Energy Inst. 2018. Vol. 91. P. 1–18.
2. Sun Z, Chen Z, Toan S, Sun Z. // Energy. Convers. Manag. 2020. Vol. 215. Article number 112913.
3. Akhmetshin M.R., Nyashina G.S., Strizhak P.A. // Fuel. 2020. Vol. 270. Article number 117581.

## **Исследование закономерностей процесса зажигания газовых гидратов при индукционном нагреве**

О.С. Гайдукова<sup>1</sup>, П.А. Стрижак<sup>1</sup>, С.Я. Мисюра<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30*

<sup>2</sup> *Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Лаврентьева, 1*

На сегодняшний день газовые гидраты считаются одним из наиболее перспективных источников энергии [1]. Они представляют собой новый вид чистой энергии и считаются альтернативной энергетикой с огромным потенциальным резервом. Изучение механизма и характеристик процесса горения гидрата метана необходимо для его безопасности хранения и транспортировки, а также для обеспечения высокой эффективности при сжигании [2]. Газовый гидрат практически не образует остатков после сгорания и производит значительно меньше загрязнений, чем традиционные виды топлива, что позволяет использовать его в качестве экологически чистого топлива.

Актуальными являются задачи исследования характеристик, механизма и стадий горения гидратов метана. Благодаря особому составу гидратов метана, процесс сгорания отличается от традиционных твердых и жидких топлив тем, что сжигание гидрата метана представляет многокомпонентный процесс гетерогенного горения. В настоящее время нет надежных теоретических моделей, позволяющих адекватно смоделировать горение, и не изучены ключевые характеристики газового гидрата, которые определяют стабильность горения. Таким образом, целью настоящей работы являлось теоретическое исследование процесса зажигания газового гидрата при индукционном нагреве с учетом группы взаимосвязанных процессов теплопереноса, фазовых превращений и химического реагирования.

Момент начала горения, а также продолжительность горения были определены по визуализации процесса горения с применением высокоскоростной видеокамеры. Процессы зажигания газового гидрата включают явно выраженные стадии плавления частиц, испарения, формирования высокотемпературной парогазовой смеси, газофазного зажигания и последующего выгорания. При этом зарегистрированы процессы перемещения частиц газового гидрата, как вследствие отскока от разогретой поверхности стержня, вскипания воды, выбросов

частиц гидратов и капелек жидкости, так и вследствие формирования конвективных потоков от разогретой поверхности.

На основании результатов экспериментальных исследований разработана физическая и математическая модель инициирования горения (первой стадии этого процесса — зажигания) газового гидрата при кондуктивном нагреве с варьируемой плотностью подведения тепловой энергии. Задачами моделирования процессов зажигания и горения газовых гидратов являлось варьирования параметров процессов в диапазонах, не реализуемых в эксперименте, то есть существенно шире для соответствия группе топливных приложений.

При анализе результатов математического моделирования в широком диапазоне температуры нагретой поверхности можно отметить, что практически не меняющиеся времена задержки зажигания при  $T > 1100$  °С также иллюстрируют большее влияние процессов теплопереноса по сравнению с химическим реагированием. С ростом энергии активации скорость горения значительно уменьшается, что приводит к снижению потока (массового прихода) метана и к снижению скорости горения. В результате, скорость прогрева частицы газового гидрата уменьшается, а время задержки возрастает.

Проведенные эксперименты и математическое моделирование показали, что механизм инициирования горения порошка газового гидрата на нагретой поверхности сохраняется в широком диапазоне температуры. Однако интегральные характеристики процесса инициирования горения могут варьироваться в широком диапазоне вследствие влияния группы рассмотренных факторов. Разработанная модель теплопереноса позволяет воспроизвести разные условия теплообмена топлива с греющей средой за счет варьирования типа граничных условий. Это является одним из ключевых преимуществ при анализе потенциальных условий инициирования горения перспективного топлива — газового гидрата.

Применение разработанной модели позволило установить зависимости ключевой характеристики исследованного процесса — времени задержки зажигания от температуры нагрева в диапазоне, существенно превышающем допустимые в экспериментах и соответствующие перспективным топливным технологиям.

*Исследование поддержано грантом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, Соглашение № 075-15-2020-806 (договор № 13.1902.21.0014).*

#### **Список литературы**

1. Yang M., Sun H., Chen B., Song Y. // Fuel. 2019. Vol. 255. Article number 115637.
2. Ma S., Zheng J.-N., Tian M., Tang D., Yang M. // Fuel. 2020. Vol. 261. Article number 116364.

## **Применение теплонагревательных элементов для повышения тепловых характеристик светопрозрачных ограждающих конструкций**

К.Е. Петров, Е.В. Петров

*Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2*

Повышение комфортности помещений жилых и общественных зданий, особенно в холодный период времени является актуальной задачей на современном этапе, особенно в регионах с недостаточной степенью инсоляции помещений. В связи с этим, возникает повышенный расход тепловой энергии на отопление, в том числе из-за недостаточного уровня тепловой защиты наружных ограждающих конструкций зданий [1]. Наиболее уязвимым элементом, с точки зрения тепловых потерь в зданиях, являются светопрозрачные конструкции [2]. Для решения задачи повышения комфортности помещений и снижения затрат на отопление зданий в зимний период, необходимо повышать тепловые характеристики светопрозрачных ограждений [3]. Улучшение тепловых характеристик светопрозрачных конструкций можно обеспечить путем применения защитных и теплонагревательных пленок [4].

В представленной работе приведены результаты экспериментальных исследований по влиянию теплонагревательных элементов на тепловые характеристики светопрозрачных конструкций с использованием теплонагревательной пленки Heat Plus Standard SPN–305–225, которая имеет технические характеристики, приведенные в таблице 1.

**Таблица 1.** Технические характеристики пленки Heat Plus Standard

<b>Ширина, мм</b>	<b>Толщина, мм</b>	<b>Максимальная мощность, Вт/м.п.</b>	<b>Номинальная мощность, Вт/м<sup>2</sup></b>	<b>Рабочая температура, °С</b>	<b>КПД, %</b>
500	0,338	110	50–150	70–80	92

Основным принципом действия пленки является преобразование электрической энергии в низкотемпературное тепловое излучение, генерируемое углеродными полосами. В результате применения пленки происходит нагрев поверхности остекления светопрозрачной конструкции, которое, в том числе, отдает свое тепло воздуху. При использовании теплонагревательных пленок имеется возможность изменения тепловых характеристик светопрозрачной конструкции с целью снижения тепловых потерь.

**Таблица 2.** Распределение температур по внутренней поверхности остекления с применением теплонагревательных элементов

Номера точек измерения температуры	1	2	3	4	5	6	7	8
Температура поверхности остекления, °С	14,5	22,1	25,0	25,5	24,3	23,7	23,7	23,1

\*Примечание: Точка №1 не находилась в области обогрева.

В качестве объекта исследования была взята конструкция пластикового окна с размерами Н×В, равными 1450×400 мм. Были проведены измерения тепловых характеристик данной конструкции окна по вертикальной плоскости остекления в восьми точках. При проведении экспериментальных исследований по измерению тепловых характеристик остекления применялся измеритель плотности тепловых потоков и температуры ИТП–МГ4.03/Х(У) «Поток». Данные по температуре в каждой точке на поверхности остекления приведены в таблице 2.

Как видно из приведенных данных, применение теплонагревательной пленки позволяет при относительно небольших мощностях на теплонагревательном элементе существенно повысить температуру внутренней поверхности остекления.

На основе представленных данных экспериментальных исследований видно, что применение теплонагревательного элемента в светопрозрачных конструкциях позволяет не только повысить температуру внутренней поверхности остекления, но и снизить тепловые потери через светопрозрачные ограждающие конструкции. Кроме этого, установлено, что при применении электрообогрева обеспечивается более равномерное температурное поле по высоте остекления и выполняется условие комфортности по величине допустимых температур поверхностей остекления.

### Список литературы

1. Гныря А.И., Низовцев М.И., Петров Е.В., Терехов В.И. // Строительные материалы. 2000. № 11. С. 10–12.
2. Петров Е.В. Влияние различных факторов на тепловые характеристики оконных заполнений: Автореферат диссертации на соискание ученой степени канд. техн. наук. Томск. 2000. 22 с.
3. Nizovtsev M.I., Terekhov V.I., Petrov E.V., Gnyrya A.I. // Heat Transfer Research. 2002. Vol. 33, № 5–6. С. 334–341.
4. Петров Е.В. // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Технические науки. Приложение № 12. Проблемы строительства и архитектуры. Часть 1. Новочеркасск. 2006. С. 122–125.

## **Оптимизация теплopotребления здания по адресу пр. Развития, 27**

А.У. Мусинов, А.В. Дегтяренко

*Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, Россия, г. Томск, пл. Соляная, 2*

Важным направлением в области энергоресурсосбережения в системах теплоснабжения зданий является использование систем автоматического погодного регулирования с дистанционным управлением. Большое влияние на теплopotребление оказывает график изменений температур теплоносителя в системе отопления в зависимости от метеоусловий и температурного режима помещений. Создавая оптимальные условия микроклимата помещений в холодный период года и в межсезонья. Для каждого типа зданий он отличается в связи с их конструктивными особенностями (панельные, кирпичные, монолитные и т. д.), этажностью, типом системы отопления, ориентацией по сторонам света, назначением и режимом работы.

Для подбора оптимального температурного графика было проведено исследование на здание Центра новых строительных технологий и материалов ООО «Стройтехинновации ТДСК»: по адресу пр. Развития, 27.

Здание восьмиэтажное, размерами в осях 31,5 м × 15,0 м и общей высотой 23,88 м. Здание — каркасное, с ограждающими конструкциями трёх типов: навесные трехслойные стеновые панели из керамзитобетона толщиной 400 мм, витражная система «СИАЛ» и ограждающая самонесущая многослойная конструкция толщиной 400 мм. Здание оснащено автоматическим регулятором ВЭСТ-02, с использованием программно-аппаратного комплекса с внешним доступом.

При работе в составе системы регулятор контролирует температуру наружного воздуха, температуру воды в подающем и обратном трубопроводах контура отопления, температуру в подающем и циркуляционном трубопроводе ГВС. При регулировании температуры в контуре отопления регулятор одновременно с температурой воды в подающем трубопроводе контролирует и температуру обратной воды, возвращаемой в теплоцентраль, обеспечивая защиту системы от превышения ею заданного значения. По результатам измерений регулятор формирует сигналы управления двумя регулирующими клапанами, один из которых служит для поддержания заданной температуры в контуре отопления, а другой в контуре ГВС. Управление клапанами производится одинаковым широтно-импульсным способом по

независимым пропорционально-интегрально-дифференциальным законам регулирования.

Для исследования было проведено:

— определение фактических теплопотерь здания с помощью установки измерителя плотности тепловых потоков, с определением фактического сопротивления теплопроводности ограждающей конструкции здания [1];

— анализ температур внутри помещений здания при различных температурах теплоносителя в системе отопления здания [2];

— применена возможность перевода системы отопления в специальный режим часовой компенсации, которая позволяет сдвинуть вверх или вниз температурный график. Запрограммированы уставки температуры теплоносителя в подающем трубопроводе отопления с целью сокращения потребления тепловой энергии в периоды, когда это допустимо в выходные дни или в ночное время;

— выполнено программирование управления теплоносителем не только на текущую температуру наружного воздуха, но и на прогнозируемую температуру с помощью выхода контроллера в интернет, и возможность заранее повысить или понизить количество тепловой энергии на подаче в тепловом узле с помощью регулятора, с учетом тепловой инерции ограждающих конструкций (теплоаккумулирующей способности), что позволит при резком повышении или понижении температуры, заблаговременно понизить или повысить подачу тепловой энергии.

В результате мы получаем адаптивный график температур для здания по пр. Развития, 27, который на каждое значение температур наружного воздуха задает оптимальное значение температуры теплоносителя, что необходимо для комфортных параметров внутреннего воздуха, а также снижает затраты на энергопотребление (газа).

### **Список литературы**

1. СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003».
2. ГОСТ 30494-2011 «Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях».

## **Исследование механических свойств твердеющего цементно-песчаного раствора с различным водоцементным отношением в условиях градиента температур**

А.И. Гныря, С.В. Коробков, А.Ю. Абзаев, А.Х. Лабазанов,  
Н.Х. Хамитов, В.С. Николенко

*Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, Россия, г. Томск, пл. Соляная, 2*

При бетонировании несущих конструкций здания в зимнее время градиенты температур оказывают существенное влияние на механизмы твердения бетона [1]. Так как, зимой на строительной площадке период предварительного выдерживания отсутствует, образующиеся после укладки смеси градиенты температуры запускают процесс миграции влаги из более нагретых в охлажденные зоны конструкции. В конечном итоге это ведет к их переувлажнению и дальнейшему ухудшению свойств [2]. Неравномерные температурные поля по всему сечению конструкции могут негативно повлиять на набор прочности бетона [3]. Показатель температурного градиента в большинстве случаев невелик, но активированный им процесс массопереноса способен изменить структуру, пористость, влажность, прочность и другие механические свойства бетона.

В работе приведены результаты исследования прочностных характеристик стержня, состоящего из цементно-песчаного раствора с водоцементным отношением (В/Ц) 0,4;0,44;0,49 и 0,54, твердеющего в условиях градиентов температур. Целью данной работы является экспериментальное изучение влияния градиентов температур на механические свойства твердеющего цементно-песчаного раствора.

В качестве сырьевых материалов при проведении опытных испытаний был использован портландцемент марки ЦЕМ I 42,5Б (г. Топки) и песок Кандинского месторождения (фракция 2,0–2,8 мм). Был сформирован цементно-песчаный стержень в деревянной опалубке размером 70×70×700 мм. Стенки опалубки выполнены из древесины с металлическими пластинками у торцов толщиной 5 мм. Стенки герметичны и изолированы от изменения температуры в поперечном сечении. Внутри стержень-образец разделен на 10 равных частей с помощью тонких водонепроницаемых сеток с целью сохранения массопереноса водного раствора между образцами в условиях градиентов температур и сохранения строго прямоугольной формы перед механическими испытаниями.

Формы с образцами после формования, предварительно выдерживались в течение 4-х часов до начала схватывания при комнатной температуре. После опалубка устанавливается в проектное положение в установку регулируемых температурных градиентов. Одна из металлических пластин — находится под нагревом (+60 °С), другая — входит в рабочий объем морозильной камеры на 7 см, тем самым охлаждается с заданным режимом до -20 °С посредством аппаратно-программного комплекса установки. Подъем температуры до +60 °С осуществлялся в течении 2 часов, после образцы выдерживались 4, 8 и 12 часов, и на протяжении этого времени, каждый час производились измерения температуры образцов. Затем образцы-кубики подвергали механическим испытаниям для определения прочности.

Установлено, что набор прочности образцов для разных точек испытания происходит с разной интенсивностью. В условиях тепло и массопереноса наблюдаются различные показатели прочности по длине образца, что подтверждает теоретические предпосылки. С увеличением водоцементного отношения предел прочности образцов снижается для всех образцов не зависимо от их расположения в стержне.

Таким образом, проведенные исследования показали, что градиенты температур оказывают существенное влияние на твердение цементно-песчаных образцов. Увеличение времени твердения до 8 и 12 часов привело к существенной интенсификации накопления и росту величины прочности образцов начиная с 3-го номера (при выходе из отрицательной зоны температур). При 8 часах твердения наблюдается тенденция к усиленному накоплению прочности, начиная с образцов №5. А с увеличением времени твердения до 12 часов эта тенденция усиливается. Ожидается, что с дальнейшим ростом времени твердения тенденция немоного упрочнения проявится в большей степени. Можно полагать, что немоного упрочнение обусловлено эффектами тепло-массопереноса, и как следствие, ростом термических напряжений и ускоренным формированием новых фаз в процессе гидратации.

### Список литературы

1. Гныря А.И., Абзаев Ю.А., Коробков С.В., Гаусс К.С. Влияние времени и температуры твердения на структурообразование цементного камня // Вестник ТГАСУ. 2018. № 2. С. 171–185.
2. Несветаев, Г.В. Бетоны: учебное пособие. Ростов н/Д: Феникс. 2013. 381 с.
3. Аксенчик К.В. Исследование тепло- и массообмена в бетонных плитах, подвергаемых тепловой обработке // Вестник Череповецкого государственного университета. 2010. № 4. С. 63–67.

## **Advantages of the single-unit apparatus for distilling miscella of vegetable oils**

A.N. Lisitsyn<sup>1</sup>, A.V. Fedorov<sup>2</sup>, S.M. Volkov<sup>1</sup>,  
A.G. Novoselov<sup>2</sup>, A.A. Fedorov<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*All-Russian Research Institute of Fats, Chernyakhovskij str. 10,  
Saint Petersburg, 191119, Russia*

<sup>2</sup>*ITMO University, Kronverksky Pr. 49, bldg. A,  
Saint Petersburg, 197101, Russia*

The process of distilling miscella (a mixture of a low-boiling solvent and vegetable oil) is one of the most energy-consuming areas in the technology of vegetable oil production. This is described in detail in [1]. Modern technologies for the production of vegetable oils are well described in [2]. The efforts of modern researchers are aimed at reducing energy costs by improving the technological parameters and designs of the apparatus used for the distillation of oil miscella [3]. The original technology for producing vegetable oil was developed by the authors [4]. The method of intensifying the distillation of miscella, which is proposed in [5], can be considered promising. Currently, there are two fundamentally different approaches to the implementation of the process of distilling miscella: multiple-unit and single-unit design of apparatus. Previously, we have already written in our work [6] about the advantages of single-unit design of apparatus. Due to the design features of the single-unit installation, it is possible to rationalize the movement of material flows, as well as to increase the number of heat and mass transfer surfaces assigned to the unit volume of the device, thereby increasing the efficiency of their work. In other words, the occupied production area is reduced. The movement of the liquid, in most cases, is organized due to the forces of gravity. External transport pipelines and, accordingly, heat losses in them are almost excluded. With minimal losses, energy resources are reused. Calculations of material and energy balances at all stages were performed to make an objective comparison of the energy efficiency of multiple-unit and single-unit installation for distilling miscella. When calculating the heat transfer, we used some formulas and data from [7, 8]. At the same time, the direct costs of heating and evaporation, fractional and partial condensation of the vapor mixture, pumping of liquid, overcoming hydraulic resistances, and vacuuming were considered as much as possible. The advantage of a single-unit apparatus from the position of effective mass and energy transfer is shown in this work.

**References**

1. O'Brien R.D. *Fats and Oils Formulating and Processing for Applications*. Taylor & Francis. 2009. 766 p.
2. Oswell N.J., Gunstone F.D., Pegg R.B. // *Bailey's Industrial Oil and Fat Products*. 2020. № 7. P. 1–30.
3. Nde D.B., Foncha A.C. // *Processes*. 2020. Vol. 8. № 2. P. 21.
4. Ionescu M., Ungureanu N., Biris SS., Voicu G., Dincă M. // *Conference Paper (TE-RE-RD)*. 2013. P. 167–172.
5. Khabibov F.Yu., Narziyev M.S., Abdullayeva M.A. // *The American Journal of Applied Sciences*. 2020. Vol. 2. № 09-2020. P. 255–262.
6. Fedorov A.V., Markov V.N., Lisitsyn A.N., Chizhik Y.L., Volkov S.M., Fedorov A.A. // *Maslozhirovaya promyshlennost'*. 2014. № 6. P. 14–19.
7. Ali M., Sadek S. // *Free convection heat transfer from the outer surface of vertically oriented helical coils in Glycerol-Water solution*. *Heat and Mass Transfer*. 2018.
8. Saleem M., Hossain M.A., Suvash C. Saha, Gu Y.T. // *Mathematical Problems in Engineering*. 2014. Vol. 2014. P. 141–148.

## **Оптимизация компоновки компрессорной станции по критериям надежности и энергоэффективности**

А.С. Мошников<sup>1</sup>, М.Д. Верницкий<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Национальный исследовательский университет ИТМО, Россия, 197101, Санкт-Петербург, Кронверкский пр., 49*

<sup>2</sup> *РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, Россия, 119991, Москва, Ленинский пр., 65*

Газовая отрасль промышленности, включающая в себя такие сегменты как разведка, добыча, транспортировка, переработка и распределение природного газа, является крупным производственным комплексом и для ее функционирования необходимо значительное количество топливно-энергетических ресурсов. Снижение затрат на энергетические ресурсы и повышение энергоэффективности объектов отрасли является одним из основных направлений развития газовой промышленности. Одним из наиболее энергозатратных технологических процессов в газовой отрасли является компримирование газа на компрессорных станциях, в связи с этим, проблема снижения затрат энергоресурсов в первую очередь должна быть направлена на повышение эффективности работы компрессорных станций, как основных потребителей топливно-энергетических ресурсов. Уменьшение затрат на энергоресурсы на магистральном транспорте газа осуществляется за счет применения энергосберегающих технологий на всех стадиях жизненного цикла основных объектов газопроводов. При решении задач энергосбережения на магистральном транспорте природного газа необходимо учитывать особенности создания и режимов работы основных объектов газотранспортной системы, а также техническое состояние оборудования магистральных газопроводов [1].

Для обеспечения заданной производительности и поддержания проектного давления транспортируемого газа в трубопроводе, по трассе газопровода устанавливаются компрессорные станции (КС). Компрессорные станции должны обеспечить проектную или плановую производительность газопровода путем повышения давления транспортируемого газа при осуществлении следующих основных технологических процессов: очистка от примесей, повышение давления и охлаждения газа. В свою очередь, на КС основным потребителем энергоресурсов являются установки компримирования газа — газоперекачивающие агрегаты (ГПА), поэтому к основным направлениям повышения эффективности работы КС можно отнести: рациональный выбор газоперекачива-

ющего оборудования; повышение эффективности работы основного газоперекачивающего оборудования (увеличение КПД, оперативное регулирование работы ГПА) [2].

В процессе реализации программ по строительству и реконструкции объектов магистрального транспорта природного газа необходимо проводить сравнение эффективности различных вариантов оборудования компрессорной станции, выполняющего аналогичные функции, при заданных условиях эксплуатации [3].

В последнее время при сопоставлении и выборе вариантов наиболее корректным является метод оценки стоимости жизненного цикла. На этапе проектирования компрессорных станций необходимо обеспечить эффективность как на исходных параметрах производительности магистрального газопровода. В работе использованы методики расчета технологического режима работы ГПА и стоимости жизненного цикла газоперекачивающего оборудования. В рамках статьи решается задача выбор оптимального варианта оснащения компрессорной станции газоперекачивающим оборудованием при расчете на проектную производительность.

Для решения задачи формируется математическая модель, учитывающая стоимости жизненного цикла в зависимости от количества ГПА, режимов их работы, вариантов выбора сопутствующего оборудования. Оптимизация проводится при ограничениях по требуемой надежности системы и эффективности. Задача оптимизации решается с использованием программного комплекса MatLab. Рассмотренный подход может быть использован при разработке и обосновании компоновки КС. Приводится способ решения задачи оптимального выбора комплекствующих и режима работы КС.

### **Список литературы**

1. Апостолов А.А., Бикчентай Р.Н., Бойко А.М. и др. Энергосбережение в трубопроводном транспорте газа. Москва: ГУП Издательство «Нефть и газ», РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина. 2000. 176 с.
2. Булыгина Л.В., Ряжских В.И. Методы повышения энергоэффективности компрессорных станций с газотурбинными газоперекачивающими агрегатами на стадии реконструкции // Вестник Воронежского государственного технического университета, 2017. Т. 13. № 2. С. 32–39.
3. Moshnikov A., Bogatyrev V. Risk Reduction Optimization of Process Systems under Cost Constraint Applying Instrumented Safety Measures. Computers. 2020. Vol. 9. 50 p.

## Моделирование начальной стадии твердения портландцемента в условиях градиентов температур

Ю.А. Абзаев, С.В. Коробков, А.И. Гныря

*Томский государственный архитектурно-строительный  
университет, 634003, Россия, г. Томск, пл. Соляная, 2*

В работе проведено 2D-моделирование твердения портландцемента методом конечных элементов в течение 7 дней в условиях градиентов температур от  $+65\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Твердение портландцементов на начальных стадиях относится к мультифизическим задачам взаимосвязи тепловых потоков и структурной механики. Перераспределение тепла в портландцементе на начальных стадиях определяется теплопроводностью с объемным источником тепла к которым относятся химические реакции, обусловленные гидратационными явлениями. Реакция гидратации носит экзотермический характер и приводит к заметному выделению тепла. Диффузия воды через слой гидратов является доминирующим механизмом, определяющим кинетику гидратации. В рамках диффузионных процессов формирование продуктов гидратации в результате химических реакций и массопереноса в цементах может быть описано с помощью степени гидратации, которая связана с массовым дисбалансом гидратированного цемента в момент времени, и которая является мерой тепла, выделившегося в процессе гидратации. В работе степень гидратации описана в рамках модели Wang [1]. В модели учтены гидратационные процессы в инкубационный период, диффузионной стадии, а также стадии затухания интенсивного тепловыделения. Рассмотрено накопление гидратов в результате растворения  $\text{C}_3\text{S}$ ,  $\text{C}_2\text{S}$ ,  $\text{C}_3\text{A}$ . Рассматривался стержень портландцемента, размеры которого были выбраны равными  $7\times 70\text{ см}$ , стержень окружен опалубкой из сосны —  $2\times 70\text{ см}$ . Температура левой грани стержня равна  $+65\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а правой —  $(-20)\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Правая сторона была зафиксирована. Предполагалось, что отсутствует теплообмен деревянной опалубки с окружающей средой. В начальный момент времени температура укладки цементного камня (цемент + вода) была равна  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Численные расчеты распределения температуры, напряжений Мизеса производились при следующих параметрах портландцемента: плотность  $2300\text{ кг/м}^3$ , теплопроводность  $\lambda = 1,8\text{ Вт/(м }^{\circ}\text{C)}$ , удельная теплоемкость  $C = 880\text{ Дж/(кг}\cdot^{\circ}\text{C)}$ , модуль Юнга  $E = 25 \cdot 10^9\text{ Па}$ , коэффициент термического расширения  $10^{-6}\text{ К}^{-1}$ , энергия активации  $E_a = 38\text{ кДж/моль}$ . Для опалубки из сосны: плотность —  $532\text{ кг/м}^3$ , теплопроводность  $1,8\text{ Вт/(м }^{\circ}\text{C)}$ , удельная теплоемкость

2700 Дж/(кг °С), модуль Юнга 12,1 ГПа. Моделирование выявило сложную картину распределения температуры и термических напряжений Мизеса. Показано, что в твердеющем цементном стержне в условиях градиентов температур распределение напряжений оказывается неоднородным. Работа тепловых источников, градиенты температур стимулируют формирование термических напряжений. Модельные расчеты напряжений Мизеса на 2D поверхности. Работа тепловых источников, градиенты температур стимулируют формирование термических напряжений. Модельные расчеты напряжений Мизеса на 2D поверхности получены в разные моменты времени твердения  $\tau = 0,037; 0,5; 1; 2; 4$  и 7 дней. С ростом времени твердения неоднородный характер напряжений, и их уровень возрастает. На границах разделов портландцемента и опалубки наблюдается существенный рост напряжений, в особенности на охлажденной грани, а также в местах фиксации стержня. Подобный характер распределения связан с генерацией потоков тепла, их суперпозицией с отраженными потоками тепла от границ раздела. Суперпозиция отрицательных тепловых потоков генерирует более высокий уровень напряжений на границах раздела, чем потоки в положительной области. Ограждения, фиксация границ раздела являются дополнительными факторами, повышающими уровень напряжений на границах. В работе были получены кривые напряжение-деформация портландцемента указанного состава после 4, 8, 12 часов твердения. Вследствие хрупкого разрушения в качестве оценки прочностных свойств портландцемента был выбран предел текучести. Значения предела текучести усреднялись по трём точкам. Анализ показал, что выполняется с высокой степенью достоверности ( $R \sim 0,98$ ) квадратичная связь между пределом текучести и модельными значениями модуля упругости в исследуемом интервале твердения. Корреляционная связь может быть основой прогноза прочности портландцемента после 28 дней твердения.

#### **Список литературы**

1. Wang X.-Y. Simulation of temperature rises in hardening Portland cement concrete and fly ash blended concrete // Magazine of Concrete Research. 2013. Vol. 65 (15). P. 930–94.

## **Применение итерационного метода расчета для определения оптимальной конфигурации объектов возобновляемой генерации**

Я.Ю. Малькова, Р.А. Уфа, Н.Ю. Рубан

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30*

В настоящее время в мировой электроэнергетике наблюдается тенденция широкого внедрения объектов на основе возобновляемых источников энергии (ВИЭ). Так, в 2020 году суммарная установленная мощность ВИЭ в мире (с учетом гидроэлектростанций) составила около 2500 ГВт [1].

При внедрении в электроэнергетическую систему (ЭЭС) объекты ВИЭ оказывают влияние на ее режимные параметры, в частности, потери и перетоки активной и реактивной мощности, относительный уровень напряжения шин ЭЭС и др. Таким образом, необходимо исследовать характер данного влияния и в соответствии с ним определять оптимальную конфигурацию нового ввода на этапе его проектирования.

Для дальнейшего описания одного из способов оценки влияния объектов ВИЭ на режим работы ЭЭС введем понятие целевой функции. Целевой функцией называется функциональная зависимость контролируемых параметров ЭЭС с учетом их важности, выраженных в виде весовых коэффициентов, от изменения перетоков мощности ввиду внедрения объектов ВИЭ. В качестве параметров целевой функции, в контексте обозначенной задачи, принимают потери активной и реактивной мощности, относительный уровень напряжения шин ЭЭС, капиталовложения и эксплуатационную стоимость, период окупаемости и др. В первом приближении примем в качестве целевой функции потери активной мощности с весовым коэффициентом, равным единице.

Расчет перетоков и потерь активной мощности будем производить в соответствии с итерационным методом [2]. Суть данного метода заключается в выполнении  $n$ -ого числа итераций пересчета перетоков и потерь мощности, падения напряжения на шинах ЭЭС до получения ошибки расчета меньше наперед заданного сколь угодно малого значения. Каждая итерация, в свою очередь, выполняется в два этапа.

Расчет перетоков и потерь мощности с учетом следующего допущения — значение напряжения на всех шинах ЭЭС принимается равным номинальному значению (для исследуемой 15-узловой IEEE схемы, параметры которой приведены в [3], номинальное напряжение составляет 11 кВ);

Пересчет значений напряжения на всех шинах ЭЭС в соответствии с перетоками мощности, найденными на первом этапе.

На этом первая итерация заканчивается. Переходим к первому этапу второй итерации. При расчете вместо номинального значения 11 кВ используем значения напряжения, найденные на втором шаге первой итерации. Расчет ведем до тех пор, пока разность напряжений (ошибка расчета)  $k+1$ -ой и  $k$ -ой итерации не будет меньше наперед заданного значения этой ошибки.

В рамках данной работы определим величину ошибки, получаемую при проведении только первой итерации расчета перетоков и потерь мощности в ЭЭС для определения оптимальной конфигурации объектов ВИЭ, при проектировании ввода последних в ЭЭС, на примере 15-узловой IEEE схемы.

Выполним реализацию представленного метода в программном комплексе MathCAD для исходной схемы (без установки ВИЭ).

Таким образом, ошибка определения потерь активной мощности составила 0,02 %, что свидетельствует о возможности проведения расчета только в одну итерацию для оптимизации времени расчета без потери заданной точности расчета.

На основании проведенного анализа можем заключить, что при решении задачи определения оптимальной конфигурации внедряемого объекта ВИЭ посредством итерационного метода расчета перетоков и потерь мощности на примере 15-узловой IEEE схемы справедливо производить расчет только первой итерации для сокращения расчетного времени без потери наперед заданного сколь угодно малого значения ошибки (точности решения).

*Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования РФ, грант МК-5320.2021.4.*

### **Список литературы**

1. Renewable capacity statistics 2020. IRENA 2020 [Электронный ресурс]. URL: <https://www.irena.org/publications/2020/Mar/Renewable-Capacity-Statistics-2020> (дата обращения: 20.02.2021).
2. Jabari F., Asadi S., and Seyed-barhagh S. A Novel Forward-Backward Sweep Based Optimal DG Placement Approach in Radial Distribution Systems // Optimization of Power System Problems. Methods, Algorithms and MATLAB Codes. 2020. Vol. 262. P. 49–61.
3. Jayamohan M., Bindumol E.K., and Babu C.A. Voltage stability enhancement of radial distribution system by optimal placement of DG and D-STATCOM // International Conference on Recent Trends in Engineering, Science & Technology (ICRTEST 2016). 2018. P. 1–6.

## Эффективность системы электроснабжения с передачей пиковых нагрузок на резервные источники

Т.Ю. Бростилова, А.Ю. Четыркина, С.В. Голобоков,  
Ю.В. Терехина, П.С. Сипягина

*ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет»,  
г. Пенза, ул. Красная, 40*

В радиальной системе электроснабжения действующее напряжение по мере удаления от ТП падает. Выполнить требования ГОСТ по качеству электроэнергии в точках передачи для всех потребителей не просто. Вначале линии напряжение всегда высокое, в конце линии приемники питаются низким или пониженным напряжением. Падение напряжения на ЛЭП зависит от потребляемой мощности, с ростом нагрузок напряжение в точках передачи по всей линии уменьшается, а потери в ЛЭП возрастают.

При работе в пиковом режиме ток максимальный и падение напряжения самое большое. Для энергосистемы это самый тяжелый режим. Расчет ЛЭП выполняется по пиковой нагрузке [1]. В большинстве случаев продолжительность пиковых нагрузок не превышает 1–2 часов в сутки (рис. 1). Величина пика как правило не более 20 % от мощности дневного максимума. Все остальное время мощность нагрузок низкая, ток в линии меньше и увеличенное сечение проводов ЛЭП используется нерационально.

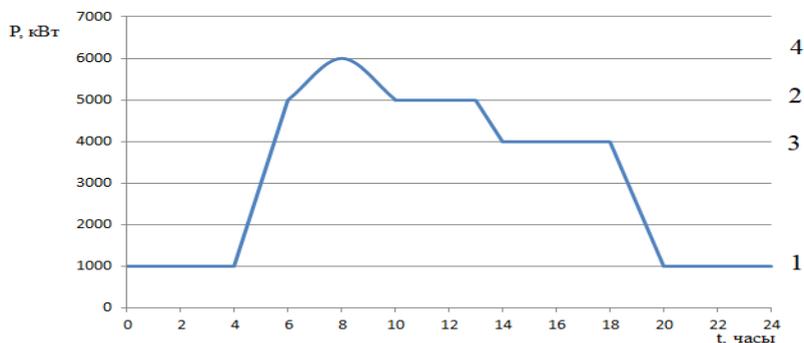


Рис. 1. Суточный график нагрузок энергосистемы

Для повышения энергоэффективности транзита электроэнергии предлагается рассчитывать ЛЭП не по пиковой мощности, а по величине дневного максимума. Как правило, этот период занимает

10–14 часов и большую часть времени ЛЭП будет работать в режиме, близком к расчетному. При этом уменьшится сечение проводов, снизятся капитальные вложения на строительство.

Проблему покрытия пиковых нагрузок можно решить путем использования резервных или аварийных источников, расположенных у потребителей или в коллективном пользовании. В настоящее время эти генераторы простаивают, время их работы не превышает несколько десятков часов в год. Оборудование стареет морально и физически, но свой ресурс не вырабатывает. Использование его в качестве пиковых генераторов позволит ускорить выработку ресурса и планомерно обновлять оборудование.

Максимальный ток воздушной линии 10 кВ для суточного графика без пиков  $I_{n1} = 290$  А, а с пиками нагрузки  $I_{n2} = 347$  А. Тогда относительная разница мощности потерь на транзит в час пик будет 43 %. В нашем случае, продолжительность пиковых нагрузок не превышает 2-х часов в сутки. Суточный транзит в ЛЭП 840 тыс кВт-ч, при норме потерь 5 % потери в ЛЭП составят 24 тыс кВт-ч, снижение потерь составит 860 кВт-ч в сутки или 0,31 %.

Подключение резервных генераторов в середине или в конце линии позволит снизить мощность транзита ЛЭП и повысить напряжение в точках передачи электроэнергии для самых удаленных приемников [2]. Такой подход дает возможность разгрузить существующие ЛЭП. В последние десятилетия начали внедряться объекты генерации на основе ВИЭ — солнечные и ветровые электростанции. Другая тенденция — применение газопоршневых и газотурбинных установок для генерации электрической энергии.

Законодательство РФ разрешает продажу электроэнергии на оптовом рынке всем производителям. Себестоимость электроэнергии резервных источников выше, чем на ТЭС или ГЭС. Но в течение суток цена электроэнергии на балансирующем рынке очень сильно изменяется. Поставка электроэнергии от резервных генераторов в пиковые часы по высокой цене может быть экономически выгодной.

### Список литературы

1. Правила устройства электроустановок. Издание 7. Вестник Госэнергонадзора. Москва: Издательство НЦ ЭНАС, 2019. 540 с.
2. Агеев В.А., Голобоков С.В., Лебедев А.А. Повышение эффективности энергоснабжения малых муниципальных районов. // Материалы Национальной с международным участием научно-практической конференции студентов, аспирантов, учёных и специалистов. 2020. Том 2. Тюмень: Изд-во ТИУ. С. 166–169.

## **Analytical estimation of MSW fuel calorific value**

P. Agakhaniants, P. Barbanel

*ITMO University, Kronverksky Pr. 49, bldg. A,  
Saint Petersburg, 197101, Russia*

### **Relevance**

The problem of the municipal solid waste (MSW) excessive generation exists all over the world and in Russia, in particular. The Ministry of Natural Resources and Environment of the Russian Federation reports that only 16 % of produced MSW was delivered to waste processing plants in 2019. Recycling technologies are used to reduce the amount of landfilled wastes. One of the prospective ways to use the resource and energy potential of MSW is fuel production [1].

Waste derived fuel (RDF, SRF) is produced from classified, grinded and sometimes pelletised waste. Waste derived fuel is classified according to three main criteria: calorific value (economic criteria), chlorine content (technical) and mercury content (environmental) [2]. Calorific value is one of the most important criteria that characterizes waste derived fuel. Experimental methods are currently used to assess the calorific value. Tests are carried out on calorimeters [3]. Laboratory determination of calorific value is labor intensive and expensive.

The heat of combustion depends on the fuel composition, so analytical methods can be used to estimate the calorific value. The analytical methods use either ultimate or morphological composition of MSW samples.

### **Methods**

The purpose of this work is to study an analytical method for assessing energy potential of fuel from MSW. The aim was to calculate the MSW sample's calorific value by means of existing regressions based on waste composition. Seven regressions were taken from investigations conducted in different locations (Russia, Spain, Japan, Malaysia, USA). All these regressions are based on waste composition. The values obtained were compared with the measured value. The MSW sample was collected at the MSW processing plant in the Moscow region. Composition, humidity and calorific value of the sample were measured.

### **Results**

Regressions presented in articles [4, 5] do not show a close fitting to the experimental value; the experimental calorific value was 13.55 MJ/kg, the values according to the presented formulas vary from 6.62 to 10.83 MJ/kg. Based on the results, the most promising regression is selected. Mentioned

regression uses morphological composition, components' calorific values and humidity content [4].

Further search for analytical methods has the aim to identify an equation for reliable estimations. For calculating new regression, the expanded experimental data is needed.

### **References**

1. Budko A.G., Vniim F., Mendeleeva D.I. // Solid household waste. 2015. № 4. P. 38–41.
2. Electronic fund of legal and regulatory technical documentation: GOST 33516-2015 (EN 15359: 2011). Solid recovered fuel. Specifications and classes [viewed December 7, 2020]. Available from: <http://docs.cntd.ru/document/1200126393>.
3. Electronic fund of legal and regulatory technical documentation: GOST 33108-2014 (EN 15400: 2011). Solid recovered fuel. Determination of calorific value [viewed December 7, 2020]. Available from: <http://docs.cntd.ru/document/1200120566>.
4. Ilinykh G.V. // PNRPU vestnik. Urban studies. 2013. № 3. P. 125–137.
5. Kathiravale S., Yunus M.N.M., Sopian K., Samsuddin A.H., Rahman R.A. // Fuel. 2003. Vol. 11. № 9. P. 1119–1125.

## **Experimental studies of the thermal characteristics of an electric thermal storage**

A.V. Khimenko, D.A. Tikhomirov, S.S. Trunov, A.V. Kuzmichev

*Federal State Budgetary Scientific Institution «Federal Scientific Agroengineering Center VIM», Moscow, 1st Institutskiy proezd, 5*

An urgent issue for agriculture, rural settlements, and remote settlements is the use of efficient decentralized heat supply systems. One of the most effective solutions to this problem is the transition to electric heat storage heating systems. The main advantage of such heating systems is that, with their mass introduction, they can act as consumers-load regulators of the Unified Energy System of Russia at night, when there is a significant decline in electricity consumption. Nighttime dips in the load schedule of the power system lead to additional losses in the power grids, overconsumption of fuel at the thermal power plants (TPPs) and combined thermal and power plants (CTPPs) and reducing their efficiency associated with a decrease in the volume of electricity generation at TPPs and CTPPs. The economic incentive for the introduction of heat storage heating systems is the presence of reduced tariffs for electricity consumption in the period from 23.00 to 07.00 (night zone). Electric heat storage heating systems can also be effectively used in combination with power plants based on renewable energy sources (wind-solar stations).

Experimental studies of the thermal characteristics of heat storage elements of electric thermal storage (ETS) of a dynamic type with controlled heat transfer have been carried out.

At the first stage, studies was carried out the thermal characteristics of heat storage elements made of magnesite with slit-shaped air channels measuring 0,19×0,02 m and a total weight of 62,5 kg were studied, and at the second stage — heat storage elements made of chamotte with two round-shaped channels (dch = 0,044 m) and a total weight of 58 kg. Temperatures were measured by primary temperature converters: chromel-alumel (ChA) thermocouples in a ceramic shell and chromel-copel (ChC) thermocouples. In areas with high temperatures, ChA thermocouples were placed in a heat-resistant fabric cover. Thermocouples ChC were used to measure the air temperature at the outlet of the ETS, the surface temperature of the ETS housing and the temperature of the thermal insulation.

As a result of experimental studies were obtained: 1. The temperature change  $T_{wch}$  walls of the air channels of the heat storage elements with slit-shaped and round-shaped channels made of magnesite and chamotte in lower and upper zones in the modes of charging and heat output of ETS. 2. The

temperature change of the heated air  $T_{air\_wch}$  in the channels of heat storage elements with channels of slit-shaped and round-shaped channels made of magnesite and chamotte in lower and upper zones in the modes of charging and heat output of ETS. 3. The temperature change of the thermal insulation  $T_{in}$  in lower and upper zones of ETS. 4. The temperature change on the surface of the body  $T_{w1}$  and the temperature change of the heated air at the outlet of ETS  $T_{outlet}$ .

To increase the heating rate of heat-storage elements made of chamotte, at the second stage of the experiment, metal inserts in the form of steel plates 2 mm thick were used, which were placed between the heat-storage elements. As a result, the values of the air channels wall temperature  $T_{wch}$  at the end of the charging mode of ETS increased by an average of 50 °C compared to the option when steel plates were not used [1].

After carrying out experimental studies, the limiting basic and root-mean-square errors of temperature measurements by thermocouples ChA and ChC in the range from 50 to 650 °C were calculated.

The efficiency of using heat-storage elements made of chamotte with two round-shaped channels in ETS is shown.

### **References**

1. Khimenko A.V. // NTU "KhPI" Bulletin: Power and heat engineering processes and equipment. 2016. № 10 (1182). P. 44–49. doi:10.20998/2078-774X.2016.10.06.

## **Предварительный электроразогрев бетонной смеси как инструмент повышения энергоэффективности производства железобетонных изделий**

М.И. Батюк<sup>1</sup>, А.И. Гныря<sup>2</sup>, В.Я. Ушаков<sup>1</sup>, С.В. Коробков<sup>2</sup>

*<sup>1</sup> Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30*

*<sup>2</sup> Томский государственный архитектурно-строительный университет, Россия, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2*

Тепловая обработка железобетонных изделий (ЖБИ), применяемая для ускорения набора прочности бетона, является неотъемлемым и ответственным технологическим этапом, особенно при работе в условиях со строгими временными ограничениями. На сегодняшний день известно большое количество способов тепловой обработки ЖБИ, основанных на использовании различных видов энергоресурсов и способов подвода тепла. Наиболее распространённым из них является тепловлажностная обработка паром. Объясняется это тем, что вследствие высокого коэффициента отдачи тепла насыщенного пара изделиям ускоряется их прогрев и обеспечивается интенсивное твердение бетона. При прогреве в среде с влажностью близкой к 100 % исключается испарение влаги из бетона и его высушивание. Также следует отметить, что данная технология проста и универсальна. Однако в аспекте энергоэффективности она является несовершенной, что мотивирует производителей ЖБИ искать более экономичные решения. Одним из них является способ тепловой обработки в среде продуктов сгорания газа. Данный способ значительно удешевляет технологический процесс за счёт непосредственной генерации теплоносителя перед камерой тепловой обработки, однако не обладает перечисленными выше преимуществами пара и не обеспечивает требуемого качества конечного продукта.

В качестве альтернативного варианта, способствующего повышению энергоэффективности и обеспечению благоприятных условий твердения, может быть применён предварительный электроразогрев бетонной смеси (ПЭРБС), получивший применение в монолитном строительстве при производстве бетонных работ в зимних условиях. Суть метода заключается в интенсивном введении тепла в смесь до её уплотнения. Смесь разогревается до температуры 70–90 °С за 10–15 мин, укладывается и уплотняется. Применение ПЭРБС позволяет укладывать бетон на мерзлое основание и транспортировать бетонную смесь на дальние расстояния. Введённое в бетонную смесь тепло способствует интенсификации экзотермии цемента и других

физико-химических процессов, благодаря чему в конструкции длительное время поддерживается положительная температура. Именно данный эффект обуславливает целесообразность применения ПЭРБС в заводских технологиях. Объясняется это тем, что технология производства ЖБИ в заводских условиях, как правило, предусматривает положительную температуру в производственном помещении, а также возможность обеспечить более качественную влаго- и теплоизоляцию изделий, как индивидуально, так и с помощью специальных ограждений или камер. Использование всех этих преимуществ дает возможность существенно повысить энергоэффективность технологического процесса, что было подтверждено авторами доклада при апробации ПЭРБС в подобных (заводских) условиях. После укладывания смеси, её уплотнения и изоляции изделия наблюдается незначительное остывание бетона (вследствие теплообмена между жидкой фазой и менее горячим крупным заполнителем), затем температура вновь поднимается до максимальной (иногда даже выше), затем происходит очень медленное остывание, сопоставимое с изотермическим прогревом при традиционных методах. Например, бетон класса В27,5, разогретый до температуры 70 °С, после незначительного понижения температуры и повторного достижения пика, остывал со скоростью не более 1,5 °С / час. Этого более чем достаточно для воспроизведения графика тепловой обработки, схожего с традиционным. При этом затраты энергии на разогрев смеси составили 155 МДж/м<sup>3</sup>, что гораздо ниже традиционных показателей удельного расхода на тепловую обработку ЖБИ (450 МДж/м<sup>3</sup> и более).

Применение ПЭРБС предусматривает работу термического оборудования только на стадии разогрева, практически исключая необходимость использования дополнительного оборудования (вентиляторы, насосы, КИПиА и пр.) на последующих стадиях, что также ведёт к снижению дополнительных эксплуатационных издержек.

## **Direct electric preheating of concrete mixture as energy-efficient approach of accelerated curing**

M.I. Batyuk<sup>1</sup>, A.I. Gnyrya<sup>2</sup>, V.Ya. Ushakov<sup>1</sup>, S.V. Korobkov<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Tomsk Polytechnic University, Lenin Ave. 30, Tomsk, 634050, Russia*

<sup>2</sup> *Tomsk State University of Architecture and Building,  
2 Solyanaya Sq., Tomsk, 634003, Russia*

Thermal curing of precast concrete is inalienable and crucial stage of production, especially in time limit conditions. There are a number of methods of its implementation using different energy carriers and heat transmission ways currently known. Steam curing is the most widespread type of it. The reason for this is that due to high heat transfer ratio from saturated steam to concrete its heating is accelerated and more intensive hardening is provided. When heated in an environment with humidity close to 100 %, moisture evaporation from concrete and its drying are excluded. It should be noted that this technology is simple and versatile. However, steam curing is imperfect in terms of energy efficiency, which motivates manufacturers to search more cost-effective decisions. One of them is curing in gas combustion products environment. This method makes procedure much cheaper due to direct heat carrier generation in close to curing chamber, but lacks the mentioned features of steam using, which has a less favorable effect on the quality of the final product.

Another alternative way to improve energy efficiency and provide more favorable conditions for hardening is using of direct electric preheating of concrete mix (DEPC) applied generally during cold-weather concreting. The essence of the method lies in intensive introduction of heat into the mixture before it is compacted. The mixture is heated to a temperature of 70–90 °C in 10–15 minutes, poured and compacted. DEPC application makes the pouring on frozen surface feasible, allows to transport the mixture for a long distance. The heat introduced in the mixture leads to intensification of cement exotherm and other physicochemical processes. Due to this phenomena the temperature of concrete preserves for a long time. This particular effect is the reason of DEPC feasibility to factory conditions. This is due to the strategy of precast manufacturing generally provides for positive ambient temperature and possibility to provide more qualitative moisture- and heat insulation of product severally, as well as using especial covers or chambers. The use of listed features makes possible to increase energy efficiency significantly, which is confirmed by the authors when approbating DEPC in similar (factory) conditions. After pouring and compacting the mixture and insulating the product there is little colling of concrete (as a result of heat transfer between liquid phase and less heated

aggregates), then temperature rise again to maximal (sometimes even more), then a very slow natural cooling of the structure occurs, which is comparable to isothermal phase with conventional methods. For example, concrete grade B27,5 (according to Russian standard) heated to a temperature of 70 °C, after a slight decrease in temperature and re-reaching the peak, cooled down at a rate of no more than 1,5 °C per hour. This is more than enough to simulate a typical accelerated curing process. In this case, the energy consumption for heating the mixture was 155 MJ/m<sup>3</sup>, which is significantly below than conventional indicators (450 MJ/m<sup>3</sup> and more).

DEPC applying provides for the use of thermal equipment just at the preheating phase, virtually excluded the use of ancillary equipment (fans, pumps, instrumentation and controls) at subsequent stages, which also leads to additional costs reduction.

## **Экспериментальные исследования тепловых характеристик электрического теплового аккумулятора**

А.В. Хименко, Д.А. Тихомиров, С.С. Трунов, А.В. Кузьмичев

*ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ»,  
Москва, 1-й Институтский проезд, 5*

Актуальным вопросом для сельского хозяйства, сельских поселений, а также удаленных населенных пунктов является применение эффективных децентрализованных систем теплоснабжения. Одним из эффективных решений данной проблемы является переход на электротеплоаккумуляционные системы отопления. Основным преимуществом подобных систем отопления является то, что при массовом их внедрении они могут выступать как потребители-регуляторы нагрузки Единой энергетической системы России в ночное время, когда наблюдается существенный спад потребления электроэнергии. Ночные провалы в графике нагрузки энергосистемы приводят к дополнительным потерям в электросетях, перерасходу топлива на ТЭС и ТЭЦ и снижению их КПД, связанных с уменьшением объемов выработки электроэнергии на ТЭС и ТЭЦ. Экономическим стимулом для внедрения теплоаккумуляционных систем отопления является наличие сниженных тарифов на потребление электроэнергии в период с 23.00 до 07.00 (ночная зона). Системы электротеплоаккумуляционного отопления эффективно могут применяться также в сочетании с энергоустановками на базе возобновляемых источников энергии (ветросолнечные станции).

Проведены экспериментальные исследования тепловых характеристик теплоаккумулирующих элементов электрического теплового аккумулятора (ЭТА) динамического типа.

На первом этапе проводились исследования тепловых характеристик теплоаккумулирующих элементов из магнезита с щелевидными воздушными каналами размером  $0,19 \times 0,02$  м и общей массой 62,5 кг, а на втором этапе — теплоаккумулирующих элементов из шамота с двумя каналами круглой формы ( $d_k = 0,044$  м) и общей массой 58 кг. Замеры температур проводились первичными преобразователями температур: термопарами хромель-алюмель (ХА) в керамической оболочке и хромель-копель (ХК). В зонах с высокими температурами термопары ХА укладывались в чехле из термостойкой ткани. Термопары ХК применялись для измерения температуры воздуха на выходе из ЭТА, температуры поверхности корпуса ЭТА и температуры тепловой изоляции.

В результате проведения экспериментальных исследований получено: 1. Изменение температуры  $T_{\text{ск}}$  стенки воздушных каналов теплоаккумулирующих элементов с каналами щелевидной и круглой формы из магнезита и шамота в нижней и верхней зонах в режимах заряда и отдачи теплоты ЭТА; 2. Изменение температуры нагреваемого воздуха  $T_{\text{в,ск}}$  в каналах теплоаккумулирующих элементов с каналами щелевидной и круглой формы из магнезита и шамота в нижней и верхней зонах в режимах заряда и отдачи теплоты ЭТА; 3. Изменение температуры тепловой изоляции  $T_{\text{из}}$  в нижней и верхней зонах ЭТА; 4. Изменение температуры на поверхности корпуса  $T_{\text{с1}}$  и температуры нагретого воздуха на выходе из ЭТА  $T_{\text{вых}}$ .

Для увеличения темпа нагрева теплоаккумулирующих элементов из шамота на втором этапе эксперимента использовались металлические вставки в виде стальных пластин толщиной 2 мм, которые укладывались между теплоаккумулирующими элементами. В результате чего, значения температуры стенки воздушных каналов  $T_{\text{ск}}$  в конце режима заряда ЭТА выросли в среднем на 50 °С по сравнению с вариантом, когда стальные пластины не использовались [1].

После проведения экспериментальных исследований была рассчитана предельная основная и среднеквадратичная погрешности измерений температур термометрами ХА и ХК в диапазоне от 50 до 650 °С.

Показана эффективность применения теплоаккумулирующих элементов из шамота с двумя каналами круглой формы в ЭТА.

### Список литературы

1. Хименко А.В. // Вестник НТУ «ХПИ». Серия: Энергетические и теплотехнические процессы и оборудование. 2016. № 10 (1182). С. 44–49. doi:10.20998/2078-774X.2016.10.06.

## **Evaluation of the efficiency of energy utilization of RDF-fuel obtained from municipal solid waste**

Y.A. Rakhmanov, O.I. Sergienko, A.V. Zabelina, E.A. Kuznetsova

*ITMO University, Kronverksky Pr. 49, bldg. A,  
Saint Petersburg, 197101, Russia*

The use of the energy potential of solid municipal waste (MSW) in our country requires serious consideration, which is confirmed by the Strategy for scientific and technological development of the Russian Federation on the priority "environmentally friendly resource-saving energy, new energy sources" and the Strategy for the development of the industry for the processing and disposal of production and consumption waste for the period until 2030. Even though in the known hierarchy of waste the waste-to-energy process is assigned an insignificant role, in connection with the development of a circular economy, the attitude towards energy production from waste is changing, and it is beginning to be considered as an important supporting process. Interest is also growing in the use of incineration, provided an energy is recovered, gaseous emissions are cleaned, and environmental impacts are reduced [1–9].

The aim of the research is to assess the energy efficiency of using solid municipal waste and RDF fuel based on them on the example of St. Petersburg.

An organizing the separate collection of waste by the population in St. Petersburg, followed by sorting at waste sorting complexes and removing valuable fractions from waste, it is possible to produce RDF-fuel containing non-recyclable polymers, paper, cardboard, textiles, leather, rubber and wood. The combustion of RDF will allow obtaining an additional thermal and electric energy, reducing the consumption of energy fuels, emissions of flue gases, including CO<sub>2</sub>, in the replaced power plants and significantly reduce waste disposal at landfills.

The average morphological and elemental composition of solid municipal waste in St. Petersburg and the typical composition of RDF fuel from MSW, the lower caloric value of which reaches 18.38–26.25 MJ / kg, are given. Based on the data obtained, energy efficiency indicators were determined for the following options for obtaining energy from waste: 1) using an incinerator with a rotary drum kiln, and 2) using layered furnace for burning organic waste as a part of energy complex based on hot water, steam and thermal-oil boilers. For the generation of electrical energy, the use of steam engines and ORC units is considered.

The following indicators were obtained for the considered of waste-to-energy options from sorted MSW and RDF-fuel. With a waste capacity of

1000 kg/h at the incinerator with a rotary drum kiln and a waste-heat boiler the heat utilization coefficient amounts up to 0.7, taking into account gas cleaning, and the fuel saving is up to 2600 t of fuel equivalent. The use of a layered furnace as a part of energy complex with the waste-heat boiler or with power boilers will increase the heat utilization factor to 0.8.

### **References**

1. Tugov A.N. // *Thermal Power*. 2015. Vol. 12. P. 13–22.
2. Tugov A.N. // *Thermal Power*. 2013. Vol. 9. P. 44–47.
3. ITS 9-2015 Thermal waste neutralization (waste incineration) Available at: <https://docs.cntd.ru/document/1200128669> (date of access: 16.01.2021).
4. Tabasová A., Kropáča J., Kermesa V., Nemet A., Stehlík P. // *Impact on environment Energy*. Vol. 1. P. 146–155.
5. Stehlík P. // *Reviews in Chemical Engineering*. 2012. Vol. 4. P. 6–17.
6. Pavlas M., Touš M., Bébar L., Stehlík P. // *Applied Thermal Engineering*. 2010. Vol. 16. P. 2326–2332.
7. Ivanov V.L., Skibin D.A. // *Electrical Engineering, Information Technology, Control Systems*. 2015. Vol. 3 (15). P. 42–59.
8. Rogoff M.J., Screve F. // *Noyes Publishing*. 2011. P. 165.
9. Stehlík P. // *Journal of Cleaner Production*. 2009. Vol. 10. P. 919–931.

## **Analysis of the increase in the efficiency of air-cooled heat exchangers due to the intensification of heat exchange**

D. Artemyev, A. Zaitsev

*ITMO University, Kronverksky Pr. 49, bldg. A,  
Saint Petersburg, 197101, Russia*

**Keywords:** air-cooled heat exchanger, energy efficiency, heat transfer intensification, heat transfer.

**Introduction.** The wide use of air-cooled heat exchangers in comparison with other cooling systems is explained by their simplicity and reliability. The issues of improving the heat transfer processes in such heat exchangers play a huge role in terms of increasing the cooling efficiency. The increase in the heat exchange surface area and the reduction in the size of the heat exchangers allows you to significantly save material and financial resources [1]. There are several basic methods for increasing the heat transfer coefficients of heat carriers in air-cooled heat exchangers, and, accordingly, increasing the heat transfer coefficient [2]. For example, the finning of pipes or the intensification of heat exchange with the help of pipe inserts. Both methods consist in changing the trajectory of a heat transfer fluid and increasing the turbulence of the flow, which leads to an increase in the Reynolds number and the efficiency of heat transfer [3].

**Purpose.** The study is carried out with different types of "low" fins (tubes with individual fins) and "high" fins (tubes with common fins in the form of a single plate), as well as with the use of pipe inserts in order to analyze changes in heat transfer coefficients and flow rates of air and cooled heat transfer fluid, depending on the types of fins and pipe inserts and their geometry. As a result of the analysis, the optimal geometric parameters of the ribs and pipe inserts should be determined.

**Methods and materials.** The application software is the Xchanger Suite program, the Xace module provided by HTRI to ITMO University, and the thermal properties generator VMG Thermo. The type of air-cooled heat exchanger is forced draught air. In the pipe space, the TP22 oil is used as a heat transfer fluid, the thermophysical fluid properties of which are generated using VMG Thermo. Next, different types of fins and pipe inserts are selected to evaluate the changes in various thermodynamic parameters.

**Results.** The result of the study is an optimally selected geometry of heat exchange intensifiers based on the analysis, which allows reducing the dimensions of the air-cooled heat exchanger, while providing the necessary

heat load, the heat exchange surface reserve coefficient and heat transfer coefficients.

**References**

1. V.I. Krutov. *Teplotekhnika // Study Manual*. Moscow: Bauman Moscow State Technical University. 2011. P. 33–35.
2. A. Mutugullina. // *Device and calculation of air cooling devices (ABO) // textbook* I.A. Mutugullina. Bugulma. 2017. 80 p.
3. V.N. Belozertsev, V.V. Biryuk, A.I. Dovgyallo, S.O. Nekrasova, D.A. Uglanov, D.V. Sarmin. *Intensification of heat transfer // Textbook*. Samara: Samara University Publishing House. 2018. 208 p.

## **Physicochemical properties of *n*-alkane nano-sized dispersions**

V.N. Kuryakov

*Oil and Gas Research Institute of RAS, Russia, 119333,  
Moscow, Gubkina str. 3*

Aqueous dispersions of paraffins are used in the production of paper, woodworking, and in the production of particle boards (chipboard). The use of paraffin dispersions as heat carriers (thermofluids) in the form of systems that change their phase state (Phase Change Material, PCM) is considered promising. The use of such materials makes it possible to more efficiently accumulate thermal energy and release heat in a certain temperature range during phase transitions.

Common methods for studying phase behavior of paraffins are adiabatic and differential scanning calorimetry. To study the rotational phases of paraffins, X-ray diffraction methods are used. In this work, the authors propose an original method for determining the temperatures of phase transitions of paraffins (melting, crystallization, and rotator phases), based on optical methods. A feature of this method is that paraffin for research is presented in the form of a nanodispersion in water with a characteristic particle size of about 100 nm.

For a series of *n*-alkanes (from C<sub>19</sub>H<sub>40</sub> to C<sub>42</sub>H<sub>86</sub>), aqueous dispersions were prepared and their physicochemical properties were studied. The temperatures of phase transitions of the studied *n*-alkanes were determined. For some samples, the dependence of the zeta potential of particles in the dispersion on the pH of the medium was measured. The investigated dispersions were subjected to thermal cycles, during which melting and crystallization of the dispersed phase occurred. More than 600 such cycles were carried out without disturbing the stability of the dispersion.

*The work was funded by RFBR, project number 20-08-00984.*

## Моделирование структурных свойств гидратированного тоберморита

Ю.А. Абзаев, С.В. Коробков, А.И. Гныря

*Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, Россия, г. Томск, пл. Соляная, 2*

В работе объектом исследования был модельный тоберморит с водоцементным отношением 0,85, который относится к промежуточным состояниям гидратированного портландцемента. К числу эффективных средств изучения гидратированного тоберморита относится молекулярная динамика (МД), и первопринципное изучение свойств кристаллической решетки. Представляют интерес результаты расчетов термодинамических и механических характеристик. Исследуемой решеткой тоберморита является суперячейка с химической формулой  $\text{Ca}_{10}\text{Si}_{12}\text{H}_{12}\text{O}_{40}$ , пространственной группой P2/m, моноклинным семейством и параметрами решетки  $a = 7,39$ ,  $b = 22,779$ ,  $c = 6,69$  Å и углами 90,0; 123,49 и 90,0 градусов, которая относится к семейству Ричардсона [1], и в которой внедрение молекул воды оказывается символическим. Восстановление молекул воды в решетке тоберморита производилось под разными углами, и в каждом случае оценивалась энергия в рамках МД. Для внедрения молекул  $\text{H}_2\text{O}$  в суперячейку Ричардсона, на заданный угол применялись операции матричной алгебры. Рассматривались матрицы перехода координат молекулы  $\text{H}_2\text{O}$  от начального положения до конечного значения в результате вращения вокруг осей  $x$ ,  $y$ ,  $z$  и последующего внедрения в решетку тоберморита. Суперячейка состояла из 57 атомов с известными координатами. Расчеты проводились в программах Gulp, Lammmps. Атомные потенциалы межатомных взаимодействий для Si, Ca, O, H были взяты из работы [2]. Использовались 2-х (Букингем) и 3-х (гармонический) частичные потенциалы. Использовались также следующие атомные заряды: Ca — 2,0; Si — 4,0; O — (-2); H — 0,4. Была проведена геометрическая оптимизация методом Ньютона-Равсона, оценка упругих модулей. После достижения финальной конфигурации с энергией (-1925,89) эВ были рассчитаны объемный модуль упругости (B); модуль сдвига (S); модуль Юнга (E), рассчитаны также отношения Пуассона в различных плоскостях. Параметры финальной суперячейки оказались равными:  $a = 6,991$ ,  $b = 7,796$ ,  $c = 51,818$  Å с углами 90,77; 102,10 и 90,26 градусов. Результаты расчетов механических характеристик тоберморита оказались равными:  $B = 11,404$ ; 22,934; 17,169 ГПа,  $S = 17,169$ ; 30,390; 18,755 ГПа,  $E = 13,217$  ГПа в рамках моделей Reuss, Voigt, Hill, которые соответствовали конфигурации  $\text{H}_2\text{O}$  с углом в 4 градуса.

Суперячейка тоберморита с конфигурацией  $\text{H}_2\text{O}$  под углом в 80 градусов также является наиболее стабильной. Первопринципные расчеты [3] позволили оценить упругие модули:  $B = 18,65$  ГПа,  $S = 12,77$  ГПа, с которыми удовлетворительно согласуются данные МД.

#### **Список литературы**

1. Richardson I.G. The nature of the hydration products in hardened cement pastes // *Cement and Concrete Composites*. 2000. Vol. 22. P. 97–113.
2. Subramani V.J. Potential Applications of Nanotechnology for improved performance of Cement based materials. MSCE-thesis. Department of Civil Engineering, University of Arkansas. 2008.
3. Isayev O., Oses C., Toher C., Gossett E., Curtarolo S., Tropsha A. Universal fragment descriptors for predicting properties of inorganic crystals // *Nature communications*. 2016. Vol. 8 (1). P. 1–12.

## Numerical simulation of processes in the latent-heat thermal energy storage tank

R.O. Faizullin, V.Y. Zakharova, A.V. Baranenko

*ITMO University, Kronverksky Pr. 49, bldg. A,  
Saint Petersburg, 197101, Russia*

In the near future, a significant increase in the number of air conditioning systems and an increase in their total electricity consumption are predicted [1]. The use of latent-heat thermal energy storage (LHTES) in these systems will reduce the peak load on equipment. This will enable to establish systems of lower power and reduce energy costs in the presence of a double tariff rate [2].

For the creation and effective operation of the LHTES, it is necessary to calculate the key parameters of the system, like the charging-discharging time and the power of the storage. Because of the high nonlinearity of thermophysical parameters of phase change materials (PCM), such a calculation presents a complex computational problem for CFD programs [3]. An alternative is to calculate using simplified mathematical models. This calculation significantly requires fewer computing resources, time and does not require the purchase of expensive licenses.

This article proposes a computer model for numerical calculations of heat fluxes in packed bed of capsules with PCM. A mathematical model of heat transfer in the capsule is based on finding a zero-dimensional solution of the Stefan problem with the influence of convective flows arising in the liquid phase. In Stefan's approach, the location of the mobile interface between the solid and liquid phases is unknown. To account for convective heat transfer in the liquid phase, the effective coefficient of thermal conductivity is calculated [4].

To describe the conditions of heat transfer between the coolant and the wall of the capsule, an experimental dependence was used [5]. The calculation is reduced to obtaining the temperature of the coolant after passing one layer of the packed bed. The resulting temperature represents an input parameter for calculating the subsequent layer. This operation is rehearsed until the calculation is made for all layers of the packed bed.

The numerical calculation was carried out in the mathematical software Scilab. The results of calculating the temperature of the coolant after passing through the LHTES according to the proposed model are in good agreement with the experimental data for LHTES with spherical capsules filled with paraffin.

*This work was supported by the ITMO University under the project “Improving the efficiency of energy systems by using thermal energy storage batteries” (620150).*

### **References**

1. International Energy Agency. World Energy Outlook. IEA Publications. 2019. 807 p.
2. Li M., Cao Q., Pan H., Wang X., Lin Z. // Applied Thermal Engineering. 2021. Vol. 188. 116615.
3. Wang Z.I., Zhang H., Dou B., Zhang G., Wu W. // Applied Thermal Engineering. 2019. Vol. 162. 114151.
4. Zakharova V.Y., Kuznetsov P.A., Baranenko A.V., Faizullin R.O. // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 826. 012040.
5. Yankaus R.I., Survila V.Y. // VANT. Series: Atomic-hydrogen energy and technology. 1985. Vol. 1. № 20. P. 25–26.

## **Анализ методов утилизации теплоты очистных сооружений с помощью тепловых насосов**

Е.Т. Петров, А.А. Круглов

*Национальный исследовательский университет ИТМО,  
Россия, 197101, Санкт-Петербург, Кронверкский пр., 49*

Настоящая работа посвящена разработке и численному анализу системы утилизации теплоты потоков воды в отстойниках очистных сооружений с использованием транскритических циклов тепловых насосов на диоксиде углерода. Сформировано методическое положение по конструированию и расчету теплообменников для утилизации тепла.

В работе приводятся результаты разработки и численного анализа характеристик системы утилизации теплоты воды в очистных сооружениях с помощью тепловых насосов, работающих на диоксиде углерода в транскритическом диапазоне давлений.

Учитывая особенности изменения свойств диоксида углерода в околокритической зоне, предлагается схема и алгоритм оптимального изменения параметров цикла теплового насоса, обеспечивающего эффективное согласование требуемого теплоснабжения и характеристик теплового насоса. Система сбора теплоты базируется на использовании насосно-циркуляционной схемы, позволяющей объединить в единую разветвленную систему как потребители тепловой энергии различного уровня, так и источники тепла.

В качестве источников тепла рассматривались отстойники очистных сооружений с температурой воды  $+12\text{ }^{\circ}\text{C}$ , температура кипения диоксида углерода в трубах теплообменника-утилизатора тепла принималась равной  $+8\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Материал труб — нержавеющая сталь.

Насосно-циркуляционная схема с незначительной кратностью циркуляции (3–4) обеспечивает при минимальных габаритах оборудования не только равномерное распределение хладагента по трубам теплообменника, но и высокую эффективность теплообмена [1, 2].

Потребление тепла реализуется на 2-х этапах ( $120\text{--}80\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $80\text{--}40\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), граничные условия могут регулироваться в зависимости от нагрузки и параметров окружающей среды. Согласование характеристик источников тепла, регенеративного теплообменника, компрессора и системы теплоснабжения обеспечивается за счет изменения параметров холодильного цикла и производительности компрессора (частотное регулирование + ВРА). Использование указанных способов регулирования позволяет поддерживать высокую эффективность при переменных условиях эксплуатации [3].

Одним из основных факторов, влияющих на снижение эффективности применения тепловых насосов, является отсутствие разработок по системам сбора, подготовки и утилизации теплоты потоков, имеющих различные температуры. Предлагаемое техническое решение обеспечивает возможность утилизации теплоты в активной зоне отстойников. Предлагается коллекторная схема теплообменника, обеспечивающая равномерность распределения потоков  $\text{CO}_2$ , незначительные гидравлические потери при высокой эффективности теплообмена.

Количество секций при фиксированном диаметре труб 16 мм определяется исходя из рациональных соотношений между эффективностью теплосъема и гидравлическим сопротивлением. Расстояние между трубами  $s/d = 3,5$ , устранение вибраций и прогиба осуществляется за счет установки в трех сечениях опорных решеток и несущих профилей для подъема теплообменника из воды. Чистка предполагается как по месту с помощью пневмогидравлических струйных аппаратов, так и при подъеме из воды с помощью траверсы.

### **Заключение**

1. Использование холодильных транскритических циклов на  $\text{CO}_2$  позволяет минимизировать массогабаритные и эксплуатационные показатели системы. Средства регулирования компрессоров обеспечивают высокий уровень к.п.д.

2. Насосно-циркуляционные контуры с кратностью циркуляции  $n = 3-4$  обеспечивают как равномерность распределения хладагента по трубам, так и высокую эффективность теплообмена.

3. Разработана конструкция теплообменника, позволяющая обеспечивать эффективность утилизации тепла за счет периодической очистки теплообменной поверхности.

### **Список литературы**

1. Филаткин В.Н. Сборник задач по конвективному теплообмену в средах без фазовых переходов. СПб.: СПбГАХИТ. 1995. 66 с.
2. Альтшуль А.Д. Гидравлические сопротивления. 2-е издание. Москва: Недра. 1982. 224 с.
3. Петров Е.Т., Паршин В. // Альманах научных работ молодых учёных Университета ИТМО. 2020. Т. 1. С. 199–203.

## **Обеспечение надежности теплоснабжения активного потребителя на основе выбора оптимального соотношения мощности собственного источника тепловой энергии и параметров надежности элементов теплоснабжающих систем**

И.В. Постников

*Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева СО РАН, 664033,  
г. Иркутск, ул. Лермонтова, 130*

Задача исследования формулируется как разработка методического обеспечения анализа и оптимизации надежности теплоснабжения активных потребителей (АП, англ. — prosumer) теплоснабжающих систем (ТСС) с учетом их дополнительного функционального резерва, обеспечиваемого собственными источниками тепловой энергии (ИТ). Некоторые теоретические и практические вопросы применения технологии АП в ТСС рассматриваются в работах [1–3]. Методическая постановка проблемы заключается в определении оптимального соотношения значений параметров надежности элементов ТСС и производительности ИТ АП, которые обеспечивают требуемый уровень надежности теплоснабжения потребителей при минимальных затратах на надежность системы и эксплуатацию распределенных источников АП в рамках допустимых значений параметров и условий задачи. Предложена математическая модель для решения поставленной задачи оптимизации надежности теплоснабжения АП с учетом функционирования его собственных ИТ. Методология решения основана на использовании математических методов оптимизации, теории надежности, аппарата марковских случайных процессов, моделей теории гидравлических цепей (ТГЦ).

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-08-00488 А.*

### **Список литературы**

1. Brange L., Englund J., Lauenburg P. Prosumers in district heating networks — A Swedish case study. Applied Energy 2016. Vol. 164. P. 492–500.
2. Brand L., Calvén A., Englund J., et al. Smart district heating networks — A simulation study of prosumers' impact on technical parameters in distribution networks. Applied Energy 2014. Vol. 129. P. 39–48.
3. Postnikov I. Methods for optimization of time redundancy of prosumer in district heating systems. Energy Reports 2020. Vol. 6 (2). P. 214–220.

## **Reliability ensuring of heating to prosumer based on searching the optimal ratio of its own heating source capacity and reliability parameters of district heating systems components**

I.V. Postnikov

*Melentiev Energy Systems Institute of SB RAS, Irkutsk, 664033,  
Lermontov str., 130, Russia*

The problem is formulated as the development of methodological support for the analysis and optimization of the reliability of heating to prosumers of district heating systems (DHS), taking into account the additional functional redundancy provided by its own heating sources (HS). Some theoretical and practical issues of prosumer technology application in district heating are considered in [1–3]. The methodical formulation of the problem is determining the optimal ratio of the values of reliability parameters of DHS components and the HS capacity of prosumer, providing the required level of heating reliability with minimal costs for the system reliability supporting and the operation of prosumer HS under the admissible values of the parameters and conditions. A mathematical model is proposed for solving the problem of optimizing the reliability of heating to prosumer taking into account the functioning of its own HS. The methodology is based on the use of mathematical optimization methods, reliability theory, markov random processes, theory of hydraulic circuits (THC).

*The reported study was funded by RFBR, project number 20-08-00488 A.*

### **References**

1. Brange L., Englund J., Lauenburg P. Prosumers in district heating networks — A Swedish case study. *Applied Energy*. 2016. Vol. 164. P. 492–500.
2. Brand L., Calvén A., Englund J., et al. Smart district heating networks — A simulation study of prosumers’ impact on technical parameters in distribution networks. *Applied Energy*. 2014. Vol. 129. P. 39–48.
3. Postnikov I. Methods for optimization of time redundancy of prosumer in district heating systems. *Energy Reports*. 2020. Vol. 6(2). P. 214–220.

## Определение оптимальных зон действия централизованных источников теплоснабжения

Е.Е. Медникова, И.В. Постников

*Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева СО РАН, 664033,  
г. Иркутск, ул. Лермонтова, 130*

Эффективность решений по расширению теплоснабжающих систем (ТСС) оценивается по критерию радиуса эффективного теплоснабжения (РЭТ), который представляет собой расстояние от источника тепловой энергии (ИТ) до узла, за которым подключение новых потребителей экономически нецелесообразно [1–4]. Поиск оптимального РЭТ является важной задачей проектирования и развития ТСС. Рассматриваемая проблема сформулирована как определение максимального РЭТ для каждого ИТ по всем направлениям тепломагистралей тепловой сети при минимальной себестоимости производства и распределения тепловой энергии в ТСС с учетом требований к надежности теплоснабжения потребителей. Разработана методика определения РЭТ в ТСС с учетом обеспечения надежного теплоснабжения потребителей. Поиск РЭТ для различных тепломагистралей от рассматриваемого централизованного ИТ в ТСС определяет зоны его действия в различных районах города. При этом дополнительно к основной задаче поиска РЭТ производится оценка узловых показателей надежности для каждого потребителя, на основе которых корректируются (при необходимости) полученные решения по РЭТ. На основе разработанной методики определения РЭТ проведены практические исследования на действующей схеме ТСС города.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-08-00488 А.*

### Список литературы

1. Stennikov V., Mednikova E. Analysis of Trends in the Development of Cities' Heat Supply Systems. Thermal Engineering. 2016. Vol. 63(9). P. 657–665.
2. Папушкин В.Н. Радиус теплоснабжения. Хорошо забытое старое. Новости теплоснабжения. 2010. №9. С. 44–49.
3. Stennikov V., Iakimets E. Optimal planning of heat supply systems in urban areas. Energy. 2016. Vol. 110. P. 157–165.
4. Stennikov V., Mednikova E., Postnikov I., Penkovskii A. Optimization of the effective heat supply radius for the district heating systems. Environmental and Climate Technologies. 2019. Vol. 23 (2). P. 207–221.

## **Determining of the optimal areas for heat supply of district heating sources**

E.E. Mednikova, I.V. Postnikov

*Melentiev Energy Systems Institute of SB RAS, Irkutsk, 664033,  
Lermontov str., 130, Russia*

The efficiency of solutions for development of district heating systems (DHS) is assessed by the effective heating radius (EHR), which is the distance from the district heating source (HS) to the some node, behind which it is economically unprofitable to connect of new consumers [1–4]. The search for the optimal EHR is the one of the main problem for the design and development of DHS. Methods for determining the EHR for DHS are developed, taking into account ensuring of reliability of heat supply to consumers. EHR is such a length (distance) of a heat network from a district HS to a consumer, within which the district heat supply of a given consumer is economically more profitable than a distributed (autonomic) one. Thus, the search for EHR for different transmission heat pipelines connected to the considered HS determines of its operation zones in different districts of the city. In addition, to the main problem of the EHR search, the assessment of nodal reliability indices for each consumer is carried out, on the basis of which the obtained EHR solutions are corrected (if necessary). As a result, we can determine the zones of district heating in DHS, within the framework of which not only energy and economically effective, but also reliable heat supply to consumers is provided. The developed methodical ensuring was used in the development of an optimal heat supply scheme for the actual DHS of city.

*The reported study was funded by RFBR, project number 20-08-00488 A.*

### **References**

1. Stennikov V., Mednikova E. Analysis of Trends in the Development of Cities' Heat Supply Systems. *Thermal Engineering*. 2016. Vol. 63(9). P. 657–665.
2. Papushkin V. Heat supply radius. The well-forgotten old. *News of heat supply*. 2010. Vol. 9. P. 44–49. (in Russian).
3. Stennikov V., Iakimetc E. Optimal planning of heat supply systems in urban areas. *Energy*. 2016. Vol. 110. P. 157–165.
4. Stennikov V., Mednikova E., Postnikov I., Penkovskii A. Optimization of the effective heat supply radius for the district heating systems. *Environmental and Climate Technologies*. 2019. Vol. 23(2). P. 207–221.

## **Section 2**

Environmentally-Friendly Energy  
Conversion and Supply

## **Секция 2**

Экоэнергетика

## **Optimizing cross-regional thermal energy and hot water sharing with using P-Graph tools**

S.A. Tsubulskiy, M.T. Kuznetsov, S.V. Romanenko, S.A. Boldyryev

*Tomsk Polytechnic University, Lenin Ave. 30, Tomsk, 634050, Russia*

The Russian Federation has a large territory, which is located in different climatic and zones. There are settlements, which are situated at a considerable distance from each other, in remote areas, given the shortage of basic vital natural resources, such as water, food, and energy. Such regions are located in the Far North, the total area of which is 70 % of the entire territory of Russia. These regions are characterized by low population density, lack of fertile soils, inaccessibility of water sources and minerals. 8 % of the country's population live and work in these conditions. An important issue for the people of these regions with harsh living conditions is to find practical solutions to the problems of supply of the population and industry with the necessary resources. This paper discusses the issue of optimizing the distribution of heat energy and hot water from the supplier to consumers in a decentralized heat supply using P-Graph tools [1].

The P-Graph software makes it possible to evaluate and compare many options for providing consumers with energy resources and water, taking into account characteristics of the required final product, conditions of remoteness from stations, etc. With the help of P-graph methodology, it is possible to optimize the diagram of supplying energy, water sources to the consumer, minimizing operating costs and negative environmental impact [2].

Two search algorithms were selected to optimize the diagram structure, which determines the less costly options with the most significant profit when supplying consumers with resources, taking into account the harmful effects on the environment. A separate item specifies emission of carbon oxides, CO<sub>2</sub> and SO<sub>2</sub> the sulfur oxides into the atmosphere. Taking into account the environmental impact in the search for the optimal structure of the resource allocation scheme from sources to consumers allows for a comprehensive assessment of all types of costs at each stage: extraction, transformation, delivery of the final resource to the consumer. In this paper, the diagram of the distribution of heat energy and hot water flows on the example of sources and consumers of the Tomsk district of the Tomsk region is considered. The structure consists of thermal power plants and individual boiler plants burning coal, natural gas, fuel oil, timber products, etc., and consumers, such as residential sector, communal services and industrial sectors. As a result of the calculation, the most optimal structure for the generation

and distribution of flows of heat energy and hot water from sources to consumers was selected, taking into account savings and minimization of negative environmental impact.

**References**

1. Éles A. Heckl I. Cabezas H. // Modeling technique in the P-Graph framework for operating units with flexible input ratios. *Central European Journal of Operations Research*. 2020. Vol. 29. P. 463–489.
2. Cabezas H., Heckl, I., Bertok B., Friedler F. // Use the P-graph framework to design supply chains for sustainability. *Chemical Engineering Progress*. 2015. Vol. 111(1). P. 41–47.

## **The complex mobile independent power station for the power supply of the facilities, located in recreational areas**

A.A. Tunik, M.Y. Tolstoy, D.I. Stom, E.M. Popova

*Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia*

For energy supply and sewage treatment of villages in the countryside, cottage settlements and even separate buildings it is necessary to build additional energy and sewage treatment plants, with associated complex design work. In most cases, after deterioration or obsolescence of these stations, it is necessary to carry out major repairs and reconstruction or conservation, followed by the construction of new stations. It is also impossible to move them with reusing in case of a decrease in the number of subscribers of these stations. Not to mention the fact that the use of traditional energy often has environmental consequences. This is especially concerns the recreational areas, like The Baikal Nature Territory in the Irkutsk Oblast.

In the result of our research a complex mobile independent power stations was developed, which will allow to solve the above problems.

This station contains renewable energy equipment [1–20] for producing heat and electric energy. Besides there are a wastewater treatment plant, which allows expanding the functionality of the station.

Previously, studies on the heating capacity of the installation and its possibilities for wastewater treatment were carried out and presented [21–25]. The next stage of research is estimation of the electricity power produced by the mobile station, both for own needs and for the needs of the end user. Solar panels and microbial-fuel cells [26] are used as the main power generators in the station. It is planned to use a diesel generator set as a backup electricity source.

### **References**

1. Tsvetkov N.A., Krivoshein U.O., Tolstykh A.V., Khutornoi A.N., Boldyryev S. // *Energy*. 2020. Vol. 210.
2. Tsvetkov N.A., Krivoshein Y.O., Khutornoi A.N., Boldyryev S., Petrova A.V. // *Chemical Engineering Transactions*. 2020. Vol. 81. P. 943–948.
3. Romine M.F., Rodionov D.A., Maezato Y., Osterman A.L., Nelson W.C. // *The ISME*. 2017. J. 1434. P. 46.
4. Stal L.J., Bolhuis H., Cretoiu M.S. // *Modern Topics in the Phototrophic Prokaryotes*. 2017. P. 295–318.
5. Gholizadeh M., Farzi A. // *Journal of Solar Energy Research*. 2020. Vol. 5. Issue 4. P. 560–567.

6. Giovannetti F., Föste S., Ehrmann N., Rockendorf G. // *Energy Procedia*. Vol. 30. P. 106–115.
7. Kalogirou S.A. // *Progr. in En. and Com. Sc.* № 30. Issue 3. Vol. 65. P. 231–295.
8. Tene H.P., Tetang F.A., Edoun M., Kuitche A. // *Indian Journal of Science and Technology*. 2019. Vol. 12 (38). P. 9.
9. Karim M.A., Perez E., Amin Z.M. // *Renewable Energy*. 2014. Vol. 67. P. 192–201.
10. Jacobson M.Z., Delucchi M.A. // *Energy Policy*. 2011. Vol. 16. № 39. P. 1154–1169.
11. Hoekman S.K., Broch A., Robbins C., Ceniceros E., Natarajan M. // *Ren. and Sus. En. Rev.* 2012. Vol. 27. № 16. Issue 1. P. 143–169.
12. Bajpai P., Dash V. // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2012. Issue. 5. Vol. 16. P. 2926–2939.
13. Chatzitakisa P., Dawoud B. // *Renewable Energy*. 2017. № 110. P. 47–58.
14. Kalogirou S.A. // *Progress in Energy and Combustion Science*. 2004. № 30. Issue 3. P. 231–295.
15. Connolly D., Lund H., Mathiesen B.V., Pican E., Leahy M. // *Renewable Energy*. 2012. № 43. P. 47–60.
16. Mohtasham J. // *Energy Procedia*. 2015. Volume. 74. P. 1289–1297.
17. Garlet T.B., Ribeiro J.L.D., Savian F.S., Siluk J.C.M. // *Solar Energy*. 2020. Vol. 211. P. 396–411.
18. Tam K.T., Pita M., Ornatska M., Katz E. // *Bioelectrochemistry*. 2009. Vol. 76. P. 4–9.
19. El-Eskandarany M.S., Al-Salem S.M., Ali N., Banyan M., Al-Ajmi F., Al-Duweesh A. // *Scientific Reports*. 2020. Vol. 10. P. 18.
20. Armstrong R., Wolfram C., de Jong K. et al // *Natural Energy*. Vol. 1.
21. Tunik A.A., Tolstoy M.Y. // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020. Vol. 880. P. 7.
22. Tunik A.A., Tolstoy M.Y., Kalashnikov M.P. // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2020. Vol. 408. P. 7.
23. Gogina E., Shmal'ko V., Tolstoy M. // *Ecology and Industry of Russia*. 2018. Vol. 22 (7). P. 11–15.
24. Tolstoy M.Y., Belookaya N.V., Popova E.M., Tolstoy V.M. // *In the digest: YAKOVLEVSKIE CHENIYA reports digest of XII International Scientific and Technical Conference dedicated to the memory of S.V. Yakovlev an academician of Russian Academy of Sciences. Moscow State University of Civil Engineering*. 2017. P. 157–166.

25. Belookaya N.V., Popov V.S., Popova E.M., Tolstoy V.M., Tolstoy M.Y. // Construction and industrial safety. 2018. № 12 (64). P. 91–97.
26. Gorbunova Y.O., Tsyrenov V.Z., Zhdanova G.O., Stom D.I., Chroni M.E., Tolstoy M.Y., Ryabchikova I.A., Fialkov V.A., Kupchinskiy A.B., Goel S. // Series «Biology. Ecology» of «The Bulletin of Irkutsk State University». 2018. № 24. P. 16–24.

## **Математическая модель горения капли композиционного топлива на основе промышленных и коммунальных отходов**

Д.В. Антонов, М.И. Глотов, Д.О. Глушков, К.К. Паушкина

*Национальный исследовательский Томский политехнический  
университет, Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30*

В настоящее время одной из основных мировых экологических проблем является загрязнение окружающей среды промышленными и коммунальными отходами, в том числе горючими. Только в России на полигонах хранится более 94 Гтонн отходов. Их относительно высокий энергетический потенциал, а также необходимость снижения загрузки полигонов и улучшения экологической обстановки характеризуют перспективы утилизации отходов путем сжигания в составе композиционных жидких топлив (смесь мелкодисперсного угля, воды, отработанных индустриальных масел, измельченных твердых коммунальных отходов). Перспективным направлением развития промышленной теплоэнергетики является замена твердых натуральных топлив на более доступные и дешевые композиционные жидкие топлива, газообразные продукты сгорания которых представляют меньшую экологическую опасность (за счет протекания химических реакций в полувосстановительной среде) по сравнению с дымовыми газами при сжигании сухого угля.

Применение на практике композиционных топлив требует разработки группы составов с прогнозируемыми характеристиками процессов зажигания и горения. Научное обоснование перспективного компонентного состава топлива на основании результатов экспериментальных исследований представляет длительный и трудоемкий процесс. Разработка математической модели горения таких топлив позволит интенсифицировать исследования и разработки в области экоэнергетики. Поэтому целью настоящей работы является разработка на основании результатов экспериментальных исследований [1–5] математической модели горения одиночной капли композиционного жидкого топлива в разогретом до высоких температур воздушном потоке.

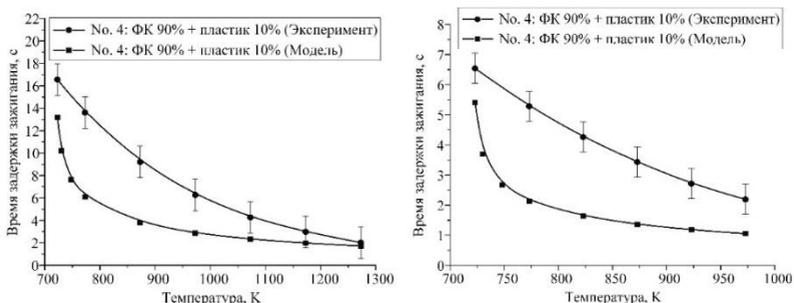
В рамках разработанной в среде программирования ANSYS FLUENT (ANSYS Inc., США) математической модели, описывающей процессы сушки, пиролиза, газификации и горения, выполнено исследование влияния группы факторов (компонентный состав капли и газовой среды; температура и скорость газовой среды; начальный размер капли) на изменение температуры капли при нагревании и характеристики процессов зажигания и горения топлива в условиях,

соответствующих условиям протекания процессов при сжигании топлива в топках котлов. Верификация разработанной математической модели и результатов численного моделирования выполнена путем оценки консервативности используемой разностной схемы и сравнения с экспериментальными данными.

Для оценки возможности моделирования рассчитаны времена задержки зажигания капли (начальный диаметр  $d_p=1$  мм) каждого из 5 топливных составов в неподвижном потоке воздуха при варьировании его температуры в диапазоне 450–1000 °С (723–1273 К) и в потоке разогретого до температур 450–700 °С (723–973 К) воздуха (рис. 1).

$$V_g \approx 0$$

$$V_g \approx 3 \text{ м/с}$$



**Рис. 1.** Зависимости времен задержки зажигания от температуры разогретой газовой среды для неподвижной ( $V_g \approx 0$ ) и движущейся ( $V_g \approx 3 \text{ м/с}$ ) частицы: сравнение экспериментальных данных [1, 2] с результатами моделирования на примере состава КЖТ No. 4 (ФК 90 % + пластик 10 %)

*Исследование выполнено при поддержке гранта РФФИ № 18-43-700001 p\_a.*

### Список литературы

1. Glushkov D.O., Paushkina K.K., Shabardin D.P., Strizhak P.A. // J. Clean. Prod. 2018. Vol. 201. P. 1029–1042.
2. Glushkov D.O., Feoktistov D.V., Kuznetsov G.V., Batishcheva K.A., Kudelova T., Paushkina K.K. // Fuel. 2020. Vol. 265. Article number 116915.
3. Glushkov D.O., Paushkina K.K., Shabardin D.P., Strizhak P.A., Gutareva N.Y. // J. Environ. Manage. 2019. Vol. 231. P. 896–904.
4. Glushkov D.O., Paushkina K.K., Shabardin D.P. // Chemosphere. 2020. Vol. 240. Article number 124892.
5. Glushkov D.O., Kuznetsov G.V., Paushkina K.K., Shabardin D.P. // Energies. 2018. Vol. 11. Article number 2534.

## **Использование твердых бытовых отходов в качестве топлива в сфере жилищно-коммунального хозяйства**

И.А. Лёсин, С.В. Голобоков, Т.Ю. Бростилова, Д.А. Буйнов

*Пензенский государственный университет, г. Пенза, ул. Красная, 40*

**Аннотация.** В работе рассматривается технологическая схема и комплект оборудования для переработки твердых бытовых отходов в газовое топливо. Приводятся расчеты технико-экономических показателей.

**Ключевые слова:** твердые бытовые отходы, переработка и утилизация мусора, газовое топливо, высокотемпературный пиролиз, синтез-газ.

Одним из эффективных способов получения энергии в будущем может стать использование в качестве топлива твердых бытовых отходов (ТБО). Преимущество бытовых отходов заключается в том, что их не надо искать или добывать, они входят в сферу жизни человека и накапливаются. С другой стороны объемы ТБО создают угрозу окружающей среде, причем их утилизация требует денежных средств. Рациональный подход позволяет не только получить дешевую энергию, но и избежать лишних затрат [1].

ТБО в Российской Федерации, представляют собой грубую механическую смесь самых разнообразных материалов и гниющих продуктов, отличающихся по физическим, химическим и механическим свойствам и размерам. Поэтому применить опыт, накопленный в Европе к решению проблемы утилизации огромных объемов ТБО, накапливающихся годами на многочисленных свалках — это весьма непростая задача.

Часть отходов — бумага, дерево, пластик, пищевые отходы, пластмассы по своей структуре являются углеводородами и теоретически могут использоваться в качестве топлива. Для получения горючих компонентов требуется организовать сортировку. В разных регионах доля органических отходов колеблется от 30 до 47 % от общего объема ТБО. Однако по своим свойствам ТБО являются топливом плохим, с низкой теплотворной способностью. К тому же при сжигании на свалках выделяются токсичные компоненты, и происходит загрязнение водного и воздушного бассейнов [2].

Технологии по сжиганию твердых бытовых отходов не обеспечивают обезвреживания диоксинов на твердом несгораемом остатке, а

также на летучей золе в отходящих газах. В процессе газификации происходит окисления углеродсодержащего сырья, в результате чего получаем — генераторный газ и продукты полукokesования.

Пиролиз является универсальной технологией и позволяет перерабатывать выбросы опасных органических объектов, медицинские и пищевые отходы, проводится при температурах до 2000 °С. Разложение углеводородных цепей происходит за счет энергии электрической дуги.

В большинстве полигонов ТБО и стихийных свалок накоплены огромные запасы ТБО, которые перед захоронением не сортировались и не обрабатывались. Причем часть легкоразлагающихся отходов уже улетучилась, остались высокомолекулярные соединения, трудно поддающиеся переработке. В этом случае в полной мере используются преимущества высокотемпературного пиролиза, который позволит проводить глубокую переработку ТБО, в том числе и такие компоненты как пластиковые бутылки и автомобильные шины.

Использование сгораемых компонентов промышленных и ТБО в качестве топлива представляется актуальным и перспективным проектом. Вторичное использование ТБО благоприятно влияют на экологическую обстановку в мире. В будущем нехватка традиционных энерго-ресурсов сказывается на стабильности рынков углеводородов. Важно начать развивать нетрадиционные источники энергии, чтобы постепенно заменять долю рынка углеводородного топлива [3].

### **Список литературы**

1. Пурим В.Р. Твердые бытовые отходы — топливо для ТЭЦ малой мощности [Текст] / В.Р. Пурим, А.Н. Тугов. Москва: Аква-Терм, 2001. № 2. С. 91–93.
2. Левин Б.И. Термические методы обезвреживания и энергетического использования твердых бытовых отходов [Текст]: Учебное пособие / Б.И. Левин, А.С. Матросов. Москва: Университет Российской академии образования, 1999. 64 с.
3. Агафонов А.И. Повышение энергоэффективности переработки бытовых и промышленных отходов / А.И. Агафонов, А.Б. Дыранов, С.В. Голобоков, И.Ш. Ачиллов // Труды XVI Международного симпозиума «Энергоресурсо-эффективность и энергосбережение» 15–17 марта 2016 г. Казань, 2016.

## Применение объектов распределенной генерации для электроснабжения промышленного предприятия

К.А. Степанова

*Пензенский государственный университет, г. Пенза, ул. Красная, 40*

**Аннотация.** Распределенная генерация энергии (РГЭ) на сегодняшний день является перспективным направлением в энергетике. В статье обозначены возможности применения распределенной генерации для электроснабжения промышленного предприятия, обозначены существенные достоинства РГЭ для промышленности.

**Ключевые слова:** электроэнергетика, распределенная генерация, газопоршневая установка, инновации, энергоэффективность, экология.

Одним из перспективных направлений развития энергетики в мире и в нашей стране является переход, от централизованного энергоснабжения к распределенной генерации [1–5]. В последнее десятилетие это направление начало интенсивно развиваться и в нашей стране. Основными причинами перехода энергоснабжения от «большой» к «малой» энергетики являются:

1. Высокие тарифы на тепловую и электрическую энергию для предприятий промышленности, строительства, транспорта.
2. Высокие тарифы на технологические присоединения.
3. Значительные выбросы вредных веществ крупными электростанциями, работающими на угле и мазуте.
4. Ужесточение требований природоохранного законодательства
5. Высокий процент износа генерирующего оборудования и сетевого хозяйства.
6. Значительные потери тепловой и электрической энергии при транзите на большие расстояния.
7. Снижение надежности централизованного энергоснабжения потребителей при авариях и стихийных бедствиях.

### Список литературы

1. С.В. Голобоков. Распределенная генерация электрической энергии в Пензенской области / Голобоков С.В., Бростилова Т.Ю., Агеева Ю.О., Степанова К.А. Энергоэффективные и ресурсосберегающие технологии и системы // материалы Международной научно-практической конференции. Издательство: Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва. Саранск. 2019. С. 195–202.

2. H.B. Puttgen, P.R. Macgregor, F.C. Lambert. Distributed generation: Semantic hype or the dawn of a new era? // IEEE Power Energy Mag. Vol. 1. No. 1. P. 22–29. Jan. 2003. Government of Alberta: Agriculture and Rural Development, "Biogas (methane) overview", Website, Sep. 2008. URL: [http://www1.agric.gov.ab.ca/\\$department/deptdocs.nsf/all/afi11109](http://www1.agric.gov.ab.ca/$department/deptdocs.nsf/all/afi11109) (дата обращения: 29.04.2009).
3. Ерошенко С.А., Карпенко А.А., Кокин С.Е., Паздерин А. В. Научные проблемы распределенной генерации // Известия ВУЗов. Проблемы энергетики. 2010. №11–12. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/nauchnye-problemy-raspredelennoy-generatsii> (дата обращения: 12.12.2020).
4. Голобоков С.В., Скиба И.А., Лапин Р.Д. Внедрение автономной электростанции в систему энергоснабжения Пензенского государственного университета "Энерго-ресурсоэффективность в интересах устойчивого развития". Сборник научных трудов международной научной конференции. Томск, 12–16 ноября 2018. Томский национальный исследовательский политехнический университет. Изд-во. ТНИПУ, 2018. 417 с.
5. Попова С.Н., Потехина Н.В. Перспективы и ограничения развития распределенной энергетики на электроэнергетическом рынке России // Общество: политика, экономика, право. 2016. №12. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/perspektivy-i-ogranicheniya-razvitiya-raspredelennoy-energetiki-na-elektroenergeticheskom-rynke-rossii> (дата обращения: 12.12.2020).

## **Адаптивная система коммутации панелей солнечных электростанций**

А.А. Дивненко, С.В. Голобоков, Т.Ю. Бростилова,  
А.А. Лебединцев, В.А. Агеев

*Пензенский государственный университет, г. Пенза, ул. Красная, 40*

Мировая тенденция развития энергетики предполагает уход от традиционной углеводородной энергетики и увеличение доли генерации электрической энергии на основе возобновляемых источников энергии (ВИЭ). Важная роль в концепции современной электроэнергетики отводится солнечным электростанциям (СЭС). Развитие новых материалов и технологии производства фотоэлектрических преобразователей позволило существенно снизить стоимость солнечных панелей и сделать СЭС конкурентоспособными на рынке электроэнергетики.

Материалом фотоэлектрических ячеек является кремний с легированием различными элементами. Собственная проводимость кремния очень сильно зависит от температуры. Для большинства применяемых материалов предельной температурой считается 90 °С. Солнечные панели боятся перегрева. Кроме того при высокой температуре возникает явление лавинного пробоя или появление токового канала, которое сопровождается выгоранием ячейки.

Подключение инвертора в качестве нагрузки солнечной панели приводит к тому, что ток, отдаваемый панелями, меняется по синусоидальному закону с частотой сети. Это приводит к неравномерному нагреву солнечных панелей и опасности перегрева и выхода из строя отдельных панелей.

При жесткой коммутации панелей выход из строя или пробой любой панели приводит к остановке всего генератора. Для исключения такой ситуации ограничивают ток всех панелей и мощность генерации. При этом часть панелей будут недогружены и СЭС выдает мощность меньше, чем позволяют характеристики панелей. С этой целью предлагается построить адаптивную коммутацию панелей в группы. При увеличении нагрузки система увеличивает число параллельно включенных цепей и ток через отдельные панели не превышает номинального.

Увеличение температуры панелей также будет отслеживаться системой управления и перегретые панели будут временно отключаться. Коммутация панелей в группы позволит формировать несколько уровней опорного напряжения, необходимого для получения переменного напряжения. В этом случае отпадает необходимость высокочастотного

трансформаторного инвертора, поскольку заданные пороги напряжения будет формировать система адаптивной коммутации.

Повышение эффективности использования солнечных панелей можно получить, если к выводам солнечных панелей подключается низковольтная нагрузка постоянного тока. Это могут быть системы светодиодного освещения, гальванические ванны, сварочные аппараты и пр. Очень эффективно применение электролизных станций для получения водорода. Это перспективные технологии аккумулирования электрической энергии через промежуточный энергоноситель.

Адаптивная коммутация позволит одновременно выдавать мощность на разном напряжении в инверторы и в шины постоянного тока, произвольно меняя мощность в зависимости от текущей ситуации. Гальванические устройства при этом выступают в качестве балансирующей нагрузки, поддерживают максимальную мощность СЭС и тем самым повышают эффективность использования генерирующего оборудования.

## Комплексное исследование эффективности производства древесных гранул

В.К. Любов, А.Н. Попов, П.Д. Алексеев

*Северный (Арктический) федеральный университет  
имени М.В. Ломоносова, 163002, Россия, г. Архангельск,  
наб. Северной Двины, 17*

Возобновляемые источники энергии, важнейшим из которых является энергия, аккумулированная в растительности, могут сыграть существенную роль в решении энергетических и экологических проблем. В индустриально развитых странах для уменьшения воздействия «парниковых» газов на климат планеты активно поощряется замена ископаемых топлив биотопливом. Однако побочные продукты заготовки, обработки и переработки древесины ввиду их высокой влажности, низкой энергетической плотности и крайне неоднородного гранулометрического состава относятся к трудносжигаемым топливам. Перспективным направлением облагораживания отходов переработки биомассы является их гранулирование, которое позволяет в 2,5–3,5 раза увеличить их удельную теплоту сгорания, и в 3–4 раза их транспортабельные характеристики. С начала XXI века данное направление интенсивно развивается и в России, потенциальные энергетические возможности которой в области биоэнергетики, как и в случае ископаемых углеводородов, превосходят таковые любой страны мира. Для обеспечения максимально эффективного производства древесных гранул было проведено комплексное энергетическое обследование пеллетного завода, оснащенного одной линией гранулирования побочных продуктов лесопильного производства. Исследована эффективность работы линии сушки с теплогенератором, использующим кородревесное топливо, и их воздействие на окружающую среду. Изучено изменение теплотехнических характеристик и фракционного состава древесного материала в процессе гранулирования. Определены затраты электроэнергии для основного и вспомогательного оборудования каждого производственного участка.

Выполненные исследования показали, что эффективность работы сушильной установки определяется температурой газов на входе, чем выше данная температура, тем меньше расход топлива и затраты электроэнергии на производство 1 тонны древесных гранул. Однако повышение температуры сушильного агента увеличивает пожароопасность установки. Учитывая, что в барабанных сушилках реализована прямая точная схема сушки, компромиссным решением являются режимы работы установки с температурой сушильного агента до 400 °С,

которые позволят при приемлемых удельных затратах топлива и электроэнергии обеспечить пожаробезопасность установки.

Определяющее влияние на экологические показатели линии гранулирования оказывает эффективность работы теплогенератора. Конструктивные особенности теплогенератора позволили обеспечить низкие значения потерь тепла с механической неполнотой сгорания и эмиссий оксидов азота. Однако не оптимальный воздушный режим работы теплогенератора, отсутствие в полном объеме средств контроля теплового и воздушного режима, приводят к повышенной генерации угарного газа, существенным потерям тепла с химическим недожогом топлива и повышенным затратам электроэнергии на тягу.

Большие значения потери тепла в окружающую среду для теплогенератора с искрогасителем и газоходами вызваны «полуоткрытой» компоновкой данного производственного участка, а также отсутствием тепловой изоляции на газоходах, температура газов в которых составляла 255–353 °С. Данные факты вызывают снижение естественной тяги дымовой трубы, ухудшение условий рассеивания отработанных газов, увеличивают затраты электроэнергии на тягу и снижают жизненный цикл оборудования.

Удельный расход условного топлива на выработку 1 т гранул при проведении балансовых опытов изменялся в диапазоне 218.9–272.1 кг у.т. С увеличением температуры сушильного агента и производительности установки его величина снижается. Средний удельный расход электроэнергии на производство 1 тонны гранул при температуре наружного воздуха минус 9–10 °С составил 262.7 кВт·ч.

Результаты исследования гранулометрического состава пыли, уловленной в рукавных фильтрах линий пневмотранспорта: древесного сырья, измельченного в молотковой дробилке сухого дробления; охлаждения готовых гранул; несгранулированного сырья, показали, что она имеет полидисперсный, тонкофракционный состав и относится к IV группе взрывоопасности, при этом критерии взрываемости имеют очень высокие значения (9.389–9.401). При эксплуатации оборудования завода необходимо обеспечить условия, исключающие возможность ее возгорания и взрывов. Кроме этого, данная древесная пыль оказывает негативное влияние на органы дыхания человека. Выполненные исследования показали, что имеются значительные резервы для снижения расхода энергии на выработку единицы продукции.

## **Reorganization of industrial territories in the context of urban development**

E. Taubert, A. Pavlova

*ITMO University, Kronverksky Pr. 49, bldg. A,  
Saint Petersburg, 197101, Russia*

The area of St. Petersburg is about 144,000 hectares, of which industrial areas occupy 24% of urban land. The historical center of the city is surrounded by the so-called "gray belt", which is a zone of industrial enterprises that are unsuitable for further use for their intended purpose and that have come to an emergency condition [1, 2]. It was formed in the following way: enterprises were moved to the outskirts of the city, and when the development of the residential zone within the "belt" became impossible, urban development continued beyond its borders. This type of industrial development is typical for most large cities over 200 years old. Many foreign cities and towns of Russia, to varying degrees, have faced the problem of reorganizing such territories. St. Petersburg continues to develop and accept new residents, but it needs an urgent transition from extensive growth to building a model of sustainable urbanization and improving the quality of infrastructure.

The purpose of this work is to provide research results that consider the effectiveness of methods for reorganizing industrial areas in urban development on the example of one of the buildings of this "gray belt" and its transformation into a public urban "green" zone. The investigated object is the main gas-holder of the "Society of Capital Lighting" and it is located in the Moscow district of St. Petersburg. Since 2001, the gas-holder has been under federal cultural site control. Since March 2019, it has hosted Planetarium №1 — the largest private, commercial planetarium not only in the country, but worldwide.

The weak point of the Planetarium №1 building is the slight thermal insulation of the outer overlays, which is a consequence of the significant energy consumption for heating and cooling the premises. At the same time, the procedure for changing the structures of the building is difficult, since it is an object of federal cultural heritage.

The proposal to improve the quality of the renovation of the gas-holder is a roof extensive greening. Extensive greening doesn't imply a significant weight on the roof, due to the thickness of all six layers of the green roof (anti-root film; moisture-accumulating mat; reinforcing drainage element; substrate; anti-erosion jute mesh; sedum vegetation layer) [4]. Thickness of selected layers will not exceed 400 mm, they are made from recycled materials and certified by ETA Green Roofs.

The advantages of roof greening Planetarium №1 are as follows:

- additional thermal insulation of the building and electricity costs decrease;
- protection of the roof from the destructive effects of the urban environment;
- reducing the load on storm sewers;
- aesthetically pleasing, due to the vegetation layer is selected not only based on resistance to the climate of St. Petersburg and growing conditions on the roof, but also on flowering throughout the spring and summer seasons;
- collecting and filtering storm and melt water — "gray water" — for its reusing;
- fulfillment of 11 out of 53 possible criteria of BREEAM International Non-Domestic Refurbishment 2015 in 7 out of 9 possible areas (the most important criteria will be related to Ene ("Energy"), Hea ("Health and well-being"), Mat ("Materials")) [3];
- compensatory greening of urban space and the creation of recreational zone;
- attracting investors and additional advertising (important point for commercial projects).

The calculation by mythologies [5, 6, 8] showed that roof greening of the gas-holder would reduce the annual heat loss of the building by 24.3%. The average index of reducing the energy consumption of a building for roof gardening, adopted in the EU countries, is about 15% [7].

### **References**

1. Passport of industrial zones of St. Petersburg. 5th edition. 2017. 46 p. [Electronic resource]. Access mode: [https://cipit.gov.spb.ru/media/uploads/userfiles/2017/04/13/passport\\_ru\\_s.pdf](https://cipit.gov.spb.ru/media/uploads/userfiles/2017/04/13/passport_ru_s.pdf) (date of access: 18.09.2020).
2. Government of St. Petersburg. Committee for Urban Planning and Architecture. General plan of St. Petersburg [Electronic resource]. Access mode: <http://kgainfo.spb.ru/zakon/generalplan/> (date of access: 18.10.2020).
3. BREEAM International Non-Domestic Refurbishment 2015. Non-domestic buildings. Technical manual. SD225 1.2 [Electronic resource]. Access mode: [https://www.breeam.com/internationalRFO2015/content/resources/output/rfrb\\_pdf\\_screen/sd225\\_rfo\\_int\\_2015\\_scr.pdf](https://www.breeam.com/internationalRFO2015/content/resources/output/rfrb_pdf_screen/sd225_rfo_int_2015_scr.pdf) (date accessed: 10.10.2020).
4. Russian State Standard 58875-2020 "Landscaped and maintained roofs of buildings and structures. Technical and environmental requirements".

- Date of introduction 09/27/2020 [Electronic resource]. Access mode: <http://docs.cntd.ru/document/1200173462> (date of access: 05.11.2020).
5. Regional methodological documents 23-16-2019 St. Petersburg “Recommendations for ensuring the energy efficiency of residential and public buildings” [Electronic resource]. Access mode: <http://docs.cntd.ru/document/1200102227> (date accessed: 10.10.2020).
  6. Code of Laws 50.13330.2012 “Thermal performance of the buildings” Date of introduction 07/01/2013 [Electronic resource]. Access mode: <http://docs.cntd.ru/document/1200095525> (date accessed: 08.10.2020).
  7. G.M. Badin, S.A. Sychev, G.D. Makaridze. Construction and reconstruction technologies of energy efficient buildings / SPb: BHV-Petersburg. 2017. 464 p.
  8. A.I. Kopylova, A.K. Bogomolova, D.V. Nemova. Energy efficiency of a building using green roof technology Construction of Unique Buildings and Structures. 2016. №10 (49). P. 20–34.

## **Математическое моделирование потока солнечной радиации, приходящей на коллектор**

В.А. Хорева, С.Л. Елистратов

*Новосибирский государственный технический университет, Россия,  
630073, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20*

Для определения потенциала выработки солнечной энергии часто используют карты ресурсов солнечной энергии. Эти карты создаются на основе спутниковых снимков и интерполяции данных наземных метеорологических станций, которые часто сильно удалены друг от друга, а их данные не всегда точны. Данные на картах не всегда имеют высокое качество и достаточный масштаб, чтобы быть надежной опорой для принятия решения по установке солнечного коллектора. Ошибка в выборе места расположения или угла наклона солнечного коллектора может привести к существенному уменьшению энергии солнечного излучения, падающей на коллектор.

Точные и надежные данные о приходящей на коллектор энергии позволяют создать базу данных производительности солнечных станций в разных географических и природно-климатических условиях. Существующие способы расчёта не являются универсальными, так как итоговое значение мощности солнечного излучения в некоторых способах не зависит от высоты установки солнечного коллектора над уровнем моря; не учитывается конечная высота атмосферы; расчет можно проводить только для зенитных углов до  $75^\circ$ ; зависимость мощности солнечного излучения, приходящей на поверхность Земли, от высоты установки коллектора является линейной, что не имеет под собой физического обоснования [1–6].

Цель работы — создание уточненной методики расчета потока солнечной радиации, приходящей на приёмник, (приемник — плоскость, воспринимающую солнечную радиацию), для решения практических задач по выработке электрической и тепловой энергии с учетом основных факторов:

- плотности атмосферы;
- пути прохождения через атмосферу;
- особенностей расположения приёмника;
- географического положения приемника.

В работе представлен принципиально новый метод расчета значения потока солнечной радиации, приходящей на солнечный коллектор. Предлагается рассчитывать приходящий на коллектор поток солнечной радиации как функцию от плотности атмосферы и длины пути солнечных лучей в атмосфере. Плотность рассчитывается по

уравнению Менделеева-Клапейрона, а длина путей солнечных лучей в атмосфере меняется в каждый момент времени в зависимости от положения Солнца. Результатом проделанной работы является расчетная программа, которая может использоваться для расчета солнечного коллектора на любой широте и высоте над уровнем моря.

Программа позволяет:

- рассчитать количество солнечной радиации, приходящей на солнечный коллектор, установленный под любым углом к потоку солнечного излучения;
- оценить эффективность его установки в любом регионе;
- рассчитать мощность солнечного коллектора в любой день или за определенный период времени на любой высоте над уровнем моря, для любого угла наклона коллектора и азимута;
- выбрать наиболее оптимальный угол наклона солнечного коллектора.

Для верификации расчетной модели будут проведены экспериментальные исследования на стенде Международного учебного центра НГТУ, включающего вакуумный солнечный коллектор, теплоизолированный бак-аккумулятор объемом 950 литров, систему теплого пола и современные конвекторы отопления с энергосберегающими насосными группами. Предлагаемая методика может служить основой эксергетического анализа солнечных коллекторов, так как получаемое в результате расчетов значение солнечной радиации на перпендикулярную потоку поверхность является эксергетическим потенциалом солнечной радиации. Результаты исследования могут быть обобщены для оценки эффективности использования солнечной энергии на территории России и за ее пределами.

### Список литературы

1. Loan Sarbu, Calin Sebarchievici. Solar heating and cooling systems. London: TNQ Books and Journals. 2017. 441 p.
2. Stephenson D.G. Tables of solar altitude and azimuth. Intensity and solar heat gain tables. Technical Paper. Ottawa: National Research Council of Canada. 1967. 31 p.
3. Laue E.G. // Solar Energy. 1970. Vol. 13. №1. P. 43–50.
4. Meinel A.B., Meinel M.P. Applied solar energy. Michigan: Wesley Pub. Co. 1976. 651 p.
5. Kapur A.S. A practical guide for total engineering of MW capacity solar PV power project. White Falcon Publishing. 2016. 118 p.
6. Lucien Wald. Basics in solar radiation at Earth surface. Edition I. Paris: PSL Research University. 2018. 57 p.

## **Перспективы (особенности) использования возобновляемых источников энергии и электроавтомобилей в России**

R. Krumer, A. Grititlin

Согласно различным источникам сегодня на климат нашей планеты оказывается сильное техногенное давление, оказываемое, по существу, существующими технологиями основанными на горении. В первую очередь это тепло- и электро- генерирующие установки и транспорт, в которых используется сжигание различных видов топлива.

Как известно существуют источники энергии традиционные (основанные на использовании нефти, газа, угля, течения речных вод и атомной энергии) и альтернативные которые не используют указанные природные ресурсы. К альтернативным источникам энергии относятся и возобновляемые (в дальнейшем — ВИЭ).

ВИЭ — это источники энергии, образующиеся на основе постоянно существующих или периодически возникающих процессов в природе, а также жизненном цикле растительного и животного мира и жизнедеятельности человеческого общества. ВИЭ широко внедряются во многих странах для обеспечения энергетической независимости и улучшения экологической обстановки.

В последнее время солнечные электростанции (СЭС), ветрогенераторы, тепловые насосы активно рекламируются и в нашей стране.

Правда реклама, как правило, некоторые моменты упускает. Например, говоря о электростанциях на солнечных батареях забывают сказать о необходимости охлаждать панели в жаркие дни, очищать их от пыли летом и от снега зимой и т. п.

В [1] авторами предложена методика сравнения общей эффективности традиционных электростанций и ВИЭ на единой математической и физической основе. При этом при сравнении учитывались системы аккумулирования энергии электроэнергии, необходимые для солнечных (фотоэлектрических) и ветровых электростанций. Результаты показывают, что АЭС, ГЭС, ТЭС на угле и природном газе (в таком порядке) на порядок эффективнее, чем солнечные фотоэлектрические электростанции и ветроэлектростанции. Причем, согласно этой работе, поскольку количество энергии вырабатываемая этими электростанциями меньше, чем энергия, затраченная на их создание, то переход только на ВИЭ приведет к негативным результатам в перспективе.

Выводы этой работы не однозначны, хотя известно, что окупаемость ВИЭ соизмерима со сроком службы оборудования этих электростанций.

В России же стоимость создания ВИЭ, как правило, превышает стоимость произведенной электроэнергии за весь срок службы оборудования.

Действительно, по заявлению экспертов срок окупаемости солнечных электростанций в Якутии составляет от 8 до 12 лет. В статье [2] приводятся данные об окупаемости Батайской СЭС, стоимость строительства которой составила 185 млн.руб., экономия топлива в 2017 году составила 9,9 млн.руб., т. е. затраты на строительство окупятся через  $\approx$  20 лет.

Вот такие сроки окупаемости у СЭС, при том, что гарантийный срок на оборудование, как правило, не превышает нескольких лет, а максимальный срок службы обычно не более 10 лет. В аналогичной ситуации в плане окупаемости находятся и ветрогенераторы.

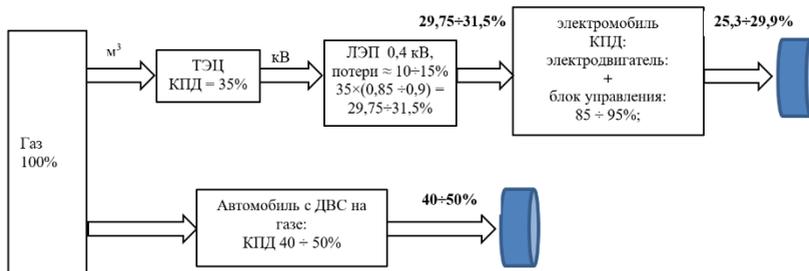
Поскольку генерация электроэнергии солнечными батареями и ветрогенераторами зависит от погодных условий, то для обеспечения энергетической безопасности необходимость в традиционных источниках энергии сохраняется и, соответственно, сохраняется необходимость закупа топлива для этих генерирующих мощностей. Если же исключить все традиционные электрогенерирующие установки и ориентироваться только на ВИЭ, то система электроснабжения станет нестабильна. Даже если в далекой перспективе появятся дешевые аккумуляторы большой мощности, то из-за большой неопределенности появления солнца, ветра и т. д. потребность в традиционных источниках, по-видимому, электроэнергии сохранится.

В отношении транспорта, судя по многочисленным публикациям, основные источники загрязнения атмосферы в крупных городах, являются автомобили с бензиновыми и дизельными двигателями, поэтому спасением от постоянного смога является использование электромобилей. Безусловно сами электромобили не загрязняют окружающую среду, если не считать необходимость утилизировать аккумуляторные батареи. Но электроэнергию же надо где-то надо выработать, а  $\approx$ 75 % электроэнергии в мире вырабатывается на тепловых электростанциях (ТЭС). Если в качестве топлива на ТЭС используется уголь или мазут то эти предприятия создают определенное загрязнение окружающей среды.

Вообще, говоря о загазованности воздуха в городах говорят обычно о транспорте. Хотя, например, в статье [3] сказано, что по данным нового анализа, 46 круизных лайнеров, эксплуатируемых корпорацией

Carnival, выбрасывали на европейские побережья почти в 10 раз больше оксида серы, чем 260 миллионов европейских автомобилей.

Но ведь чистый воздух обеспечивают и другие виды автомобилей, например, работающие на спирте или газомоторном топливе. На рисунке 1 показана какая доля энергии, содержащаяся в природном газе, обеспечивает движение электромобиля и автомобиля на газомоторном топливе.



**Рис. 1.** Количество вредных веществ в уходящих газах для автомобилей с газомоторным топливом минимально

Для России, как представляется, применение автомобилей на газомоторном топливе предпочтительнее чем электромобили по следующим причинам:

- стоимость автомобиля. Предложения в Интернете для электромобилей в России начинается в районе 4 млн.руб., стоимость автомобиля Миникупер в Англии от 35 тыс.фунтов. Стоимость переоборудования автомобиля на газомоторное топливо составляет от 30 до 60 тыс.руб.;

- условия эксплуатации. При эксплуатации электромобиля при температуре ниже минус 10–15 °С значительно снижается емкость аккумуляторной батареи;

- хранение. Учитывая уменьшение емкости аккумуляторной батареи при низких температурах электрокар должен содержаться в теплом гараже или на время стоянки он должен быть подключен к сети электропитания.

Не считая условий хранения, эксплуатационные расходы для электрокара ниже, но существует необходимость замены раз в 5 лет аккумуляторной батареи по стоимости превышает стоимость обслуживания автомобиля на газомоторном топливе за этот же период.

Безусловно совершенствование ВИЭ и электроавтотранспорта должно продолжаться. Развитие науки и технологий должно привести к снижению их себестоимости и эксплуатационных расходов, увеличению срока службы. Но традиционные источники энергии и

транспорт использующий в качестве топлива различные виды газа также еще долго сохранят свою актуальность,

**Список литературы**

1. D. Weißbach<sup>a,b</sup>, G.Ruprecht<sup>a</sup>, A. Huke<sup>a,c</sup>, K. Czerski<sup>a,b</sup>, S. Gottlieb<sup>a</sup>, A. Hussein<sup>a,d</sup>, «Energy intensities, EROIs, and energy payback times of electricity generating power plants». <sup>a</sup>*Institut für Festkörper-Kernphysik gGmbH, Leistikowstraße 2, 14050 Berlin, Germany*; <sup>b</sup>*Institut Fizyki, Wydział Matematyczno-Fizyczny, Uniwersytet Szczeciński, ul. Wielkopolska 15, 70-451, Szczecin, Poland*; <sup>c</sup>*Institut für Optik und Atomare Physik, Technische Universität Berlin, Hardenbergstraße 36, 10623 Berlin, Germany*; <sup>d</sup>*Department of Physics, University of Northern British Columbia, 3333 University Way, Prince George, BC, Canada. V6P 3S6.*
2. Нифонтова М. «Якутия ищет наиболее эффективный способ генерации», Независимая газета, 11.03.2019.
3. Thomas Barrett, Study gives damning verdict on shipping industry pollution, Environment Journal. 10th June 2019.

## **Investigation of methods for extracting carbohydrates from microalgae biomass to produce bioethanol**

E.M. Nikolaev, N.R. Molodkina, N.I. Maksimenko,  
A.I. Kochurova, V.A. Saramotina

*ITMO University, Kronverksky Pr. 49, bldg. A,  
Saint Petersburg, 197101, Russia*

At the present time, the proposition that the future of transport has strong connections to the exploitation of liquid biofuels and the development of their production process is well founded. Despite this fact, biofuels are able to be an effective substitute for traditional fuels only when the cost of their production is lower or energy-equivalent to the cost of oil drilling and refining. The development of new ways of producing biofuels has increased the number of research focused on the potential of microalgae as the third generation of biofuels.

The aim of the project is to develop a new, cost-effective technology for producing bioethanol using microalgae mass, providing a lower price than the cost of its fossil fuel equivalent [1, 2].

The use of microalgae to produce biofuels has many advantages when it comes to comparison with higher plants in producing first- and second-generation biofuels. This is due to the production of large quantities of spent biomass from treatment plants and the ability to free arable land for cultivating higher plants in order to meet other human needs.

Nowadays the possibility of producing bioethanol using the spent biomass of microalgae from wastewater treatment plants is being considered. Access to carbohydrates in the plants cells is necessary to produce bioethanol by alcohol fermentation [3]. Hence, it is pertinent to study the most efficient and cost-effective way of treating raw materials using different methods of intervention. In order to introduce the chosen technology into the production cycle, its economic potential and efficiency must be taken into account.

The article presents the results of the selection of methods and conditions for the treatment of raw materials, which include temperature modes for the extraction of carbohydrates and water-soluble substances, the suitable concentration of raw materials to make a suspension for fermentation and the processing duration. Further research includes: the ecotoxicological study and chemical analysis of raw materials, determination of the carbohydrates of the spent biomass of microalgae, selection of yeast and of the spirits, investigation of the limiting factors of fermentation and ways of their solution, rectification and finally validation of the resultant bioethanol.

**References**

1. Bibi R., Ahmad Z., Imran M., Hussain S., Ditta A., Mahmood S., Khalid A.. Algal bioethanol production technology: A trend towards sustainable development // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2017. Vol. 71. P. 976–985.
2. Lakatos G.E., Ranglová K., Manoel J.C., Grivalský T., Kopecký J., Masojídek J.. Bioethanol production from microalgae polysaccharides // *Folia microbiologica*. 2019. Vol. 64. № 5. P. 627–644.
3. Chang Y.H., Ku-Shang Chang K.H., Chen C.Y., Hsu C.L., Chang T.C., Jang H.D. Enhancement of the efficiency of bioethanol production by *Saccharomyces cerevisiae* via gradually batch-wise and fed-batch increasing the glucose concentration // *Fermentation*. 2018. Vol. 4. № 2. P. 45.

## **Исследование физико-химических характеристик углеродного материала, полученного методом паровой газификации отходов пивной промышленности**

К.Б. Ларионов, А.В. Зенков, А.Ж. Калтаев

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30*

Объем производства пивной продукции России в 2019 году составил около 14 млн. декалитров [1]. Производство пивной продукции сопряжено с большим количеством потребления различных ресурсов (как энергетических, так и производственных), что приводит к значительному образованию большого количества отходов и выбросу  $\text{CO}_2$  [2].

В настоящее время одним из успешных подходов к сокращению твердофазных отходов данного производства является их использование в аграрной промышленности в виде пищевых добавок для крупнорогатого скота [3]. Зачастую количество производимых отходов в регионах значительно превышает объем потребления агропромышленного сектора. А их транспортировка в соседние регионы не рентабельна ввиду логистических трудностей. Альтернативным способом преобразования данного вида отходов является термическая конверсия. Основным продуктом термической конверсии — углеродный материал, используемых в качестве биотоплива для домашних хозяйств.

Настоящая работа посвящена исследованию физико-химических характеристик углеродного материала, полученного методом паровой газификации биомассы. В качестве образца биомассы был использован отход пивоваренного производства (г. Томск, Российская Федерация). Образец с начальной влажностью 80 % осушался до 10 % с помощью воздушного нагревателя при температуре 60 °С. Паровая газификация исследуемых образцов отходов пивной промышленности проводилась с помощью вертикального реактора периодического действия при температуре пара 450 °С в течение 1 часа. Масса образца составляла 1 кг.

В процессе паровой газификации образца биомассы были получены количественные значения состава неконденсируемого газа и изменения температуры образца. В качестве определяемых газофазных продуктов выступали следующие соединения:  $\text{CO}_2$  (22.6 об%),  $\text{CO}$  (19.6 об%),  $\text{CH}_4$  (16 об%),  $\text{H}_2$  (5.9 об%). В качестве основного продукта процесса паровой газификации был использован углеродный материал. Далее образец был измельчен и фракционирован на ситах с размером ячейки менее 200 мкм. С помощью элементного анализа было

установлено, что содержание углерода в исследуемом образце составило около 64 %. Были зафиксированы сера (0,2 %) и кислород (10,5 %) в составе данного образца. Наличие в большом количестве последнего обусловлено природным происхождением образца и наличием кислородосодержащих функциональных групп. Полученное значение низшей теплоты сгорания ( $Q_{\text{I}}^{\text{f}}=26$  МДж/кг) было сопоставимо с традиционными твердыми топливами (уголь, древесные отходы, торф и т. д.). Важно отметить, что в результате проведения процесса газификации степень углефикации исследуемого образца биомассы возросла на 24,1 %. В свою очередь зольный остаток увеличился на 10 % и составил 17,1 %. Термический анализ был выполнен при скорости нагрева  $10$  °С/мин и температурном интервале  $25$ – $1000$  °С в среде воздух и аргона ( $150$  мл/мин) показал, что углеродный материал характеризуется иной реакционной способностью в отличии от исходного образца. Так, для данного образца наблюдается существенное увеличение значения начальной и конечной температур интенсивного окисления ( $\Delta T_{\text{i}}$  и  $\Delta T_{\text{f}}$   $150$  и  $75$  °С соответственно) и энергии активации (на  $57,4$  %), а также снижения максимальной скорости реакции ( $\Delta w_{\text{max}} = 3,19$  %/мин). В результате паровой газификации исследуемого образца биомассы наблюдалось изменение морфологии частиц. Так, частицы образца углеродного материала характеризуются неоднородной поверхностью с наличием большого количества открытых пор и каналов. Отчетливо видно трубчатую структуру рассматриваемых частиц углеродного остатка, которая образуется в результате высвобождения летучих соединений. Данный материал представляет интерес для энергетической отрасли, а также создания новых углеродосодержащих материалов. Также можно предположить о высоком росте значения удельной поверхности и пористости данного материала в результате его химической активации за счет высокого содержания минерального остатка, в состав которого входят различные щелочные металлы.

*Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента РФ в рамках проекта № НШ-2513.2020.8.*

### **Список литературы**

1. Пиво, производство [Электронный ресурс] // Fira. 2019. URL: <https://pro.fira.ru> (дата обращения: 22.02.2021).
2. Olajire A.A. // J. Clean. Prod. 2020. Vol. 256. Article ID 102817.
3. Russ W., Mörtel H., Meyer-Pittroff R. // Constr. Build. Mater. 2005. Vol. 19. № 2. P. 117–126.

## **The complex research on the technical conditions of energy application of wood pyrolysis bio-oil**

K.V. Slyusarskiy, K.B. Larionov, V.E. Gubin

*Tomsk Polytechnic University, Lenin Ave. 30, Tomsk, 634050, Russia*

The pyrolysis is the widespread technological solution for the processing of various wood wastes [1] which allows obtaining three different products in solid, liquid and gaseous phase. Liquid product of biomass pyrolysis is called bio-oil. While the pyrolysis could be either exothermal or endothermal, sometimes supplying of additional heat is required. The combustion of bio-oil obtained could be the appropriate source of such heat. However, due to significant variation into chemical composition and physical properties, its introduction into fuel-burning equipment could be quite problematic because of large amount of characteristics influencing this process. The current study is devoting to complex research on properties and combustion characteristics of bio-oil retrieved at industrial pine wood pyrolysis facility. Large number of standard characteristics was obtained as well as data on atomization and combustion performance in conditions close to actual industrial equipment. The analysis was realized according to standardized methodic in case of physical properties (density, kinematic and dynamic viscosity, ash content, calorific value, fractional composition) while for other research the unique equipment and specially developed approaches were applied. The elemental and functional compositions of studied samples were determined via Flash 2000 CHNS analyzer and gas chromatograph Agilent 6890N with mass-selective detector Agilent 5973, respectively. The oxidation characteristics of bio-oil samples were studied using DTG analyzer Netzsch STA 449 F3 Jupiter. The atomization was studied using experimental setup with pneumatic-mechanical nozzle [2] via particle image velocimetry method at 0.3 and 0.28 MPa pressures of supplied fuel and air, respectively. The combustion process features were investigated using experimental setup for liquid fuel droplets burning equipped with high-frequency video camera and in-line gas analyzer [3]. All combustion tests were performed in temperature range 400–800 °C. The ignition delay time, duration of flaming burning and burnout of bio-oil droplets were determined as well as concentrations of main anthropogenic substances (CO, CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> etc) in the flow of released gases.

### **References**

1. J.C. Solarte-Toro, J.A. González-Aguirre, J.A. Poveda Giraldo, C.A. Cardona Alzate // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2021. Vol. 136. P. 1–17.

2. D.V. Gvozdyakov, A.V. Zenkov, V.E. Gubin // *Journal of Physics: Conference Series*. 2019. Vol. 1359. 012040. P. 1–6.
3. K.B. Larionov, I.V. Mishakov, K.V. Slyusarskiy, S.A. Tsibulskiy, R.B. Tabakaev, Yu.I. Bauman, A.A. Vedyagin, A.Yu. Nalivaiko, A.A. Gromov // *Fuel Processing Technology*. 2021. Vol. 213. 106706. P. 1–9.

## **Ресурсоэффективная технология газификации угля и отходов угольной промышленности с получением водородсодержащего синтез-газа и утилизацией CO<sub>2</sub>**

Д.В. Гвоздяков, В.Е. Губин, А.С. Заворин,  
А.Ю. Кайдашова, А.Э. Риф, В.В. Цветкова

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30*

В настоящее время более 30 % всей производимой тепловой и электрической энергии в мире вырабатывается из угля. При этом при добыче и переработке угля образуется более 20 % отходов. Отходы угольной промышленности только в России превышают 260 млн. тонн и представляют собой крупные техногенные скопления полезных ископаемых, ежегодный прирост которых составляет 3 млн. тонн.

Выбор сценариев в отношении угольной генерации предопределяется позицией крупнейших участников угольного рынка — России, Китая и Индии. Эти страны активно обновляют свой парк угольных станций и заявляют о намерении бороться с экологическими проблемами путем дальнейшего развития технологий глубокой переработки угля и отходов производства, а не отказа от угольной генерации [1]. Для сохранения конкурентоспособности угля на мировом энергетическом рынке необходима реализация концепции системного замыкания полного жизненного цикла угля в технологических звеньях топливно-энергетического комплекса с глубокой переработкой и получением дополнительной энергии и высокомаржинальной полезной продукции при обеспечении минимального воздействия на окружающую среду. Одним из перспективных продуктов является водород. Ежегодно более 60 миллионов кубометров водорода производятся для целей химической промышленности и энергетики. При этом более 90 % производится с использованием природного газа и угля. С ростом цены газообразного топлива, технологии получения водорода с использованием низкосортного угля и высокой степенью утилизации выделяемого CO<sub>2</sub> становятся более актуальными. При этом их внедрение ограничивается отсутствием промышленных образцов подобных установок в мире, связанное с несовершенством описания процессов сопряженного теплопереноса и химического реагирования при газификации топлива в условиях, обеспечивающих максимально высокую концентрацию водорода в синтез-газе.

Одним из способов получения водорода из органических материалов является газификация. В ТПУ разрабатывается комплексная ресур-

соэффективная технологии газификации угля и отходов угольной промышленности с получением водородсодержащего синтез-газа и утилизацией  $\text{CO}_2$ . Исследования выполняются на базе НИЦ «Экоэнергетика 4.0». Получены результаты фундаментальных и прикладных исследований по получения максимальной концентрации водорода в составе синтез-газа при газификации сортовых, низкосортных углей и углеотходов с перспективной последующего разделения газов и утилизацией  $\text{CO}_2$ .

Разделение газа для извлечения водорода обеспечивается мембранными, а также адсорбционными установками. Мембранные установки позволяют с минимальными потерями выделять водород из основных потоков. Достоинства — низкая стоимость, длительный срок службы и простота обслуживания и монтажа. Адсорбционные установки — более дорогие, но обладают преимуществом получения «чистого» водорода. Технологии уже отработаны и широко распространены. Актуальны методы, основанные на улавливании  $\text{CO}_2$  синтезированными в ТПУ карбидами титана, молибдена и др.

Для утилизации  $\text{CO}_2$  целесообразно использовать методы, применимые в местах получения газа, так как его транспортировка затруднительна. Наиболее эффективным и доступным способом можно назвать преобразование  $\text{CO}_2$  в карбонат кальция в присутствии никелевого катализатора, а также метод конвертации газа в метиловый спирт, который широко используется для технологических целей.

В части газификации углей технология доведена до TRL3 и подтверждена успешными испытаниями экспериментального образца промышленной установки, созданной на Томской ТЭЦ-3, на различных марках углей, в том числе и низкосортных. Полученный в условиях, близких к индустриальным, синтез-газа может использоваться как в качестве топлива для сжигания, так и для цикла получения водорода.

Предлагаемая концепция полного замкнутого цикла полностью соответствует приоритетному направлению СНТР РФ — «Переход к экологически чистой и ресурсосберегающей энергетике, повышение эффективности добычи и глубокой переработки углеводородного сырья...».

Внедрение технологии газификации с получением водородсодержащего синтез-газа позволит увеличить эффективность получения энергии, снизить углеродный след за счет большей экологичности процесса. При этом внедрение не приведет к смене структуры экономики отдельных угольных регионов.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и образования РФ в рамках проекта № FSWW-2020-0022.*

**Список литературы**

1. Программа развития угольной промышленности России на период до 2035 года // Утв. расп. Правительства РФ от 13.06.2020 г. № 1582-р.

## Development of a model of the control process for the operation of a steam generator plant based on methods of fuzzy logic in conditions of uncertainty

Yu.A. Klimenko, A.P. Preobrazhensky

*Voronezh Institute of High Technologies ANOO BO, Voronezh, Russia*

**Annotation.** The article discusses the possibility of developing a model of the process of controlling the parameters of the functioning of a steam generating unit of small-scale power generation based on the use of fuzzy logic methods in conditions of uncertainty for the optimal distribution of raw materials and fuel and energy resources.

Currently, the fuel and energy complex in remote regions of the Russia is constrained by economic development. The reason for this is the lack of reliable heating and power supply. The problem is solved by developing small-scale power generation for the production of electricity and heat based on the use of a steam generator unit (SGU) with automated control of the optimal distribution of raw materials and fuel and energy resources [1].

A functional model of optimal resource allocation has been developed, the main functions and interrelationships of control modules have been determined. The model consists of the following modules: the module for calculating the parameters, the module for setting the operating conditions of the SGU unit, the module for solving the optimization problem, the module for analyzing the results obtained and issuing recommendations for optimizing [2] the parameters of the SGU unit operation.

1. Module for calculating parameters. Calculation of parameters characterizing thermal, gas-dynamic and other modes of SGU operation. The estimation of the parameters should be carried out using the balance model of the process developed within the framework of the natural-model approach, which can be conditionally divided into two parts: the base state model and the predictive model. The predictive model, based on the results obtained using the baseline model, evaluates the process indicators when operating conditions change [3] of the SGU. Calculation of the coefficients of influence of the input parameters on the output indicators of thermal and gas-dynamic, and other modes of operation of the SGU during steam production based on the use of fuzzy logic methods. The calculation of the coefficients of influence of the type, composition and structure of the fuel component on the technical and technical indicators of the SGU.

2. Module for setting the operating conditions of the SGU. Planned average consumption of fuel, water and steam, electricity. Restrictions for the SGU on the supply of raw materials, fuel consumption, steam, electricity.

Technological limitations of SGU, characterizing the thermal, gas-dynamic and other operating modes.

3. Module for solving the optimization problem. Selection of the optimal consumption of raw materials, taking into account the imposed restrictions on the operating modes of the SGU. Selection of the optimal consumption of fuel and energy resources to create conditions for maintaining the combustion temperature of the fuel in a given interval. Selection of the optimum temperature, pressure and other parameters of steam generation for the normal operation of the SGU.

4. Module for analyzing the results obtained.

The peculiarities of the process of fuzzy control of the functioning of the SGU are built on the principles of fuzzy logic, the concepts of the theory of fuzzy sets for control under conditions of uncertainty in the absence of complete information SGU on. Selection of mathematical control methods for various types of uncertainty: the type of data uncertainty about the control object; type of model (linguistic [4] and expert); methods of formalizing uncertainty: methods of the theory of fuzzy sets, fuzzy logic. Situational management includes: determination of the state; selection of a control solution; choice of control action; application of control action. A fuzzy inference model is proposed that contains 4 input and 4 output linguistic variables. The controlled input variables are resources (fuel, water, electricity). The output parameters are the generated resources (electric power, water heating and cooling temperature). The paper considers the use of fuzzy control to create a control model for the operation of a SGU to minimize costs and obtain the maximum output resource.

The article discusses the operation of a management model based on the principles of fuzzy logic in conditions of uncertainty.

### **References**

1. Klimenko Yu.A. Optimization modeling of distributed electrical systems / Klimenko Yu.A. // In the collection: Optimization and modeling in automated systems. Proceedings of the International Youth Scientific School. 2019. P. 92–93.
2. G.O. Odu, O.E. Charles-Owaba. A Review of Multicriteria Optimization Methods — Theory and Applications // IOSR Technical Journal (IOSRJEN). Vol. 3. 2013. P. 1–14.
3. Fuzzy Sets in Control Models and Artificial Intelligence / Ed. YES. Pospelova. Moscow: Nauka. 1986. 311 p.
4. Zade L. The concept of a linguistic variable and its application for making approximate decisions: Per. from English. Moscow.: Mir. 1986. 167 p.

## Performance estimation of thermoelectric generator based on state-of-art silicide thermoelectrics

A.A. Rakitin, I.L. Tkhorzhevskiy, G.N. Isachenko, A.V. Asach

*ITMO University, Kronverksky Pr. 49, bldg. A,  
Saint Petersburg, 197101, Russia*

Thermoelectric energy conversion is a direct method of generating electrical energy through a temperature difference. The source of heat in this case can be any source (e.g. the heat of the human body or the heat of nuclear decay). That makes the thermoelectric generator a unique source of electrical energy. The low efficiency of such a conversion and the high cost of the device restricts its applications to narrow specific field.

Now worldwide research is carried out for searching for new cheap non-toxic materials to create effective thermoelectric converters that make it possible to reduce the cost of production. Therefore, the harvesting of waste heat from combusted engines, industrial furnaces and other sources of thermal energy will be more efficient. Silicide based thermoelectric seems to be prospective candidate. Silicon is the fourth abundant element in Earth's crust. And a couple of silicon compounds based on manganese silicides and magnesium silicide has a high thermoelectric figure of merit that exceed unity. Besides that, with the exception of organic compounds, these materials are the cheapest thermoelectric materials. And the last decades of studies of their thermoelectric properties have shown that their thermoelectric figure of merit can be improved.

The thermoelectric generator consists of thermoelectric modules. The thermoelectric module itself consists of two legs made from semiconductors with a different type of conductivity. The mentioned above most efficient silicide thermoelectrics are magnesium silicide has n-type conductivity and manganese silicide has p-type conductivity. Both these materials fine fit together to be a silicide thermoelectric module.

Unfortunately, the difference in coefficient of thermal expansion (CTE) of these materials makes it hard to use in the TE module under high temperature. In this work, the processes occurring in a thermoelectric generator operated in a temperature gradient from 100 to 600 °C are modeled by the means of finite elements method. The computer model of a medium-temperature thermoelectric generator module, based on thermoelements consisting of magnesium silicide as an n-type leg and higher manganese silicide as a p-type leg was built. The efficiency and performance, have been evaluated.

To describe the thermoelectric properties of materials, we use our own experimental data and data published in other papers. Computation of the op-

timal leg configuration for maximum efficiency has been carried out. Resulting mechanical stresses that arose due to mismatched thermal expansion coefficients have been considered. The obtained results are compared with existing commercial thermoelectric generators.

## **Section 3**

Environmental Protection Systems

## **Секция 3**

Проблемы экологической  
безопасности и системы защиты  
среды обитания

## **Техногенный галогенез нефтезагрязненных почв (Западная Сибирь)**

М.В. Носова<sup>1,2</sup>, В.П. Середина<sup>1</sup>, Ю.М. Федорчук<sup>3</sup>, А.С. Рыбин<sup>3</sup>

<sup>1</sup> *Национальный исследовательский Томский государственный университет, Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 36*

<sup>2</sup> *АО «Томский научно-исследовательский и проектный институт нефти и газа», Россия, 634027, г. Томск, пр. Мира, 72,*

<sup>3</sup> *Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30*

Аллювиальные почвы Западной Сибири являются конечной точкой накопления органических загрязнителей, где интенсивный техногенный сток нефтяных углеводородов, характерный для аварий на нефтепроводах, оказывает максимальное воздействие на почвенный ландшафт [1–6], что косвенно влияет на состояние гидрологической сети.

Любой аварийный разлив нефти сопровождается выбросами высокоминерализованных солей в экологическую систему; они вызывают техногенное засоление почв и создают битуминозные разновидности почв. Данные статистического анализа указывают на прямую корреляцию между содержанием легкорастворимых солей и нефтепродуктов в загрязненных почвах: коэффициент корреляции ( $r$ ) составляет 0,87 при  $r = 0,91$  (на глубине 0–10 см) и 0,83. при  $r = 0,076$  (на глубине 10–30 см). Следовательно, засоление обычно имеет сульфатную и хлоридно-сульфатную природу. Несмотря на слабое засоление почв, основным диагностическим признаком воздействия солей на окружающую среду считается общее содержание токсичных солей. В рассматриваемых почвах техногенные соли представлены соединениями токсичных солей NaCl, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, MgCl<sub>2</sub>. Максимальное количество выделившихся солей накапливается в корнеобитаемом слое. Одним из важнейших диагностических признаков нефтяного загрязнения является кислая реакция почвы. В эталонных почвах значения pH варьируются от 4,6 до 5,2, что свидетельствует о кислой и слабокислой реакции.

### **Список литературы**

1. Солнцева Н.П. Эволюционные тренды почв в зоне техногенеза // Почвоведение. 2002. № 1. С. 9–20.
2. Геннадиев А.Н. Нефть и окружающая среда // Вестник Московского университета. Серия 5: География. 2016. № 6. С. 30–39.
3. Пиковский Ю.И., Геннадиев А.Н., Ковач Р.Г., Хлынина Н.И., Хлынина А.В. Углеводородное состояние аллювиальных почв на

территории Истринского морфоструктурного узла (Московская область) // Почвоведение. 2016. № 12. С. 1421–1434.

4. Середина В.П., Колесникова Е.В., Кондыков В.А., Непотребный А.И., Огнев С.А. Особенности влияния нефтяного загрязнения на почвы средней тайги Западной Сибири // Нефтяное хозяйство. 2017. № 5. С. 108–112.
5. ГОСТ 26423-85. Почвы. Методы определения удельной электрической проводимости, рН и плотного остатка водной вытяжки.
6. ГОСТ 28168-89. Почвы. Отбор проб.

## **Выбросы сажи котлоагрегатами при сжигании различных видов топлива**

В.К. Любов, А.Н. Попов, Е.И. Попова

*Северный (Арктический) федеральный университет  
имени М.В. Ломоносова, 163002, Россия,  
г. Архангельск, наб. Северной Двины, 17*

По данным исследований последних десятилетий значительный вклад в глобальное потепление, наряду с углекислым газом, вносит черный углерод, под которым в РФ понимают «углерод (сажу)», представляющий собой дисперсный углеродный продукт неполного сгорания или термического разложения углеводов, состоящий из частиц различной формы и имеющих черный цвет. Сажа является мощным канцерогеном, относится к вредным веществам II класса и разносится ветрами на тысячи километров. Установлено, что черный углерод удерживает в несколько сотен раз больше тепла, чем углекислый газ. Поэтому встает задача всестороннего изучения всех аспектов, связанных с выбросами черного углерода.

Количество сажевых частиц, содержащихся в отработанных дымовых газах энергетических установок, является критерием эффективности организации топочного процесса. Современные топочные и горелочные устройства для сжигания различных видов топлива имеют не достаточную энергетическую и экологическую эффективность, что приводит к нерациональному использованию энергетических ресурсов и значительному загрязнению окружающей среды. Это особенно сильно сказывается на экологической обстановке приарктических территорий и Арктики [1]. Поэтому для сохранения чистоты окружающей среды необходим жесткий контроль за полнотой сжигания топлива.

За последние годы благодаря переводу объектов крупной станционной энергетики Архангельской области на сжигание природного газа, а также реализации программы по замещению привозных топлив на биотоплива, производимые на предприятиях региона, в топливно-энергетическом балансе региона произошли значительные изменения. Мазуты и каменные угли, занимавшие на протяжении более четырех десятилетий первую и вторую позицию соответственно, переместились на третью и четвертую позицию. Газообразное топливо заняло первую позицию, а биотоплива — вторую. Изменения оказали благотворное влияние на экологическую обстановку, так суммарные выбросы вредных веществ от стационарных источников с 2011 года значительно снизились. Изменилась и структура валовых выбросов вредных веществ, наибольшие значения приходятся на выбросы твердых

частиц и оксида углерода, при этом выбросы сернистого газа переместились с первой позиции на четвертую.

В соответствии с [2] были проведены экспериментальные исследования эмиссий сажевых частиц, образующихся в топочных камерах котлоагрегатов различной мощности (от 60 кВт до 380 МВт) и конструктивного исполнения при сжигании различных твердых, жидких и газообразных топлив. С использованием электронной растровой микроскопии выполнено изучение структуры, размера и количественного состава сажевых частиц, а также входящих в них элементов.

В методике [3] для выполнения расчетного анализа выбросов сажевых частиц размером РМ 2.5 по данным топливного баланса рекомендуются значения удельных выбросов при сжигании различных топлив, которые следует считать упрощенными. Уровень выбросов сажевых частиц определяется качеством топлива, конструкцией топочных и горелочных устройств, способом сжигания, степенью совершенства и уровнем настройки системы автоматизации, наличием и типом газоочистных устройств, а также техническим состоянием и качеством обслуживания теплогенерирующих установок [1, 4]. Результаты выполненных исследований позволили предложить более расширенный подход для выбора значений удельных выбросов сажи при сжигании различных топлив в теплогенерирующих установках, широкого диапазона мощности и различного конструктивного исполнения, что следует использовать при инвентаризации выбросов данного загрязнителя. Так выполненные расчетно-экспериментальные исследования показали, что суммарные выбросы черного углерода (PM2.5) на территории Архангельской области (без НАО) за 2016 г. составили 539.213 т.

### Список литературы

1. Любов В.К., Кузьмин М.С., Буторин А.Ю., Минин В.А. // Вестник ЧГУ. Научный журнал. Естественные и технические науки. 2015. Т. 66. №5. С. 25–29.
2. Методика измерения массовой концентрации сажи в промышленных выбросах и в воздухе рабочей зоны. Ярославль: ОАО НИИ «ТЕХУГЛЕРОД». 2005. 10 с.
3. Borchsenius H., Borgnes D. Black carbon emissions from the district heating sector in the Barents region // Norsk Energi. 2013. 56 с.
4. Lyubov V.K., Popov A.N., Popova E.I. // J. Phys.: Conf. Ser. 2017. Vol. 891. 012217.

## **Environmental risks in the development and modernization of fossil fuels deposits in the Arctic zone of the Russian Federation**

E.A. Bykovskaia, M.A. Kustikova, A.S. Maiurova,  
I.V. Timofeeva, E.P. Tyurikova

*ITMO University, Kronverksky Pr. 49, bldg. A,  
Saint Petersburg, 197101, Russia*

In this paper the concept of environmental risk was investigated. The analysis of the legal framework governing the implementation of various types of activities in the Arctic region was carried out. Recommendations to reduce the environmental risks probability during the reconstruction of fossil fuels deposits were developed.

The increased anthropogenic load on the Arctic region is associated not only with the production and with transportation of hydrocarbons, but also with the construction and reconstruction of the fields themselves. Currently, there is no any no unified methodology for assessing environmental risks. In this regard, the study and analysis of environmental risks that can cause irreparable damage to the Arctic region is one of the urgent tasks [1–3].

The purpose of this work is to identify and assess environmental risks in the development and modernization of fossil fuels deposits in the Arctic zone of the Russian Federation.

The following tasks were set to achieve this goal:

- to analyze the features of the Arctic zone;
- to identify environmental risks in the development and modernization of fossil fuels deposits in the Arctic zone;
- to assess environmental risks and give recommendations how to reduce them.

Reconstruction of deposits is a forced measure in order to improve energy efficiency and efficiency of the deposit as a whole. Reconstruction typically allows extracting the remaining gas or oil with better equipment. The technological sequence of the production of the main construction and installation includes several processes and almost all types of work can damage the environment.

During the production of construction and installation the law of the Russian Federation "On environmental protection", decisions of administrative bodies on environmental protection and rational use of natural resources in the region, as well as other federal laws are observed, but this fact only reduces, but does not completely exclude possible environmental risks and damage to the environment.

Since the environmental risks that may arise during reconstruction are not excluded, they were assessed in terms of the damage degree and the probability of risk occurrence. Before assessing environmental risks during the field reconstruction, the main sources and factors of negative impact on the environment were identified.

Based on the listed factors, possible environmental risks were identified and analyzed. As a result, tables that describe environmental risk, recommendations for reducing the probability of its occurrence and recommendations for reducing the negative impact on the environment have been developed.

### **References**

1. Chadromtsev B.D. Some geological, environmental and legal aspects of the arcticexploration. // Herald of the International Institute of Management, 2016. № 1–2 (137–138). P. 127–134.
2. Revich B.A., Avaliani S.L., Tikhonova G.I. Fundamental sofassessment of polluted environment effect on human health // Moscow: Acropolis, Center of Ecological Policy of Russia. 2004. 268 p.
3. Saprykina K.M. The current environmental state of the Arctic zone of the Russian Federation and possible development dynamics // Territorija «NEFTEGAS». 2015. № 5. P. 86–90.

## **Research of the features of measuring ozone depleting substances**

E.P. Tyurikova, M.A. Kustikova, A.S. Maiurova,  
E.A. Bykovskaia, I.V. Timofeeva

*ITMO University, Kronverksky Pr. 49, bldg. A,  
Saint Petersburg, 197101, Russia*

**Abstract.** The work is devoted to the research of the process of measuring substances that negatively effect on the ozone amount in the atmosphere. The analysis of chemical-climatic models of the atmosphere used in environmental monitoring is carried out. Mathematical methods for calculating the effect of freons on the ozone amount is considered. The detecting method of freons are chosen based on refrigerant characteristics.

**Keywords:** freon, climatic changes, gas analyzer, raman spectroscopy, refrigerating agents, ozone layer.

**Introduction.** Atmosphere monitoring is one of the key tasks to ensure a comfortable living environment. Leaks of refrigerants from air conditioning systems, fire extinguishing systems, refrigeration equipment with the release of freons into the atmosphere are a potential hazard. The most dangerous are Freon-12, Freon-22 and other refrigerants that effect on the amount of ozone in atmosphere [1]. These refrigerants are currently being replaced by multi-component mixtures, which still contain HFCs, but in significantly small proportions in relation to single component freons. The issue of detecting these low concentrations of ozone depleting substances is relevant in the production of such refrigerants and in the analysis of counterfeit products.

The work purpose is research of the features of measuring ozone depleting substances at ecological monitoring. There are several tasks which helps to achieve the goal:

1. Describe refrigerants that are hazardous if released into the atmosphere.
2. Analyze interaction mathematical models of refrigerants with the atmosphere.
3. Choose the method of freon measuring for controlling the leaks into the atmosphere.

**Body.** According to standard ISO 817-2014 “Refrigerants. Designation system”, there are several groups of freons which representing the greatest danger when released into the atmosphere [2]. These include representatives from the groups of chlorofluorocarbons (CFCs), hydrochlorofluorocarbons (HCFCs), hydrofluorocarbons (HFCs), etc. The distinctive feature of these

substances is a long-life span in the atmosphere, calculated from several years to several decades. One example is HFC Freon 23, which will decay in the atmosphere within 270 years. These substances are dangerous, since when interacting with radiation in the ultraviolet region, they release atoms of bromine, fluorine, chlorine, which, in turn, upon contact, destroy the ozone layer.

The analysis of chemical- climate models of the atmosphere on the formation and decay of ozone was carried out. Based on these the process of creation and decay of ozone was considered.

When reviewing mathematical models of the interaction of refrigerants and ozone, it was concluded that it is advisable to detect freon leaks into the atmosphere.

Based on GOST R ISO 17584-2015 "Refrigerant's properties", an analysis of the characteristics of freons was carried out. Due to the complex composition of the analyzed substances of HFCs, it was proposed to use the method of Raman spectroscopy.

The distinctive feature of Raman spectroscopy is the observation of scattered radiation from the sample, because of which this method is not sensitive to absorption bands. Thereafter, the study of the detected anti-Stokes lines provides accurate information about the analyzed component since the measurements are carried out with scattered light.

**Conclusion.** The description of ozone depleting substances, which are the objects of research, was carried out. The properties of freons, which effect on ozone amount in the atmosphere, were investigated. Based on a mathematical model of the interaction of a refrigerant with the atmosphere, it was proposed to use the Raman spectroscopy method for detecting low concentrations of refrigerants and for component analysis of HFC mixtures.

*The work has done with the support of project №620159 «Development and research of the principles of building a digital freon analyzer».*

### References

1. Tsvetkov O.B., Baranenko A.V., Laptev YU.A., Sapozhnikov S.Z., Khovalyg D.M., Pyatakov G.L. // Scientific journal of NUY ITMO. Series "Kholodilnaya tekhnika i konditsionirovaniye". 2014. №3. P. 98–111.
2. ISO 817-2014 Refrigerants. Designation system.

## **Environmental education for sustainable development on the example of developing an educational module "Conscious Consumption" for non-core specializations**

E.A. Bykovskaia, I.V. Timofeeva, A.S. Maiurova,  
M.A. Kustikova, S.A. Banar

*ITMO University, Kronverksky Pr. 49, bldg. A,  
Saint Petersburg, 197101, Russia*

Consumption and production around the world are the driving force of the global economy, based on the resources consumption in a way that continues to have a devastating impact on the environment. Socioeconomic progress over the past century has been accompanied by ecosystem degradation that threatens our development and future survival. In this regard, a critical question arises not only to strengthen the measures to prevent environmental damage, but also to train professional personnel who can do this. At the same time, an important component is education and awareness of non-core specializations on this issue, since ensuring an acceptable level of negative impact of anthropogenic factors on the environment and humans is possible only through knowledge and personal responsibility. Environmental education and awareness are the basis for ensuring environmental safety [1–2].

The relevance of the project lies in the necessity to develop the personal responsibility of population through practical experience. There are many educational courses for students on sustainable development, but they are either for specialized areas, or provide a theoretical basis that is difficult for a student to apply in practice.

The developed module "Conscious consumption" forms the necessary basis for understanding the patterns of production and consumption, rational use of resources, human influence on the environment. The module allows you not only to listen to a course that includes such modern concepts and concepts as: Sustainable Development, circular economy, zero waste, fast and slow fashion, microplastics, greenwashing, eco-shaming, eco-anxiety, and others, but also to master daily "eco-habits" through practical work.

The main goal of the "Conscious consumption" module is to create an ecological culture through a deep systemic transition based on personal responsibility and understanding of one's place in the environment. The key to improvement of all areas of human activity lies in a conscious lifestyle. The project team has done a lot of work on the preparation of theoretical material on the project topic as well as its adaptation for the modern generation. An extensive analysis of the available materials on the project topic was carried out; as a result, a detailed list of additional modern materials was compiled,

including blogs, documentaries and services that facilitate the understanding of the concept of Sustainable Development and the transition to mindfulness in the choice of goods and services.

Based on the received feedback the authors received confirmation that the module really deserves the attention of young people and its topic is relevant and in demand.

### **References**

1. Stepanova V.A. Environmental education and personal responsibility for „green” development // Scientific notes of young researchers. 2015. № 3. P. 67–72.
2. Elhacham E., Ben-Uri L., Grozovski J. et al. Global human-made mass exceeds all living biomass // Nature. 2020. № 588. P. 442–444.

## **Обеспечение достоверности и точности информации о содержании вредных веществ в промышленных выбросах, получаемой с помощью автоматических измерительных систем**

О.Г. Попов, Ю.А. Кустиков, А.В. Мальгинов, К.А. Заречнов,  
А.В. Колобова, Л.А. Конопелько

*Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии  
им. Д.И. Менделеева, 190005, Россия,  
Санкт-Петербург, Московский пр., 19  
Национальный исследовательский университет ИТМО,  
Россия, 197101, Санкт-Петербург, Кронверкский пр., 49*

В России к особо острой проблеме в области охраны окружающей среды относится проблема качества атмосферного воздуха, которое определяется в первую очередь выбросами промышленных предприятий. Для решения этой проблемы на законодательном уровне были приняты ряд нормативно-правовых актов, предусматривающих оснащение стационарных источников загрязнений, оказывающих особо негативное воздействие на окружающую среду, автоматическими измерительными системами. При использовании непрерывных измерений содержания загрязняющих веществ в промышленных выбросах в автоматическом режиме повышается оперативность получения первичных данных, исключаются ошибки, связанные с человеческим фактором, и повышается информативность и точность контроля уровня выбросов. Эффективность применения таких систем в первую очередь определяется достоверностью и точностью измерительной информации о содержании загрязняющих веществ. Для решения этой задачи необходима разработка комплекса методов и средств метрологического обеспечения измерений с помощью автоматических измерительных систем.

Достоверность результатов измерений содержания загрязняющих веществ в промышленных выбросах с помощью АИС, обеспечивается соблюдением следующих требований [1]:

- к измерению промышленных сбросов и выбросов могут допущены только АИС, прошедшие процедуру испытаний в аккредитованных лабораториях;
- принципы работы, конструкционное и техническое исполнение АИС должны соответствовать современному уровню технического прогресса;

– АИС должна соответствовать требованиям, установленными в нормативно-правовых документах по требованиям и применению АИС для контроля выбросов;

– результаты измерения контролируемых веществ в промышленных выбросах должны прослеживаться к национальным эталонам (для газовых компонентов промышленных выбросов — к эталону ГЭТ 154 [2]);

– должен осуществляться постоянный мониторинг качества измерений АИС по процедурам, установленным в нормативно-технической документации (стандартах и методиках измерений и поверки)

Метрологические характеристики автоматических измерительных систем для контроля выбросов устанавливаются в ходе испытаний в целях утверждения типа, как это требует законодательство по обеспечению единства измерений. При этом, процедуры испытаний должны соответствовать следующим принципам [2]:

– проведение испытаний на реальных газовых смесях, либо на газовых смесях достаточно полно их имитирующих;

– проведение испытаний систем с пробоотборными системами в комплекте газоанализатором;

– проведение испытаний с использованием технических средств, обеспечивающих прослеживаемость результатов измерений к национальным эталонам.

С целью реализации этих положений во ВНИИМ им. Д.И. Менделеева был разработан и аттестован в качестве вторичного эталона газосмесительно-аналитический стенд для проведения испытаний в целях утверждения типа автоматических измерительных систем для определения содержания загрязняющих веществ в промышленных выбросах.

### **Список литературы**

1. Контроль промышленных выбросов автоматическими измерительными системами. Под ред. Конопелько Л.А. и Попова О.Г. Москва: Изд-во Триумф, 2021. 289 с.
2. Обеспечение прослеживаемости результатов измерений содержания загрязняющих веществ в промышленных выбросах автоматическими измерительными системами / Мальгинов А.В., Попов О.Г., Колобова А.В. и др. // Эталоны. Стандартные образцы. 2020. Т. 16. № 4. С. 17–26.

## **Assessment of environmental risks of metallurgical production unit**

M.A. Maksimova, L.I. Belykh

*Irkutsk National Research Technical University,  
664074, Irkutsk, 83 Lermontova str.*

The aim of the work is to assess the environmental risks of the metallurgical production unit on the example of the foundry shop of the steel melting enterprise OOO "Production Company" (Irkutsk).

Technological processes of casting production are characterized by a large number of operations that have a significant negative impact on the environment.

The object of the research is a subdivision of a heavy industry enterprise engaged in the production of steel and iron products of wide application.

To achieve the goal, the following tasks were solved:

- analysis of the regulatory framework and modern requirements for the environmental risk management system;
- making of a register of environmental negative factors of the foundry shop with ranking of consequences;
- consideration of the technological process of steelmaking to assess the likelihood of events having adverse consequences for the environment and public health.

Three possible scenarios of the most adverse events were calculated:

- 1) wastewater discharges (Ushakovka river);
- 2) emissions of pollutants into the atmosphere caused by an accident in an electric arc furnace;
- 3) negative impact on soils;

The main results of the work were:

- qualitative and quantitative assessment of environmental risks was given;
- it was shown that the most severe consequences for human health and the ecosystem would occur in case of a global fire in the foundry with immediate manifestations. In the case of an emergency situation with leaks and spills of waste water — the time of manifestation will be remote;
- measures to reduce the negative impact on the environment and optimization of environmental risk management are proposed.

## **Monitoring of carcinogenic risk factors for public health (The Irkutsk region as an example)**

L.I. Belykh, M.A. Maksimova

*Irkutsk National Research Technical University,  
664074, Irkutsk, 83 Lermontova str.*

Many regions of Russia and especially of the Siberian Federal District belong to the territories with unfavorable ecological situation. These regions are characterized by increased morbidity of the population caused by the impact of industrial, transport, and agricultural infrastructure (fuel and energy complex, petrochemical, aluminum production, forestry, etc.). Carcinogenic factors of chemical (polycyclic aromatic hydrocarbons, chlorine and nitrogen-containing organic substances, heavy metals etc.), physical (radioactive radiation), biological (biological oncogenes) nature are the most dangerous factors. This leads to an increased number of oncological diseases, ranking second after cardiovascular diseases.

The paper presents the analysis of the condition of monitoring, control and prognosis of the carcinogenic factors in the environmental objects and their role in the oncological morbidity of the population on the example of the Irkutsk region cities. It shows that assessment of carcinogenic risks for public health requires the creation of a comprehensive methodological support to determine oncogenes in all components of the system "pollution source — environment object — person".

Priority tasks in achieving this goal are singled out:

- development of methodological support for monitoring and control of carcinogenic chemical, physical and biological factors;
- creating a database of methodological support for anthropogenic, hygienic and natural risks of carcinogenic factors for the health of the population and ecosystems in the region;
- establishment of carcinogenic pollution zones (environmental zoning) of environmental objects with respect to the regional background and hygienic standards;
- estimating anthropogenic carcinogenic load from industrial and agrarian pollution sources;
- search for measures and ways to reduce carcinogenic risks for the health of the population of the Irkutsk region and other regions.

## **Имитационная игра как средство обучения требованиям безопасности труда**

Б.В. Севастьянов, Р.О. Шадрин, А.В. Шаламова, Н.В. Селюнина  
*ФГБОУ ВО «Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова», г. Ижевск*

Современный уровень развития психолого-педагогических наук предполагает их интеграцию в образовательную область «безопасность жизнедеятельности». Гуманизация технического образования позволяет расширить возможности использования современных педагогических технологий в процессе обучения магистров направления «Управление техносферной безопасностью». Соответственно, целью работы является обоснование эффективности использования имитационных игр для обучения магистров требованиям безопасности труда. В ходе исследования были решены следующие задачи: рассмотрены подходы к обучению магистров требованиям безопасности труда, рассмотрены возможности использования имитационных игр для обучения требованиям безопасности труда; проанализированы результаты обучения требованиям охраны труда с помощью имитационных игр. В результате исследования были сделаны выводы о том, что имитационные игры повышают эффективность обучения требованиям охраны труда и мотивируют магистров на более глубокое погружение в предметную область.

Возможность имитировать в процессе игры реальную рабочую среду позволяет будущему специалисту по охране труда погрузиться в профессиональную деятельность, попробовать выполнить рабочий функционал руководителей разного уровня отдела охраны труда, изучить нормативные документы, понять, как функционирует система управления охраной труда на предприятии. Использование имитационных игр как способа обучения требованиям охраны труда является методом получения магистрами начального опыта производственной деятельности. Знакомство с работой отдела охраны труда в ходе игры облегчает процесс адаптации молодого специалиста на рабочем месте.

В процессе реализации имитационной игровой деятельности была получена целая программа, которая может быть с коррекциями внедрена в реальное производство, потому что программа создавалась под руководством очень опытного преподавателя эксперта-практика. Соответственно, магистры получили навыки, необходимые для работы в отделах охраны труда, с учетом европейской практики и европейского опыта. Именно этим ценна эта имитационная игра [1–3].

По итогам проработки всех «золотых правил» в ходе имитационной игры можно получить набор проблем конкретного предприятия, на

примере работы которого проводилась игра, и разработанный применительно к этим проблемам план, который можно реализовать в конкретные установленные сроки. Выявленные проблемы были проранжированы по критериям важности и срочности. В результате ранжирования магистрами был составлен план реализации поставленных целей.

В перспективе возможно интерактивное развитие игровой практики в области анализа выполнения требований охраны труда сотрудниками предприятия. Эта деятельность должна быть направлена на создание набора моделей компетенций для сотрудников предприятия, в этом наборе будут отображаться компетенции для конкретных должностей, а также необходимый уровень компетенций для успешного выполнения функционала данной должности. Могут быть разработаны матрицы компетенций персонала, которых будут указаны уровни развития компетенций и их поведенческие индикаторы.

Использование игровых технологий обучения неизменно высоко оценивается работодателями и специалистами по охране труда.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке ИжГТУ имени М.Т. Калашникова в рамках научного проекта № ШПО/20-86-11.*

### **Список литературы**

1. Активные методы обучения в педагогическом образовании: учеб.-метод. пособие / В.В. Чечет, С.Н. Захарова. Минск: БГУ. 2015. 127 с.
2. Методы активного обучения: [Метод. пособие для преподавателей и организаторов проф. и экон. обучения кадров] / А.М. Смолкин. Москва: Высш. шк. 1991. 175 с.
3. Хэтти, Джон А.С. Видимое обучение: синтез результатов более 50 000 исследований с охватом более 86 миллионов школьников. Москва: Издательство «Национальное образование». 2017. 496 с.

## Фитомайнинг как технология ревитализации отработанных отвалов при дражной добыче золота

С.С. Тимофеева, И.В. Дроздова

*Иркутский национальный исследовательский технический университет, 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83*

В настоящее время сохраняется потребность в совершенствовании технологии извлечения золота как из руд, так и месторождении самородного золота поскольку в литературе констатируется факт снижения добычи золота как невозобновляемого ресурса. При дражной добычи золота микрочастицы золота оказываются в отвалах и нужна технология, позволяющая эффективно извлекать золота из отвалов. Такой технологией с точки зрения авторов могут быть технологии биодобычи минералов и инновационные технологии фитомайнинга для доизвлечения отходов. Под фитомайнингом понимают использование растений для коммерческой добычи ценных металлов из почв и сточных вод хвостхранилищ. Для фитомайнинга используются наземные части растений гипераккумуляторов, из которых посредством озеленения выделяются добываемые металлы. Целью настоящей работы являлась отработка технологии фитомайнинга применительно к северным территориям Бодайбинского район, где добыча самородного золота ведется уже более 150 лет [1–5].

На первом этапе исследований нами выполнен анализ зарубежной научной литературы по составлению перечня растений-гипераккумуляторов золота. В результате были установлены несколько видов, способных накапливать золото в большом количестве. Установлено, что аккумулировать золото можно с помощью водорослей таких как хлорелла (*Chlorella vulgaris*); фукус пузырчатый (*Fucus vesiculosus*), эклония кава (*Ecklonia cava*), бурая водоросль *Cystoseira baccata* и другие. Результаты накопления золота некоторыми водорослями представлены в таблице 1.

**Таблица 1.** Концентрации восстановленного золота, полученного методом биоаккумуляции

Латинское название водоросли	Потенциал биоаккумуляции, мг/г
<i>Rhizoclonium hieroglyphicum</i>	3,28
<i>Lyngbya majuscula</i>	1,93
<i>Spirulina subsalsa</i>	1,73

Способность аккумулировать золота выявлена у следующих наземных растений: алоказия крупнокорневищная (*Alocasia macrorrhizos*), в стебле накапливается до 89 % золота, в листьях до 65 %; резуховидку

(резушку) Таля (*Arabidopsis thaliana*) накапливает до 15 % золота в корнях, остальное концентрируется в побегах, 3 видов иранских люцерн (*Nikshahri*, *Hamedani* и *Yazdi*).

Процесс извлечения золота интенсифицируется в присутствии хелатообразователей, наиболее эффективными гипераккумуляторами являются горчица сарепская, редька посевная, морковь дикая, клевер ползучий, сорго аллепское, подсолнечник однолетний, кукуруза, табак. Применительно к условиям Крайнего севера Бодайбинского района нами предложено использовать в качестве гипераккумулятора золота техническую коноплю непосредственно высаживая ее на отвалах, а также водные растения — харовые водоросли и элодею канадскую. В табл. 2 приведены результаты испытаний по накоплению металлов, в том числе золота из водной среды.

**Таблица 2.** Коэффициенты накопления металлов водными растениями

Металл	Коэффициент накопления	
	элодеи	харой
медь	280	320
цинк	500	410
свинец	800	680
золото	630	810
серебро	510	620

Таким образом, установлено, что 1 га заросле элодеи канадской может извлекать из сточных вод в сутки (г): свинца — 202, меди — 89, цинка — 10, золота — 296, серебра — 210. Высаживая техническую коноплю на отвалах, можно дополнительно извлекать золото в виде биоруды. Рассматриваемая технология перспективна и требуется проведение опытно-промышленных испытаний.

### Список литературы

1. Дроздова И.В., Бобоев А.А., Тимофеева С.С. // IX Всероссийская научно-практическая конференция «Техносферная безопасность в XXI веке». 2019. С. 31–36.
2. Nakajima A. // World J. Microbiol. Biotechnol. 2003. № 19. P. 369–374.
3. Keshavarzi M, Davoodi D, Pourseyedi S, Taghizadeh S. // Gold Bulletin. 2018. P. 1–12.
4. Mata Y., Torres E., Blazquez M., Ballester A., Gonzalez F., Munoz J. // J. Hazard. Mat. 2009. № 166. P. 612–618.
5. Moore B., Duncan J., Burgess J. // Miner. Eng. 2008. № 21. P. 55–60.

## **Медицинские отходы как источник загрязнения антибиотиками водных объектов**

С.С. Тимофеева<sup>1</sup>, Г.М. Бодяенкова<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> *Иркутский национальный исследовательский технический университет, 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83*

<sup>2</sup> *Восточно-Сибирский институт медико-экологических исследований СО РАН, 665826, г. Ангарск, ул. 12А микрорайон, 3а*

В современных условиях, когда на планете распространяется и не щадит миллионы людей вирус SARS-CoV-2, резко возрастает количество медицинских отходов. Понятие «медицинские отходы» включает в себя любые отходы, образующиеся в результате деятельности медицинских учреждений или лечебно-профилактических мероприятий, проводимых населением (полностью или частично состоящие из тканей человека или животных, крови или других жидкостей тела, экскрементов, фармацевтических препаратов, бинтов, предметов медицинского ухода и др.).

Медицинские отходы в большинстве стран мира давно относят к категории особо опасных отходов. Проблема заключается в том, что количество медицинских отходов имеет стабильную тенденцию к интенсивному росту, особенно в настоящее время в связи с пандемией. Медицинские отходы являются основным источником поступления вредных химических, химико-биологических и биологических элементов в окружающую среду. Это прежде всего лекарственные средства и химикаты — твердые, жидкие химикаты; дезинфицирующие средства; токсические вещества; просроченные или фальсифицированные лекарственные средства; цитотоксины. В большинстве ЛПУ отсутствует организованная система сбора, хранения и транспортировки и удаления остатков лекарственных препаратов, как правило их сливают в общегородскую систему водоотведения [1–3].

Целью настоящей работы являлся сбор и анализ информации по медицинским отходам в ЛПУ Байкальского региона как источников поступления в водные объекты антибиотиков. Объектами исследования являлись ЛПУ г. Иркутска и справочная информация по количеству антибиотиков, проходящих через аптекарскую сеть г. Иркутска, количеству пациентов, проходящих через ЛПУ.

Сточные воды лечебных учреждений не подвергаются какой-либо обработке на локальных очистных сооружениях, в них были обнаружены следы 14 антибиотиков, в том числе сульфаниламидов, тетрациклинов, фторхинолонов, макролидов, цефалексина, линкомицина и триметоприма. При этом на очистных сооружениях удаления

антибиотиков не происходит. Они транзитом проходят и поступают в водоемы. Нашими исследованиями установлено, что в настоящее время в условиях пандемии в среднем в ЛПУ обращается до 1 кг фармацевтических препаратов, при усвоении их на 30–40 %, непосредственно в больничные стоки с продуктами жизнедеятельности будет поступать на очистные сооружения города до 300–400 грамм фармацевтических препаратов. Согласно принятой классификации риски по индексу опасности (НQ) являются следующими: уровень риска минимальный, если  $HQ < 0,1$ ; уровень риска низкий, если  $HQ = 0,1–1,0$ ; уровень риска средний, если  $HQ = 1,0–5,0$ ; уровень риска высокий, если  $HQ = 5,0–10,0$  и уровень риска чрезвычайно высокий, если  $HQ > 10,0$ . В таблице 1 приведены значения индексов опасности, рассчитанные на нормативное потребление питьевой воды продуктов при минимальных и максимальных концентрациях антибиотиков.

**Таблица 1.** Прогнозное значение индекса опасности при употреблении воды для питьевых целей, загрязненных антибиотиками

Исследуемый образец Вода питьевая из...	Прогнозное значение индекса опасности по минимальной концен- трации	Прогнозное значение индекса опасности по максимальной концен- трации
родников	0,9	5,2
Ангары ниже сброса сточ- ных вод	0,1	1,5

Прогнозная оценка экологических рисков для населения на основе расчета индекса опасности показала, что риски относятся к категории средних и низких. Число проб с выявленным наличием антибиотиков от общего количества исследованных составляет 0,2–2,5 %, что указывает на серьезность проблемы экологических рисков для населения Байкальского региона и необходимо продолжить исследования уже в направлении загрязнения водоемов медицинскими отходами.

### Список литературы

1. Felicity T. // Панорама общественного здравоохранения. 2017. Т. 3 (1). С. 1–140.
2. Ternes Th.A., Stuber J., Herrmann N., McDowell D., Ried A., Kampmann M., Teiser B.. // Water Res. 2003. № 8. С. 1976–1982.
3. Burns, Emily E, Carter, Laura J, Snape, Jason R. et al. // Journal of Toxicology and Environmental Health, Part B: Critical Reviews. 2018. Т. 21. № 3. P. 115–141.

## **Профессиональные риски на объектах нефтегазодобычи Иркутской области**

С.С. Тимофеева, Н.А. Попова

*Иркутский национальный исследовательский технический университет, 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83*

Риск-ориентированный подход, внедряемый в настоящее время на объектах нефтедобычи, предполагает определение категорий и критериев риска, периодическую переоценку риска на основе актуализированных нормативно-правовых документов [1–6].

Целью настоящей работы является анализ системы управления профессиональных рисков и мероприятий по их минимизации с использованием нововведений и инновационных решений на объектах нефтедобычи в Иркутской области.

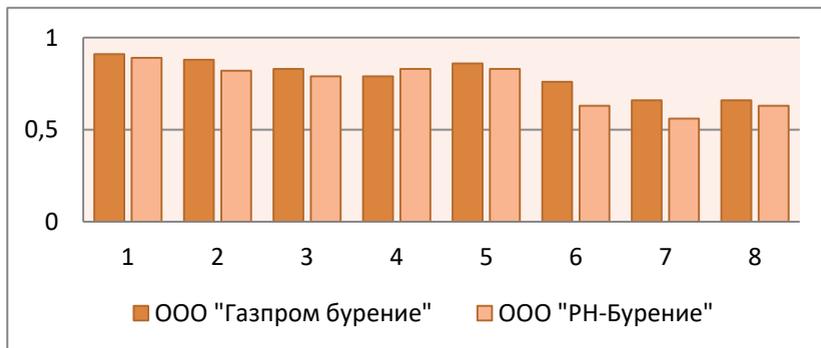
В настоящее время Иркутская область является лидером по темпам роста добычи нефти. Объектом исследования явились условия труда и профессиональные риски на объектах нефтедобычи двух ведущих нефтяных компаний в Иркутской области: Иркутский филиал ООО «Газпром бурение» (Ковыктинское газоконденсатное месторождение — Жигаловский район) и Иркутский филиал ООО «РН-Бурение» (лицензионный участок №71 Даниловский на расстоянии 530 км от с. Ербогачён Катангского района).

В работе оценивали риски, на основе материалов обязательной для всех процедуры специальной оценки условий труда, основных профессий, участвующих в добыче углеводородного сырья. На работников буровых установок Иркутских филиалов ООО «Газпром бурение» и ООО «РН-Бурение» действует комплекс производственных факторов (химические вещества, шум, вибрация, неблагоприятный микроклимат и др.). Факторы могут изменяться в широком диапазоне в течение смены и часто превышать предельно допустимые величины.

Общая оценка условий труда на рабочих местах этих профессий характеризуется вредным третьим классом с разной степенью вредности. При оценке негативного воздействия были выявлены основные источники загрязнения: силовые агрегаты БУ (буровой установки), работа автотранспорта и дорожной техники, дизель-генераторная станция АСДА-100, электростанции, сварочные работы, факел, склады ГСМ и др.

Обобщенный уровень безопасности на каждом рабочем месте равен произведению всех уровней безопасности по каждому фактору производственной среды для отдельно взятой профессии [7].

В результате расчетов получены средние значения обобщенных уровней профессионального риска для Иркутских филиалов ООО «Газпром бурение» и ООО «РН-Бурение» (рисунок). По результатам произведенной оценки рисков было выявлено, что уровни риска исследуемых профессий относятся к категориям высоких и средних.



**Рисунок.** Значения обобщенных уровней профессионального риска для каждой профессии при ведении работ: 1 — бурильщик эксплуатационного и разведочного бурения скважин на нефть и газ при бурении скважин, 2 — помощник бурильщика эксплуатационного и разведочного бурения скважин на нефть и газ при бурении скважин, 3 — слесарь по обслуживанию буровых установок эксплуатационного и разведочного бурения на нефть и газ, 4 — электромонтер по обслуживанию буровых установок эксплуатационного и разведочного бурения на нефть и газ, 5 — вышкомонтажник, 6 — мастер буровой, 7 — супервайзер, 8 — помощник мастера бурового

Установлено, что неприемлемыми являются негативные воздействия движущихся машин и механизмов, общая вибрация, шум, пониженные температуры воздуха (в зимний период времени).

Для минимизации рисков предложено внедрить на исследуемых буровых установках систему управления опасными зонами «Красные зоны» — «Red zone management», предназначенную для снижения риска падения предметов, контакта с движущимися механизмами, высокого давления, воздействия химикатов и бурового раствора, а также ограничения попадания сотрудников в опасные зоны с наиболее высоким уровнем риска получения травм и летальных исходов.

### Список литературы

1. Мартынов А.В. // Юрист. 2016. №18. С. 22–27.
2. Конторович А.Э., Бурштейн Л.М., Лившиц В.Р., Рьжкова С.В. // Вестник Российской академии наук. 2019. Т. 89. № 11. С. 1095–1104.

3. Филимонова И.В., Немов В.Ю., Мишенин М.В., Проворная И.В. // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. 2019. № 4 (167). С. 52–62.
4. Филимонова И.В., Эдер Л.В., Немов В.Ю., Проворная И.В. // Бурение и нефть. 2019. № 7–8. С. 9–19.
5. Тимофеева С.С. // XXI век. Техносферная безопасность. 2016. № 1 (1). С. 14–23.
6. Солодовников А.В., Махнёва А.Н. // Технологии нефти и газа. 2018. № 2 (215). С. 54–53.
7. Тимофеева С.С. Современные требования к оценке профессиональных рисков на объектах золотодобычи / С.С. Тимофеева, И.В. Дроздова, С.С. Тимофеев // Науки о Земле и недропользование. 2020. Т. 43. № 2 (71). С. 242–255. – DOI 10.21285/2686-9993-2020-43-2-242-255.

## Investigation of the effect of pH on manganese (III) oxide compounds activity in ORR

K.A. Dosaev

*Moscow State University, Leninskie Gory, 1-str. 3, Moscow, 119991, Russia*

The oxygen reduction reaction (ORR) has attracted the attention of researchers due to the fact that it underlies many technologically important processes. However, despite the large volume of research, important fundamental gaps remain in understanding the key stages of the ORR, which is associated with a multi-stage reaction and a large number of factors, which effects on the kinetics. Part of the work was also the study of catalytic reactions for the hydrogen peroxide oxidation/reduction reactions (HPRR/HPOR) at different pH values, which will help better understanding the processes occurring in ORR.

The objects of study were  $\text{Mn}_2\text{O}_3$ ,  $\text{LaMnO}_3$ ,  $\text{MnOOH}$ . Samples were synthesized and characterized by various methods such as BET, scanning electron microscopy (SEM) and X-ray power diffraction. This choice of oxides is due to different structural types of compounds, their different catalytic activity in ORR (activity decreases in the order  $\text{Mn}_2\text{O}_3 > \text{LaMnO}_3 > \text{MnOOH}$ ), as well as different limiting stages of the oxygen reduction mechanism (fig. 1).

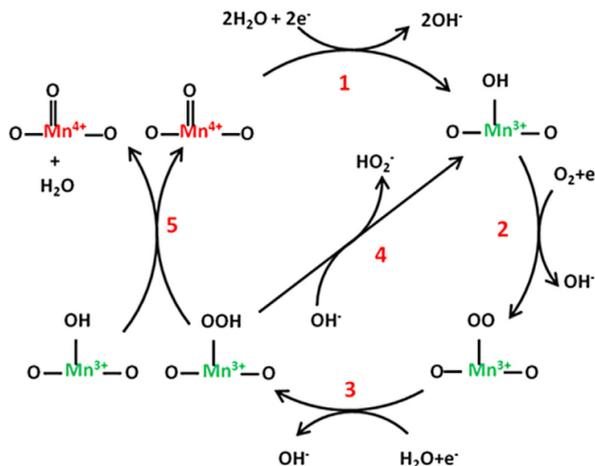


Fig. 1. Proposed oxygen reduction mechanism [1]

Polarization curves for the ORR and HPRR/HPOR for  $\text{LaMnO}_3$ ,  $\text{Mn}_2\text{O}_3$  and for  $\text{MnOOH}$  oxides and for Sibunit carbon (considering that the latter is always added to oxides in order to improve the electronic conductivity of

electrodes) was obtained. It was demonstrated that for carbon RDE voltammograms shift systematically with pH (40 mV/pH). For  $\text{Mn}_2\text{O}_3$  and  $\text{MnOOH}$  the ORR RDE voltammograms also shift towards higher overpotentials with the decrease of pH, although the behavior is somewhat different from that demonstrated by carbon. Theoretical analysis [2] of the influence of pH on the rates of heterogeneous electrocatalytic reactions involving transfer of electrons and protons indicates that rates of reactions involving simultaneous electron and proton transfer do not depend on pH, while strong pH dependence suggests separate transfer of a proton and an electron. Thus, experimental data suggest that ORR on carbon likely involves separate steps of an electron and proton transfer, with an intermediate formation of  $\text{O}^{2-}$ . Similar reaction steps may occur on the studied Mn oxides. It is interesting to note that for the HPRR/HPOR, the behavior of  $\text{Mn}_2\text{O}_3$  and  $\text{MnOOH}$  is significantly different. For the former, RDE curves are nearly independent on pH (the only difference related to the pH dependence of the  $\text{O}_2$  diffusion coefficient). In contrast, for  $\text{MnOOH}$  there is a strong effect of pH on polarization curves. The observed difference may be attributed to the fast kinetics of hydrogen peroxide reactions on  $\text{Mn}_2\text{O}_3$  (the reaction being limited by diffusion) and slow kinetics of the hydrogen peroxide reactions on  $\text{MnOOH}$ . Furthermore, considering the above discussion, it is likely that the HPRR/HPOR on  $\text{MnOOH}$  also follow pathway involving separate electron and proton transfer.

*This work was funded by RFBR according to the research project № 20-33-90160.*

### References

1. A.S. Ryabova, F.S. Napolskiy, T. Poux, S.Ya. Istomin, A. Bonnefont, D.M. Antipina, A.Ye. Baranchikov, E.E. Levina, A.M. Abakumove, G.Kerangueven, E.V. Antipov, G.A. Tsirlina, E.R. Savinova // *Electrochimica Acta*. 2016. Vol. 187. P. 161–172.
2. T.M. Koper // *Chem. Sci*. 2013. Vol. 4. P. 2710–2723.

## Mn (III) — containing spinels as ORR catalysts in an alkaline medium

D.A. Strebkov, K.A. Dosaev, A.G. Bekenov

*Moscow State University, Leninskie Gory, 1-str. 3, Moscow, 119991, Russia*

Liquid alkaline (AFC) and anion exchange membrane fuel cells (AEMFC) are among the most promising solutions for converting chemical energy into electrical one. However, today there are several problems that prevent their commercialization, one of which is the use of expensive Pt metal as electrocatalyst for the electrode reactions, in particular at the cathode. However, it was shown that it is possible to use transition metal oxides instead of Pt as catalysts in the oxygen reduction reaction (ORR) at the cathode of an AFC or AEMFC. It was previously established that oxides containing  $\text{Mn}^{3+}$  in their composition possess high catalytic activity in the reaction of oxygen reduction in an alkaline medium [1]. However, it has not yet been established which of the specific characteristics of the oxide (composition, crystal structure, etc.) determine its catalytic activity in ORR.

Spinel is an interesting subject of research. These compounds have the formula  $\text{AB}_2\text{O}_4$ , where B is cation of 3d metal such as manganese. These compounds are interesting in that by changing cation A it is possible to change the oxidation state of manganese and to change the distance between the catalytic centers (which is presumably a descriptor of catalytic activity). In this case, the crystal structure of these compounds remains the same. Even though this class of compounds has been actively studied, there are still questions related to the relationship between the spinel composition and the electrocatalytic activity in ORR.

Spinel of the composition  $\text{Mn}_3\text{O}_4$ ,  $\text{MgMn}_2\text{O}_4$ ,  $\text{CdMn}_2\text{O}_4$ ,  $\text{LiMn}_2\text{O}_4$  were synthesized and characterized by BET, SEM and powder X-ray diffraction. The specific surface area of the obtained compounds determined with  $\text{N}_2$  adsorption (within BET approximation) ranged from 16.5 for  $\text{Mn}_3\text{O}_4$  to 39.4  $\text{m}^2/\text{g}$  for  $\text{CdMn}_2\text{O}_4$ . The BET surface area of  $\text{MgMn}_2\text{O}_4$  and  $\text{LiMn}_2\text{O}_4$  compounds is equal to 22 and 21  $\text{m}^2/\text{g}$  correspondingly.

The obtained samples were investigated electrochemically (by the methods of cyclic voltammetry, CV, and by the method of a rotating disk electrode, RDE). Considering that the shape of CVs, and in particular the position of red-ox peaks (corresponding to  $\text{Mn}^{3+}/\text{Mn}^{4+}$  transition) are very sensitive to the structure of the interface, it is interesting to note that CVs of all spinel oxides (with the exception of  $\text{LiMn}_2\text{O}_4$ ) are rather similar and resemble the CV of  $\text{MnOOH}$ . This may indicate that degradation of the samples occurs when they are placed in an electrolyte and when a potential is applied. During

decomposition, a product like MnOOH can be formed on the electrode surface explaining the shape of CVs in the supporting electrolyte. For proving this observation, we also set up an experiment to study the stability of these compounds, when, after studying the ORR, the electrode was placed back into an oxygen-free alkaline solution. It turned out that the shape of the CV before and after ORR measurements for CdMn<sub>2</sub>O<sub>4</sub> and Mn<sub>3</sub>O<sub>4</sub> was significantly different, which may indicate the degradation of the oxides. In addition, for all spinel oxides the charges calculated from CVs were compared with theoretical ones, the latter estimated from the BET surface area and Mn cation density in the oxide crystals (not shown). It turned out that for LiMn<sub>2</sub>O<sub>4</sub> and MgMn<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, the experimental and the theoretical charge differ significantly, which can also be related to the surface degradation (making the second and subsequent atomic layers accessible). From the polarization curves for the reduction of oxygen and hydrogen peroxide, it can be seen that Mn<sub>3</sub>O<sub>4</sub>, MgMn<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, and CdMn<sub>2</sub>O<sub>4</sub> have similar activities, which may also indicate degradation and that a low-activity degradation product is formed on the surface. The electrical activity of spinels is significantly lower than that of Mn<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and is comparable to that of MnOOH. To sum up, we can conclude that, for the spinel class compounds, degradation of samples likely occurs in 1 M NaOH.

*The reported study was funded by RFBR, project number 18-29-12064 mk.*

### References

1. A. Bonnefont, A.E. Baranchikov, and E.E. Levin, “Rationalizing the Influence of the Mn (IV) / Mn (III) Red-Ox Transition on the Electrocatalytic Activity of Manganese Oxides in the Oxygen Reduction Reaction” No. December 2015, 2016.

## Study of *Elodea canadensis* elimination of sodium dodecyl sulphate and $\text{NH}_4\text{Cl}$

S.E. Sergienko<sup>1,2</sup>, S.S. Timofeeva<sup>2</sup>, A.B. Kupchinsky<sup>3</sup>,  
D.I. Stom<sup>1,2,3</sup>, G. Chaneva<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Irkutsk State University, Irkutsk, Lenin Str. 3, Russia

<sup>2</sup> Irkutsk National Research Technical University,  
Irkutsk, Lermontov Str. 83, Russia

<sup>3</sup> Baikal Museum of the ISC, Listvyanka, Akademicheskaya Str. 1A, Russia

<sup>4</sup> Sofia University "St. Kliment Ohridski", 1504,  
Sofia, 15 Tsar Osvoboditel Blvd., Bulgaria

One of the most pressing problems, both for the drainage basin of Lake Baikal and for the natural waters of the entire country, is pollution with biogenic elements (urea, ammonium, nitrates, phosphates, etc.), surfactants (surfactants) and often containing detergents. Baikal water has a very weak mineralization and, accordingly, a low content of biogenic elements [1]. In this regard, an increase in the concentration of nutrients, surfactants and detergents can initiate the eutrophication of water bodies. The subsequent dying off of the phytomass, followed by rotting and a sharp decrease in oxygen, has a negative effect on biota organisms. In recent years, a very high hyperproduction of filamentous algae has been observed on Lake Baikal. This process, according to a number of researchers, is associated with the intensive development of the tourism business on the shores of Lake Baikal and, accordingly, an increase in anthropogenic pressure on the ecosystem of Lake Baikal. Every year Baikal is visited by about 1.5–2 million tourists, as a result of which about 780 thousand tons of waste are generated [2]. Every year, the lake receives about 60 million tons of wastewater from settlements and from enterprises located on its banks. To predict the situation in a water body with the accumulation of nutrients, as well as in the development of phytoremediation measures, information is needed on the interaction of processes in the plant biogens and surfactants.

Based on the foregoing, the purpose of this communication was to study the ability of the aquatic plant *Elodea canadensis* to absorb ammonium nitrogen from the aquatic environment and the effect of the anionic surfactant sodium dodecyl sulfate (SDS) on this process.

*E. canadensis* was collected in the Angara River (Irkutsk) in the spring-autumn period of 2020. Before the experiments, elodea was incubated in laboratory conditions for three days at a temperature of 8 °C under intense illumination. In the experiments, a 20 g / l sample of *E. canadensis* was incubated in the tested solutions of biogenic elements (2–4 mg / l  $\text{NH}_4^+$ ) and surfactants ( $1 \cdot 10^{-5}$  M,  $1 \cdot 10^{-4}$  M,  $2 \cdot 10^{-5}$  M,  $5 \cdot 10^{-5}$  M SDS) for 3 days. The

change in the concentration of these substances under the influence of macrophytes was assessed by a photometric method. The determination of the mass concentration of ammonia and ammonium ions (with Nessler's reagent) was carried out according to GD 52.24.486-2009 [3]. The concentration of surfactants in aqueous media was determined according to 14.1:2:3:4.10-04 [4]. The experimental results were compared with the kinetics of the content of the studied compounds in the absence in plants, which could change, in particular, in the natural processes of oxidation by air oxygen or biodegradation under the influence of microorganisms. Statistical data processing was performed using the Microsoft Office software package. The experiments were carried out in 5 independent experiments, 3 replicates in each experiment. The conclusions were made with the probability of an error-free prediction  $P \geq 0.95$ .

When studying the effect of SDS on the dynamics of the elimination of ammonium nitrogen in *E. canadensis*, it was shown that in 2 days of the experiment this plant absorbed up to 92 % of ammonium nitrogen (as a percentage of the initial).

Experiments have shown the negative effect of SDS on the elimination of ammonium nitrogen by *E. canadensis* at its content from  $1 \cdot 10^{-5}$  M. The absorption of ammonium in the presence of SDS in the indicated concentration was 51 % (as a percentage of the initial), which is 40 % less than without the effect of the pollutant. The rest of the surfactant concentrations were found to be inactive — the kinetics of the ammonium content was comparable to the intensity of absorption by elodea without the effect of SDS. It was also shown that *E. canadensis* reduced the content of SDS in water (at its initial concentration of 2 mg / l) by 90 % compared to the initial one.

The experimental studies carried out are part of an extensive block of work on the study of the processes of interaction of aquatic plants with surfactants and nutrients in their joint presence in aquatic environments. The described preliminary materials demonstrate the promising nature of *E. canadensis* as a possible object for use in phytoremediation technologies for purifying waters with complex pollution — biogenic elements and surfactants.

*The work was carried out with the support of a grant competition for environmental projects En + Group. The studies were carried out using the Center for Collective Use of the Baikal Museum of the Irkutsk Scientific Center (<http://ckp-rf.ru/ckp/495988/>).*

## References

1. Korytny L., Gagarinova O. E3S Web Conf. 2020. Vol. 163. P. 6.
2. Hosaka Y. Journal of Climate Change. 2016. Vol. 2. № 1. P. 61–67.
3. GD 52.24.486-2009. 2009. 21 p.
4. Federal environmental regulations 14.1:2.15-95. 2004. 14 p.

## Modeling of tailing dumps dusting at different wind speeds

A.A. Cherentsova, L.P. Maiorova, L.T. Krupskaya, M.Yu. Filatova

<sup>1</sup>*Pacific National University, Tikhookeanskaya str. 136,  
Khabarovsk, 680035, Russia*

<sup>2</sup>*Far East Forestry Research Institute, Volochaevskaya str. 71,  
Khabarovsk, 680030, Russia*

The results of assessing dusting of technogenic wastes stored in the Krasnorechensky tailing dump (Primorsky Krai) and the formation of ground level pollutant concentrations in the nearby residential area are presented. The problem of tailing dump dusting is quite serious and has been studied by a number of authors, with a significant scatter of results [1]. To assess the situation, the models and computer codes were used to calculate the processes of aerodynamics and pollutants distribution in different environments (PORFLOW, AQUA3D, COMSOL, FLUENT, etc.). However, for the conditions of mining enterprises in the Far Eastern Federal District of Russia this problem has been insufficiently studied. In this work we used certified methods and programs on which the sanitary and hygienic assessment is focused. Calculation of tailing dumps dusting was performed according to the methodical guide for calculation of fugitive source emissions in the building materials industry (2000) [2]. To calculate the ground level concentrations, the program UPAPE (Unified Program of air pollution estimation) Ecolog — 4.6 was used according to MPEE-2017 (Methods of pollutants emission estimation). Modeling was performed using emission values calculated at wind speed not exceeding in 95 % of cases ( $U^*$ ); at average annual wind speed; at different variants of dusty material humidity (0–0.5 %; up to 1 %; up to 3 %; up to 5 %; up to 7 %; up to 8 %; up to 9 %; up to 10 %; > 10 %). The study considered the elements of hazard class I — Hg, Pb, Zn and As, class II — Cu, Ni, Cr (VI), class III — Mn, as well as inorganic dust 20–70 % —  $\text{SiO}_2$ . The geochemical series of surface concentrations in the atmosphere ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ) within the limits of the tailing dump impact for compounds of heavy metals and arsenic are as follows:  $\text{Zn} > \text{Mn} > \text{Pb} > \text{As} > \text{Cu} > \text{Cr} > \text{Ni} > \text{Co} > \text{Hg} > \text{Mo}$ . It was found that in the nearest residential area from Krasnorechensky tailing dump the surface concentrations (MPC fr.) of Hg, Zn, As, Cu, Ni, Cr (VI) for all variants are equal to zero. At the residential area of the Krasnorechensky site, it was revealed that the hygienic requirements were exceeded: for manganese compounds — in 1.07–3.3 times (when the wind speed does not exceed in 95 % of cases, the humidity of the material — from 0–0.5 % to 8 %), for lead compounds — in 2.35–34.54 times and for inorganic dust — in 2.56–38.16 times (when the wind speed does not exceed in 95 % of cases,

humidity — from 0–0.5 % to 10 %). The maximum contribution to the formation of ground level lead concentrations is made by the old tailing dump facility, for inorganic dust — by the new tailing dump with the wind close to the northeast. The results of the study indicate that dusting of tailings dump contributes significantly to pollution of the environment. Zones of increased technogenic pollution of the air basin and the environment in general are formed, halos of intensive pollution appear in the area of the tailings dump and at considerable distances from them, which causes deterioration of the health of mining settlements population, especially in the areas adjacent to the tailings dumps. The measures to reduce its negative impact on the eco-sphere have been developed.

*This work was supported by the RFBR [Grant number 20-35-90021]; the State assignment of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation [Grant number: 075-03-2020-121/4]; and the Russian Scientific Fund [Grant number: 15-17-10016].*

### **References**

1. V.A. Masloboev, A.A. Baklanov, S.I. Mazukhina, O.Yu. Rigina, P.V. Amosov. Numerical modelling of dusting processes in ANOF-2 tailings impoundment // Bulletin of the Murmansk State Technical University. 2014. Vol. 17. № 2. P. 376–384.
2. Metodicheskoye posobiye po raschetu vybrosov ot neorganizovannykh istochnikov v promyshlennosti stroitel'nykh materialov [Guide for calculating emissions from fugitive sources in the building materials industry]. Novorossiysk: ZAO «NIPIOTSTROM». 2000. 38 p. (In Russian).

## **Atmospheric air monitoring in Tomsk city: current status and proposals**

D.V. Gusak

*Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems SB RAS,  
634055, Tomsk, Academichesky ave., 10/3*

In all settlements, depending on such factors as: population, area of the settlement, terrain and degree of industrialization, a certain number of monitoring posts are established in accordance with Guidance document 52.04.186-89 [1].

In the city of Tomsk, in accordance with document [1] and State report [2], 7 monitoring posts were established, of which: 1 — urban background, 4 — industrial, 2 — auto. This set of monitoring posts allows you to get a general picture of the pollution of the city, tracking the average annual and maximum single concentrations, since observations are carried out according to an incomplete monitoring program. The location of the monitoring posts is shown in Figure 1.

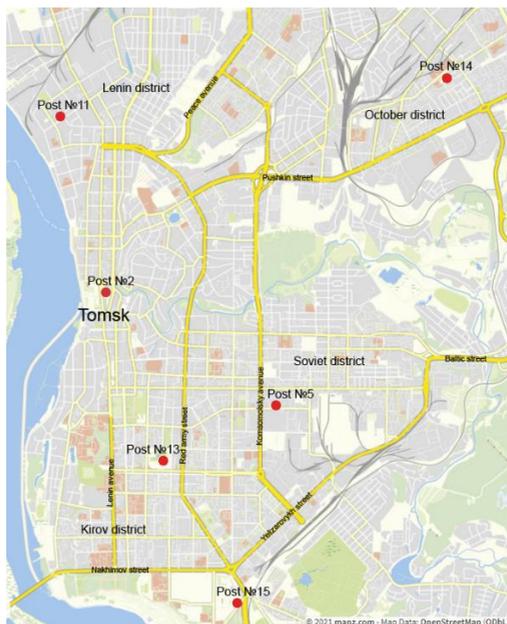
However, today it is necessary to get a more detailed picture of the air quality in the city. This will require a denser monitoring network with its distribution throughout the city or over the main loaded streets. Such network will not only monitor pollution concentrations, but also detect new sources that can arise both as a result of man-made activities and as a result of natural fires.

One embodiment of such network is the use of devices assembled from a set of inexpensive sensors and calibrated according to a certified one. A similar approach was used by British colleagues in the work [3]. This option will allow the installation of an extensive network with a given density of sensors for monitoring pollution at the level of streets and/or quarters. At the initial stage, it is possible to limit the control of substances using the optical method.

Such substances include, for example, particulate particles (PM), the excessive presence of which leads to various diseases, both the human respiratory system and the eyes, as well as the cardiovascular system. In accordance with [2], the largest values of the average annual concentration of PM in the city of Tomsk were at post №5 and amounted to 0.9 of maximum permissible concentrations (MPC), and the maximum single concentration of 5 MPC was recorded at post №11. One way to obtain information about the reasons for the occurrence of values other than the total 0.6 MPC is a such detailed network.

Another way of implementing the obtained data is to analyze the air along the streets on which traffic jams are observed during peak hours.

In case of high concentration values, it is possible to make recommendations aimed at optimizing traffic, tightening the requirements for emission sources, determining the true sources of pollution.



**Fig. 1.** Location of monitoring posts

The advantage of such a network is the possibility of modifying the device used on inexpensive sensors. This can be: improving the power system, adding new sensors, optimizing the data processing algorithm. This provides an opportunity for multivariable design of the device and improvement as the technology develops.

### References

1. Guidance document 52.04.186-89 Atmospheric Pollution Control Manual. St. Petersburg: Gidrometeoizdat Publ. 1991. 694 p. (In Russian).
2. State report. About the environmental state and protection in the Tomsk region in 2019. Tomsk, Department of Natural Resources and Environmental Protection of Tomsk Region and RSBI “Oblkompriroda” Publ. 2020. 135 p. (In Russian).
3. Munir S., Mayfield M., Coca D., Jubb S.A. // Atmospheric Environment: X. 2019. Vol. 2. 100027. doi: 10.1016/j.aeoa.2019.100027.

## Портативная станция мониторинга качества воздуха

М.В. Петрова

*Национальный исследовательский университет «Высшая Школа  
Экономики», Покровский бульвар, 11, Москва, Россия, 109028*

### Аннотация

В работе представлена функциональная схема портативной станции мониторинга качества воздуха на основе сенсора частиц PM<sub>2,5</sub> и PM<sub>10</sub> и датчика измерения давления, температуры и влажности.

### Введение

Тема здоровья человека очень актуальна в последнее время. Экология в целом, и чистота воздуха в частности, обозначается многими исследователями, как фактор риска для многих заболеваний дыхательных путей [1].

Вопрос о чистоте воздуха не появился в один момент, Всемирная организация здравоохранения давно активно следит за этим показателем в разных регионах планеты и по их данным до 91 % людей живут в зоне, в которой показатели качества и чистоты воздуха значительно ниже рекомендованных [2]. Джон Е. Вена в своей статье так же приходит к заключению, что экология, а в частности показатель частоты воздуха, напрямую связаны с онкологическими заболеваниями [3]. Из этого можно сделать вывод, что чистота и качество воздуха жизненно необходимо поддерживать на высоком уровне.

Функциональная схема устройства, представленного в этой работе, использует недорогие компоненты, которые легко можно найти и использовать. Предполагается, что это позволит любому желающему беспрепятственно собрать её.

Задача процессора в представленной схеме (рис. 1) — обрабатывать информацию, полученную от датчика и сенсора, и передавать её по Wi-Fi. Так же стоит отметить, что в этом случае лучше брать процессор с защитой от высокочастотного шума, чтобы устройство не зависало и не давало сбоев.

Датчик ВМЕ280 не отслеживает показатели чистоты воздуха, поэтому не является принципиально важным в данной схеме.

## Описание функциональной схемы

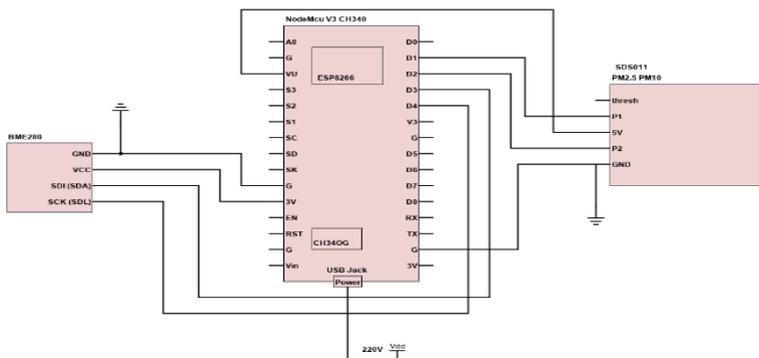


Рис. 1. Функциональная схема устройства

Наибольший интерес представляет сенсор SDS011, именно он является ключевым элементом всей функциональной схемы. Принцип работы этого датчика основан на оптическом обнаружении частиц пыли, которые летают в воздухе. Эти частицы проходят между источником света и фотодиодом. В основном частицы пыли изменяют сигнал, полученный детектором от источника света, собирая излучаемый свет, рассеянный пылью частицы (так называемый принцип "рассеяния"). Силовой резистор нагревает воздух в оптической камере и создает поток между двумя отверстиями, вставленными в пластиковую крышку [4].

### Заключение

Портативная станция мониторинга качества воздуха поможет приблизиться к решению проблемы загрязнения воздуха. Однако данное устройство, конечно, не решает проблему загрязненности воздуха, но оно может помочь в повышении уровня осведомленности людей и, при масштабном использовании датчиков в одном городе, обратить на проблему внимание властей. Которые в свою очередь уже могут предпринять определенные действия для решения данной проблемы.

### Список литературы

1. Kovesi T., Gilbert N.L., Stocco C., Fugler D., Dales R.E., Guay M., Miller J.D. // Cmaj. Indoor air quality and the risk of lower respiratory tract infections in young Canadian Inuit children. 2007. Vol. 177. P. 155–160.
2. Всемирная организация здравоохранения, Россия [Электронный ресурс]. URL: <https://www.who.int/airpollution/ru/> (дата обращения: 20.11.2020).

3. John E. Vena // American Journal of Epidemiology. Air pollution as a risk factor in lung cancer. 1982. Vol. 116. P. 42–56. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.aje.a113401>.
4. M. Canu, B. Galvis, R. Morales, O. Ramírez, M. Madelin // IEEE International Conference on Environmental Engineering. Understanding the Shinyei PPD24NS low-cost dust sensor. 2018. P. 1–10.

## Comparative assessment of the effectiveness of enhancing phytoextraction with heavy metals by creeping clover (Latin *Trifolium repens L.*) by introducing various drugs that stimulate plant growth and development

A.S. Makarova, M.G. Golenko, K.V. Pishchaeva

*D. Mendeleev University of Chemical Technology of Russia, Russia, Moscow, Miusskaya square 9, 125047*

### Annotation

Among the various methods used, phytoremediation is one of the most inexpensive, safe, innovative and effective tools for rehabilitating soils from heavy metal contamination. The efficiency of this process can be increased by introducing various additives that convert less bioavailable compounds of heavy metals into bioavailable fractions in the soil, and also to increase the rate of transfer of metals to plants.

**Keywords:** heavy metals, phytoextraction, phytoremediation.

As **objects of research**, we used seedlings of white creeping clover (hereinafter — Lat. *Trifolium repens L.*), capable of accumulating heavy metals from the environment (soil contaminated with pollutants). To assess the accumulation of heavy metals by plants, they were planted in the soil and heavy metals (Ni, Cu, Cd) were added, as well as chelate complexes and mineral fertilizers [1–2].

In this work, the positive effect of the introduction of drugs is experimentally established, which is expressed in the intensification of the growth of green mass and an increase in plant resistance to pollution and stress, from the use of a hybrid biological product. To accelerate the transfer of heavy metals from soil to plants, a potassium complex of oxyethylene diphosphonic acid (hereinafter referred to as  $K_2HEDP$ ) has been proposed. For the growth of green mass, the following were also used: nitrogen-phosphorus-potassium fertilizers (hereinafter — NPK), mineral fertilizer "Iron Chelate" (hereinafter — Fe-chelate), the drug "Kornevin", the drug "Zavyaz", disodium salt of ethylenediaminetetraacetic acid (hereinafter — Trilon B).

The results obtained allow us to note the positive effect of the joint introduction of NPK,  $K_2HEDP$ , "Kornevin", "Zavyaz", "Fe-chelate" additives, and the combined addition of NPK,  $K_2HEDP$ , "Kornevin", and "Zavyaz" to plant growth and development despite the presence of excessive concentrations of heavy metals (there is an increase in the growth of *Trifolium repens L.* by 14 % in comparison with the control sample). The addition of

Trilon B and NPK had the opposite effect (there is a decrease in the growth of *Trifolium repens L.* by 2 % in comparison with the control sample).

*The research was carried out with the support of the RCTU project No. 3-2020-039.*

### **References**

1. Blaylock M.J. Phytoremediation of Toxic Metals: Using Plants to Clean up the Environment / Ed. by Raskin I., Ensley B.D. New York: John Wiley and Sons. 2000. P. 53–70.
2. Anil K.G. // International Society of Environmental Botanists. 2003. Vol. 9. No. 2.

## **Development of a method for intensive reclamation of landfills for burial of solid household waste using biological products of prolonged action based on complexones with oxyethylene diphosphonic acid and phenyldiacetic acid derivatives**

R.A. Romanova

*Russian University of Chemical Technology D.I. Mendeleev, Institute of Chemistry and Problems of Sustainable Development, Miusskaya square 9, Moscow, 125047*

One of the strongest and most common chemical contamination is heavy metal contamination [1]. Heavy metals accumulate in the soil, especially in the upper humus horizons, and are slowly removed during leaching, consumption by plants, erosion and deflation — soil blowing [2].

In connection with the intensification of environmental pollution, due to the increase in the technogenic load on the soil, the question of the sanitary, phytoremediation role of agricultural plants is especially acute. Among the various methods used, phytoremediation is one of the most inexpensive, safe, innovative and effective tools for recovering heavy metals from soil [1].

The efficiency of phytoremediation can be increased by introducing various components that stimulate plant growth and development. Several of these components have been identified in various articles. Iron chelate increases the absorption of micro and macro elements by plants [3]. Diatomaceous earth powder improves the physical structure of the soil, enhances the movement of water in the root system [4]. Potassium humate reduces the oppression of plants by heavy metals, accelerates growth and development due to humic acids [1]. Disubstituted potassium hydroxyethylene diphosphonic acid (K<sub>2</sub>HEDP) was also used.

In the work, an experiment was set up in which the named chemical additives were combined and their different concentrations were used. The experiment was carried out using Sarepta mustard, which is a plant that accumulates heavy metals.

As a result of the experiment, some dependences of the growth, state of plants and the amount of accumulated metals on chemical additives were obtained. The best result was shown by K<sub>2</sub>HEDP 10 mmol / l, which was able to increase the ability of Sarepta mustard to accumulate heavy metals (Ni, Cu, Zn, Co, Cr) in the ground part of the plant.

**References**

1. Jang A., Choi Y.S., Kim I.S. Batch and column tests for the development of an immobilization technology for toxic heavy metals in contaminated soils of closed mines // *Water Science and Technology*. 1998. Vol. 37. No. 8. P. 81–88.
2. Ашихмина Т.Я., Домрачева Л.И. Экология родного края: проблемы и пути решения. Книга 2. Киров. 2016. 10 с.
3. Зефирова Н.С. Химическая энциклопедия в пяти томах: Том 5. Москва: Большая Российская энциклопедия, 1998. 786 с.
4. Агишев Б.Т., Кализина А.Э., Агишева А.А. Разработка будущего местных сырьевых ресурсов. Оренбург. 2017. 70 с.

## **Обучение работников профессий цикла добычи нефти нормам и правилам безопасности труда с использованием типовых профессиональных рисков**

Б.В. Севастьянов, Р.О. Шадрин, А.В. Шаламова, Н.В. Селюнина

*ФГБОУ ВО «Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова», г. Ижевск*

Всемирная организация здравоохранения определила параметрические характеристики здоровья, как «состояние полного физического, душевного и социального благополучия, а не только отсутствие болезней и физических дефектов» [1]. Эти параметры зависят от многочисленных факторов среды обитания и сферы деятельности человека: наследственные, природно-климатические, социальные, эпидемиологические, психоземotionalные, экологические. Особое место принадлежит влиянию профессиональных факторов. Исследования показывают, что на долю вредных и опасных факторов, создаваемых производственной средой, приходится до 30 % причин последствий отклонения здоровья. Оценка смертности по миру свидетельствует о более чем 2,3 млн. смертях по причине несчастных случаев на производстве и приобретенных профессиональных заболеваний [2]. Заболевания и травмы с временной потерей трудоспособности получают в общей сложности более 340 млн. человек в год [2].

Современный труд часто сопряжен с влиянием вредных и опасных факторов, необходимо уделять должное внимание здоровью работников, а также регулировать уровень воздействия этих факторов на жизнь и здоровье работников. Охрана труда направлена на защиту от влияния возможных вредных производственных факторов на человека, на сохранение его трудоспособности, на предотвращение производственного травматизма, а также на снижение вероятности возникновения чрезвычайных ситуаций на производстве. Работники нефтегазовой промышленности подвергаются воздействию ряда неблагоприятных факторов, таких как химические вещества, высокий уровень шума и вибрации. На организм работающих в нефтяной отрасли, воздействует ряд неблагоприятных факторов трудового процесса: динамические и статистические нагрузки, вынужденная рабочая поза, высокая нервно-эмоциональная напряженность, вахтовый метод организации труда, нерациональный режим труда, отдыха и питания [3].

Для снижения производственного травматизма (несчастных случаев) и профзаболеваний необходимо проводить оценку профессиональных рисков на рабочих местах. Для сокращения затрат времени на процесс управления профессиональными рисками, а контрено на первый этап (идентификация рисков) для работников цикла добычи нефти были выявлены возможные профессиональные риски из перечня опасностей, представленных в пункте 35 [4].

Для формирования риск-ориентированного мышления работников профессий цикла добычи нефти типовые профессиональные риски следует внедрить в систему обучения работников нормам и правилам безопасности труда. Организацию обучения нормам и правилам безопасности труда следует проводить с использованием модулей. Весь теоретический материал, отражающий содержание обучения, нужно поделить на относительно небольшие по объему модули, каждый из которых будет включать в себя 7–9 дидактических единиц. Идентифицированные профессиональные риски следует включать в каждый модуль исходя из предложенной по природе происхождения классификации. Таким образом, обучение нормам и правилам охраны труда будет носить не только теоретический характер, но станет привязано к конкретным профессиональным рискам, идентифицированным на рабочих местах.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке ИжГТУ имени М.Т. Калашикова в рамках научного проекта № ШПО/20-86-11.*

### **Список литературы**

1. World Health Organization. Basic documents: forty-ninth edition (including amendments adopted up to 31 May 2019). URL: <https://apps.who.int/gb/bd/> (дата обращения 07.02.2021).
2. World Health Statistics 2020: monitoring health for the SDGs, sustainable developments goals. URL: <https://www.who.int/data/gho/publications/world-health-statistics> (дата обращения 07.02.2021).
3. Хамидуллина Е.А., Чемякин А.В. Прогнозная оценка риска ущерба здоровью в результате профессиональной деятельности в нефтедобыче // XXI век: техносферная безопасность. Иркутск, 2018. №2 (10). С. 108–116.
4. Приказ Минтруда России от 19.08.2016 N 438н "Об утверждении Типового положения о системе управления охраной труда".

## **Ресурсосберегающая технология ангидритовых тампонажных растворов**

А.С. Рыбин, Ю.М. Федорчук, К.М. Минаев

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30*

С момента появления и до настоящего времени производство фтороводорода в России является источником неблагоприятной экологической обстановки в местах своего расположения, так как сопровождается выбросами в атмосферу газообразного фтороводорода во время внеплавных остановок производства, образованием и накоплением на отвальных полях отходов в виде кислого или нейтрализованного безводного сульфата кальция [1].

Решение проблемы утилизации твердых отходов фтороводородных производств, которые загрязняют все составные части биосферы — атмосферу, гидросферу, литосферу, снизит экологическую нагрузку на окружающую среду [2].

Объектом исследований данной работы является твердый отход фтороводородного производства Сибирского химического комбината — фторангидрит, а также ангидрит, получаемый путем взаимодействия концентрированной серной кислоты с известняком Томского, а затем Норильского месторождений.

Целью работы является разработка тампонажного раствора на водной основе с применением фторангидрита.

Работа имеет высокую практическую значимость, так как сырьем для разработки тампонажного раствора является отход производства фтороводорода ( $\text{CaSO}_4$ ). Таким образом, исследование способствует процессу регенерации отходов — восстановлению отходов до материала для вторичного использования по косвенному назначению, в соответствии с действующей документацией и существующими потребностями другого производства.

На первом этапе произведены опыты по определению способности чистого ангидритового вяжущего заменить портландцемент в тампонажных растворах при соотношении вяжущего вещества к воде 2:3.

Опыты проводились согласно ГОСТ 26798.1-96 [3].

Результаты определения растекаемости, плотности, водоотделения приведены в таблице 1.

Таблица 1. Результаты исследований

Плотность $\rho$ , г/см <sup>3</sup>	Растекаемость, мм	Водоотделение, мл
1,62	207	3,00

Полученные результаты, соответствуют нормам, установленным ГОСТ 1581-96 [4].

Следующим этапом исследовательской работы является проведение серии опытов для определения времени заустевания тампонажного раствора на основе ангидритового вяжущего и прочности тампонажного камня.

#### Список литературы

1. Федорчук Ю.М., Зыкова Н.С // Экология и промышленность России. 2004. № 6. С. 9–11.
2. Щипунова Д.П., Кулагина Т.А. // XXI век. Техносферная безопасность. 2018. №2. С. 72–80.
3. ГОСТ 26798.1-96. Цементы тампонажные. Методы испытаний.
4. ГОСТ 1581-96. Портландцементы тампонажные. Технические условия.

## **The agroecological factors influence on diseases development and wheat productivity**

L.E. Kolesnikov<sup>1</sup>, M.I. Kremenevskaya<sup>2</sup>, S.P. Melnikov<sup>1</sup>,  
E.V. Tambulatova<sup>3</sup>, B.A. Hassan<sup>4</sup>, Yu.R. Kolesnikova<sup>5</sup>

<sup>1</sup> *Saint-Petersburg State Agrarian University, Faculty of Agrotechnologies, Soil science and Ecology, Petersburgskoe Shosse 2, Saint Petersburg — Pushkin, 196601, Russia*

<sup>2</sup> *ITMO University, Faculty of Biotechnologies, Kronverksky Pr. 49, bldg. A, Saint Petersburg, 191001, Russia*

<sup>3</sup> *ITMO University, Faculty of Energy and Ecotechnology, Kronverksky Pr. 49, bldg. A, Saint Petersburg, 191001, Russia*

<sup>4</sup> *Ministry of Agriculture, Agricultural Research Office, Iraq, Baghdad, Abo-Ghraib, Str. Al-Zaytun, H. 10081*

<sup>5</sup> *Federal Research Center N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR), Bolshaya Morskaya str. 42–44, 190000, Saint Petersburg, Russia*

The global climate change is one of the actual problems of environmental safety, which affects the structure and functioning of agroecosystems, including the growth, development and productivity of agricultural crops [1]. Currently, the realization of the productivity potential of such strategic crop as wheat largely depends on the environmental sustainability of its species and varieties, especially in adverse environmental conditions. Decrease in the pesticide load on agroecosystems, preventing the foreign substances (xenobiotics) accumulation in the food chains, reducing the probability of harmful organisms' pesticide-resistant forms appearance in agrocenoses, and the environmentally friendly food production is one of the priority directions of agricultural production. Solutions of environmental safety modern problems are associated, among other things, with the development of innovative technologies, low and non-waste technological cycles that contribute to the rational use of raw materials and reduce the environment anthropological impact from industrial production facilities belonging to category 1 objects, such as enterprises for the slaughter and processing of farm animals, poultry and aquatic bioresources. Therefore, increasing the level of processing of by-products of the agro-industrial sector and recycling of raw materials has fundamental importance. One of the ways to the wheat yield increasing and the grain quality improving is creation environmentally verified methods of its cultivation, including the use of high-yielding and adaptive to the cultivation conditions cultivars, the development of mathematical systems for the yield programming and meteorological forecast, the agrocenoses phytosanitary situation control and

optimization, the application of organo-mineral fertilizers and growth stimulants obtained from organic raw materials [2]. In the researches, long-term data characterizing the wheat productivity and its affection intensity by diseases were compared with the natural and climatic factors of the North-Western region of the Russian Federation, botanical features and the origin of the samples. In particular, it was shown that the minimum development of the yellow rust and powdery mildew was observed on samples from the Northern Europe, the Central/Western Europe; brown and stem rust — on samples from the Central Asia, East, Southeast Asia, Latin (South) America; wheat leaf blotch (septoria) — from Russia (the Asian part). The main active ingredients of the russian preparations "FlorGumat" are natural triterpene compounds and lake sapropel humic substances, "Edagum" and "Fitop-Flora-S" — peat-humic substances, "Zerebra agro" — silver and polyhexamethylene biguanide hydrochloride (PHMB), protein stimulant — aminoacids and polypeptides. On the basis of the School of Biotechnology and Cryogenic Systems of ITMO University and Saint-Petersburg State Agrarian University, protein-containing systems were obtained from beef slice using the deep processing method. The "Zerebra agro" high biological effectiveness against wheat leaf diseases (brown rust, powdery mildew, septoria), and the "FlorGumat" — against wheat root rot was noted. The greatest influence on the potential (estimated) wheat yield growth was exerted by the preparations "Fitop-Flora-S" and "Zerebra agro". Foliar spraying of plants with the PGS led to an increase in wheat yield by 31.5 % and a decrease in wheat affection by powdery mildew but did not affect on brown rust development. As was revealed by microfocuss radiography and optical analysis, after wheat treatments by the PGS, an increase in grains size, their fullness and roundness (compared to the control, without treatment) was observed.

### References

1. Salimov J., Ergashev A. // Reports of the Academy of Sciences of the Republic of Tajikistan. 2015. Vol. 58. № 9. P. 852–858.
2. Dinglasan E.G., Singh D., Shankar M., Afanasenko O., Platz G., Godwin I.D., Voss-Fels K.P., Hickey L. // Theor. Appl. Genet. 2019. Vol. 132. Iss. 1. P. 149–162.

## **Modeling the process of biological treatment of air containing malodorous substances under laboratory conditions**

E. Gordeeva, A. Tverdaya, N.V. Kurnikova, N.R. Molodkina,  
O.I. Sergienko

*ITMO University, Kronverksky Pr. 49, bldg. A,  
Saint Petersburg, 197101, Russia*

One of the factors contributing to the environmental negative impact of poultry factories is the presence of unpleasant smelling substances in the air emissions of these enterprises. These smells are causing a significant problem for the employees of the poultry farms, as well as for the residents of nearby settlements. The growing number of complaints from people living nearby to the authorities create a negative company image of poultry farms, and, ultimately, can lead to the intensification of the sanctions policy against the violating enterprise. Penalties may be imposed due to the design and implementation of methods for controlling odorous emissions. In particular, during the period from 2015 to 2019, several state standards in the area were issued (for example, GOST 32673-2014, GOST R 58578-2019 "Rules for establishing standards and controlling odorous emissions into the atmosphere"). In addition, the packages of amendments on the monitoring of odors were submitted for consideration to the legislatures of several subjects of the Russian Federation.

All of the above mentioned determines the need to develop new solutions and implement new techniques for cleaning gases from odorous substances. We have proposed that within a poultry farm, the biological method of waste air treatment can effectively remove odorous substances.

The process of biological purification (biofiltration) is based on the oxidation of biodegradable organic and inorganic pollutants with the help of microorganisms immobilized on the surface of solid particles or in the liquid. The use of this method will improve the quality of atmospheric near the enterprise without high operating costs. Biological technologies are recognized to be more effective than traditional methods due to the advantages in economic and ecological terms [1, 2].

To prove the assumption, we first conducted a quantitative analysis of the list of dominant odorous compounds in the emissions of the poultry farm. Then we set up a series of experiments on the adaptation and cultivation of the association of odorous substances degrading bacteria. Activated sludge was a source of microflora, and was provided from the treatment facilities of the poultry farm. A Laboratory setup consisting of a tank filled with manure

and a bottle for the cultivation of microorganisms was constructed for the experiments. A metagenomic analysis of the active sludge microbial community was also performed.

It was shown that the concentrations of foul-smelling substances were under the limits of acceptable levels (MAC). Analysis of the gas emissions of the poultry farm revealed the dominant odorous compounds: ammonia, mercaptan, dihydrosulfide, dimethyl sulfide, methylamine and dust. The last one acts as a carrier of odorous compounds over long distances. At the same time, the concentrations obtained are hundreds of times higher than the perception threshold. For example, the concentration of dihydrosulfide was  $4.52 \text{ mg/m}^3$ , which is less than the MAC of  $10 \text{ mg/m}^3$ , but 322 times greater than the perception threshold of  $0.014 \text{ mg/m}^3$  of dihydrosulfide.

In a series of four experiments, laboratory methods for selecting cultivation conditions were studied. Analyzing the operation mode of the laboratory unit, certain patterns of behavior of the monitored parameters were revealed (in particular, an increase in pH and ammonium ions content in the liquid was observed), which may be indirectly related to inaccurate selection of the microflora source.

Conducted metagenomic analysis revealed the presence of several species destructors of odorous substances in the active sludge of poultry farms. *Candidatus Nitrocosmicus* dominates among the detected ammonia destructor species (about 5 percent of the studied genome).

### **References**

1. Estrada J.M., Lebrero R., Muñoz R. A sensitivity analysis of process design parameters, commodity prices and robustness on the economics of odour abatement technologies // *Biotechnology Advances*. 2012. № 30. P. 1354–1363.
2. Caicedo F., Estrada J.M., Silva J.P., Muñoz R., Lebrero R. Effect of packing material configuration and liquid recirculation rate on the performance of a biotrickling filter treating VOCs // *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*. 2018. Vol. 93. № 8. P. 2299–2306.

## **Особенности работы таможни при обращении с озоноразрушающими веществами**

Н.Г. Карпова, Е.П. Тюрикова, А.М. Хамзина, М.А. Кустикова

*Национальный исследовательский университет ИТМО,  
Россия, 197101, Санкт-Петербург, Кронверкский пр., 49*

В данной работе исследованы особенности работы таможенных служб при обращении с озоноразрушающими веществами (ОРВ). Такие вещества как: гидрохлорфторуглероды, галоны, хлорфторуглероды, бромистый метил и четыреххлористый углерод — озоноразрушающие вещества, которые относятся к группе ограниченных к применению или запрещенных хладагентов по Монреальскому протоколу [1].

Все страны участники Монреальского протокола, Венской конвенции и, вступившей в силу, Кигийской поправки должны использовать систему лицензирования на импортируемые озоноразрушающие вещества, так как объем данной группы веществ в стране подлежит контролю и квотированию. Успешное внедрение любой системы лицензирования на прямую зависит от контролирующих служб.

Данные службы должны иметь возможность идентифицировать контролируемые вещества, способствовать их легальный доступ и ограничение их незаконной продажи. Основная проблема состоит в том, что отсутствуют обязательные единые стандарты на маркировку, наименования или упаковку озоноразрушающих веществ или продуктов и оборудования, их использующие. Все это приводит к огромному объему разноплановой информации о внешнем виде упакованной озоноразрушающей продукции, которую сотрудники таможенной службы обязаны оперативно идентифицировать.

Таможенные службы обязаны не только осуществлять документальный контроль и осмотр внешнего вида контрафактной продукции, но и осуществлять отбор проб на месте, для определения соответствия вещества перевозимого вещества документам.

Для отбора образцов на таможенном контроле используют два вида анализаторов, установленных Приказом ФТС России №2509 от 21 декабря 2010 года. В данных идентификаторах хладагенов используется технология недисперсионного ИК-света (NDIR) для определения весовых концентраций выбранных типов хладагентов. Приборы данного типа обычно предназначены для обнаружения чистоты и концентрации только широко используемых хладагентов пары наименований и лишь обнаруживают содержание других с большой погрешностью из-за перекрестной чувствительности прибора. Существует также проблема в специфическом сложном использовании данных анализаторов, что может

при большом потоке хладагентной продукции особенно в летний период привести к сбоям в чувствительном элементе и нарушении результатов проверки [2–3].

Качественный анализ существующих методов и средств борьбы с контрабандной продукцией озоноразрушающих веществ может дать обширную актуальную информацию о стремительно растущем объеме нелегальной торговли озоноразрушающими веществами. Полученные результаты будут использоваться для составления рекомендаций по модернизированию существующей системы и разработки специализированного анализатора.

#### **Список литературы**

1. Афонин Д.Н., Кудряшова Е.С. Правовые основы таможенного контроля хладагентов в Российской Федерации (Обзор законодательных актов).
2. Приказ ФТС России от 21 декабря 2010 г. № 2509 «Об утверждении перечня и порядка применения технических средств таможенного контроля в таможенных органах Российской Федерации».
3. В. Whiting, S. Ledent. Training Manual for Customs and Enforcement Officers. UNEP.

## **Research on the condition of small rivers in the middle taiga of the northwestern federal district in areas of continuous harvesting activities**

A.D. Krasilnikov

*ITMO University, Kronverksky Pr. 49, bldg. A,  
Saint Petersburg, 197101, Russia*

Harvesting is extremely destructive for the environment and, in especially, for the large number of water bodies located in the woodlands. The resource-intensive problem of monitoring the conditions of small rivers requires the development of environmental management tools using advanced methods. The involvement of automated systems and data processing models is designed to increase the efficiency of forest management. But the implementation of new monitoring methods requires extensive research, to find unified criteria. In the summer of 2020 a study was carried out in the forestry, located in the middle taiga. The object of the study was nine different small rivers and streams, which differ in the degree of influence of anthropogenic factors on them. The subject of the study was to determine the impact of logging and forestry road infrastructure on the accumulation of pollutants in the bottom sediments of small rivers and in coastal soils. To test it, the null hypothesis was accepted that harvesting leads to an increase of heavy metals in the soil and as a consequence chemical components are washed into the rivers, after which heavy metals accumulate in the bottom sediments. Chemical analysis of water, bottom sediments and aquatic vegetation was carried out. According to the results of studies in water samples taken from the studied objects no exceedances of nitrates and ammonia nitrogen content were found, despite active biological processes in the biotopes of the rivers. The studied objects differed in the duration, volume, and age of the effect of harvesting on the surrounding territories. There was no correlation between the age of logging and the content of heavy metals in the bottom ground. Also, no correlation was established between the content of heavy metals in shore soil and bottom sediments. No confident conclusions can be drawn from such a small sample, a much larger data set is required to accurately test the hypothesis. The measurements carried out did not reveal any deviations from the standards for this region. This work does not provide definitive answers to the research questions, but it is the first step in preparing a system for monitoring the condition of small rivers in forested areas. For a complete result, it is necessary to conduct an all-season study of a larger number of criteria on a representative sample of water bodies.

## **Accumulation of heavy metals in soils and bottom sediments in northern taiga river basins in the areas with intensive forest cuts**

S.D. Chubova<sup>1</sup>, N.F.J. Dinkelaker<sup>1</sup>, E.N. Moiseenko<sup>1</sup>, N.V. Dinkelaker<sup>1</sup>,  
A.V. Bragin<sup>2</sup>, P.A. Futoran<sup>2</sup>, A.T. Zagidullina<sup>3</sup>,  
A.E. Didikov<sup>1</sup>, O.V. Medvedeva<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *ITMO University, Saint Petersburg, Russia*

<sup>2</sup> *Kenozero National Park, Arkhangelsk, Russia*

<sup>3</sup> *Saint-Petersburg State University, Saint Petersburg, Russia*

The ecosystems of rivers basins of the Onega Peninsula are a representative model for studying the impact of forest management on the terrestrial and aquatic ecosystems of northern taiga. The upper and middle parts of the river basins are located in the middle of the peninsula, the lower — in the coastal parts. The seaside parts of the peninsula are included in the specially protected natural territory — the Onega Pomerania National Park (NP), and the middle part of the peninsula is in the zone of active forest management. Now logging has a high intensity, which creates risks of contamination of habitats for biodiversity of the NP. Migration of pollutants within river basins has not previously been studied for the Onega Peninsula, which is the extreme northern zone of taiga forest distribution. The purpose of this study was to assess the geochemical state of soils and bottom sediments of river, coastal and forest ecosystems of the river basins of the Onega Peninsula under forest cuts and in intact basins [1–2].

The content of heavy metals (HM) in soils and bottom sediments in the ecosystems of catchment basins of 10 small rivers of the Onega Peninsula, having different levels of anthropogenic load from logging, was investigated in 2020. Analysis for the content of HM carried out using an X-ray fluorescence method. HM content analysis was performed using X-ray fluorescence spectroscopy.

It was established that the lead content in soils and sediments increased in comparison to the intact river basin of the region is characteristic of bottom rivers sediments in the areas of felling of the current year and logging up to 10 years old.

An increase in heavy metals in the soils of forest ecosystems is noted in watersheds with active forest management areas. Excess of HM content in was found: zinc in 7 areas out of 9, lead — in 6 areas, cobalt and manganese — in 2, as well as excess MPC in nickel are observed in all samples. For the studied soils, excess background values of TM content in soils of the Arkhangelsk region for zinc are 50 % of samples, 89 % for lead.

Significant excesses of other heavy metals were not noted. Based on the information obtained, the total soil contamination index ( $Z_c$ ) was calculated. In general, at present, the soils of the Onega Peninsula can be classified as low contaminated by the indicator of total contamination with heavy metals ( $Z_c$ ). The lowest value of  $Z_c = 6.13$  is characteristic of the soils of the catchment area river Lopshengi, which does not have areas of logging, and the highest  $Z_c = 12.32$  for soil samples, in the basins of the rivers area of Lake Summer Zolotitsy, which have a high intensity and cutting of 2010–2020 year [3–5].

It is established, that both the sediments of the studied rivers and the forest soils of the basins of these rivers near the areas of active forest management accumulate lead, the content of which is not reduced during the initial periods of reforestation (up to 10 years). Soils also accumulate zinc, which is not observed in bottom sediments. At the same time, pollution with other studied heavy metals is not noted. Their level in soils and sediments lower than normative level, but it generally higher than in control area that does not have them. The revealed excess of normative and background indicators of the HM content in soils and bottom sediments in areas of intensive recent logging may be associated with the use of logging equipment and vehicles, as well as violation of the structure of soils and slow restoration of ground vegetation.

In addition to the revealed accumulation of lead and zinc, bottom deposits and soils of the Onega Peninsula have a generally low level of contamination with HM. This indicates that the disruption of the natural balance of heavy metals is in its initial stages, but due to the toxicity of pollutants and their risk of rare species of animals and plants of NP, urgent measures are needed to prevent lead and zinc from entering the food chains of the ecosystem.

### **References**

1. Braslavskaya T.Yu., Kolbovsky E.Yu., Esipova E.S., Korotkov V.N., Nemchinova A.V., Churakova E.Yu., Kozykin A.V., Kulyasova A.A., Aleynikov A.A. // *Izvestiya RAS. Ser. Geographical*. 2020. Vol. 84. №. 6. P. 905–919.
2. Isachenko A.G. // *Russian Geographical Society News*. 1997. №. 129 (3). P. 15–22.
3. HS 2.1.7.2511-09 Approximate permissible concentrations (APC) of chemicals in the soil.
4. HS 2.1.7.2041-06 Maximum permissible concentrations (MPC) of chemicals in the soil.
5. SanPiN 2.1.7.1287-03 Sanitary and epidemiological requirements for soil quality. Moscow. 2003.

## **Ecological foundations for the formation of networks for automatic monitoring of the negative impact of forest management on the river ecosystems of the northern European taiga of Russia**

N.F.J. Dinkelaker, N.V. Dinkelaker, P.F. Agahanyanz, O.I. Sergienko,  
N.V. Ulyanov, E.A. Ovsuk

*ITMO University, Kronverksky Pr. 49, bldg. A,  
Saint Petersburg, 197101, Russia*

Active forest cuts affect ecosystems of the northern European taiga, including river ecosystems. In order to preserve valuable ecosystems, scientifically sound spatial planning of felling is perspective. Scientific information on the effects of logging on river ecosystems of the northern edge of the taiga zone is few, it concerns mainly biotic components. Regular biodiversity observations in remote areas are difficult to conduct. Changes in ecosystem biological components reflect ecosystem disruptions [1–4].

Forest felling in catchment areas lead to water pollution due to hard stock disruptions. Regular monitoring of chemical water pollution is necessary for early detection of adverse effects. Remote areas also prevent water quality monitoring through regular sampling at stations. In such conditions an automatic water quality monitoring system with remote monitoring data transmission is required. Currently, automatic monitoring systems for water bodies are actively used in many countries, including southern Russia. But usage of such systems in the north is hampered by their high maintenance costs and short life of expensive sensors (usually less than a year). Baseline station configuration with 8 sensors of EU or USA production, represented on the market, ranges from €6 000 to €10 000. The purpose of this work is to develop a methodology to design a low-budget effective automatic network to monitor dangerous hydrochemical changes in small rivers in the northern commercial forests.

Water samples were collected by the Onezhskoe Pomorye National Park expedition to the Onega Peninsula in summer 2020. For the study, 10 rivers were classified according to landscape conditions, some were undisturbed by logging and some from areas with active logging. Hydrochemical parameters of samples were measured in laboratory using standard methods from the Federal Register. The measured hydrochemical parameters are electrical conductivity, pH, content of nitrates, nitrites, ammonium ion, phosphates, sulfates, carbonates, cationic composition of water, chemical oxygen consumption, chromaticity, turbidity, organoleptic indicators.

These measurements were compared to existing water quality standards (PDK). Correlation analysis has been conducted. Some parameters change

significantly in logging areas, they can be used as negative changes indicators for river ecosystems. This was confirmed by a parallel study of macrophyto-benthos samples, represented by species confined to eutrophic conditions. Identified indicator parameters are an ammonium ion content, nitrite ion content and biochemical oxygen consumption. Their increase above the standard values indicates negative impact of felling on catchment areas. Locations for 6 water monitoring stations are suggested on the basis of the received results. Each station is to be equipped with sensors for 2 indicators (ammonium ion and nitrite ion). The annual maintenance cost of one station is less than €2 000 with EU/USA produced sensors.

### **References**

1. Karakchieva I.V. Information and economic modeling of forest use as an effective mechanism for the economic substantiation of a project for the development of a forest area // *Bulletin of the Moscow State University of Forest — Lesnoy Bulletin*. 2011. № 7. P. 63–68.
2. Zhilnikova N.A. Innovations in the field of environmental monitoring and modeling of geoecosystems of high-latitude territories to ensure the quality of training of highly qualified personnel: textbook — St. Petersburg: SUAI. 2017. 167 p.
3. Novoselov A.P. Species and ecological diversity of the ichthyofauna of small rivers of the Onega Peninsula // *Proceedings of the Arkhangelsk Center of the Russian Geographical Society*. 2017. Iss. 5. P. 375–381.
4. Matveeva L.G., Chernova O.A. Smart monitoring of water objects in the system of regional management // *State and municipal management. Scientific notes*. 2019. № 4. P. 46–50.

## **Исследование адсорбционных свойств и пористой структуры с получением углеродных сорбентов из отходов древесностружечных плит методом каталитического пиролиза**

А.С. Атанова, И.С. Глушанкова

*Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Россия, г. Пермь, Комсомольский пр., 29*

В последние десятилетия наблюдается прирост производства и потребления, и как следствие, образование и накопление отходов из полимерных композиционных материалов на основе древесностружечных плит (далее ДСтП), согласно статистическим данным [1], в России только в 2019 г. Их объем производства составил более 10 млн.м<sup>3</sup>.

На сегодняшний день проблема утилизации отходов ДСтП остается нерешенной, основная часть по-прежнему поступает на полигоны ТКО, что приводит к изъятию на десятилетия из эксплуатации земельных ресурсов. В результате захоронения отходов происходит биохимическое разложение, которое сопровождается длительными эмиссиями токсичных загрязняющих веществ в почвы и водные объекты окружающей среды. Переработка во вторичные материалы из-за высокого содержания ароматических смол в составе ДСП, затруднена, поэтому поиск перспективных и эффективных способов утилизации остается актуальным направлением.

Анализ литературных данных и проведенные ранее нами исследования показали возможность переработки отходов на основе ДСтП термохимическими методами. Одним из рассматриваемых методов, позволяющих утилизировать крупногабаритные отходы, является низкотемпературный пиролиз [2, 3].

Применение термохимической утилизации отходов позволяет утилизировать трудно перерабатываемые компоненты отходов, дает возможность получить полуфабрикаты, высококалорийное топливо. Введение в систему каталитических добавок позволяет регулировать процесс пиролиза: понизить температуру, увеличить выход пиролизных газов или пиролизата, увеличить скорость реакций термохимической деструкции что, способствует формированию пористой структуры в углеродных материалах.

Целью настоящей работы являлось исследование закономерностей процессов каталитического пиролиза и адсорбционных свойств и пористой структуры углеродных материалов, полученных из многотоннажных отходов ДСтП в присутствии катализирующих добавок — солей меди (I) и никеля (II).

Пиролиз проводили в лабораторной печи муфельного типа при 500–700 С, со скоростью нагрева 10–15 град/мин, время выдержки 30–60 мин. Пиролизаты на основе отходов ДСП без реагентов обозначены как П-К-1, совместно с никельсодержащим катализатором П-К-2(3), с медьсодержащим катализатором П-К-4. Результаты исследований приведены в табл. 1.

**Таблица 1.** Характеристика сорбционных свойств и параметров пористой структуры пиролизатов в присутствии катализаторов — солей меди (I) и никеля (II)

Наименование показателя	Название пиролизата			
	П-К-1	П-К-2	П-К-3	П-К-4
Выход, %	20	18	22	19
Площадь поверхности, м <sup>2</sup> /г	399.50	506,6	496.4	502,9
Площадь поверхности микропор, м <sup>2</sup> /г	452.10	568,5	561.7	564,2
Объем микропор, см <sup>3</sup> /г	0.161	0,202	0,230	0,201
Средний радиус пор, нм	0.66	0,89	0.95	0,90
Активность по йоду, мг/г	340±11	760±25	520±17	720±23
Активность по МГ, мг/г	227±13	280±23	245±17	263±20

Проведенные исследования показали, что комплексная переработка методом каталитического пиролиза с использованием катализирующих добавок солей меди (I) и никеля (II) возможна и является перспективной в области обращения с полимерными отходами из ДСтП.

Предложенный способ позволяет получать пиролизаты в одну стадию, которые обладают сорбционными свойствами, близкие по характеристикам с промышленными марками древесных углей типа БАУ.

### Список литературы

1. Бесчастнов А.В. Тенденции замещения и потенциал роста: фанера, OSB, ДСП, MDF. Режим доступа: <https://proderevo.net/events/all/details/2018-11-20/45.html> (дата обращения: 03.12.2020).
2. Атанова А.С., Глушанкова И.С. Переработка полимерных отходов термохимическими методами с получением углеродных сорбентов / Химия. Экология. Урбанистика. Пермь. 2020. С. 28–31.  
Леонович А.А. Технология древесных плит. СПб.: Лань. 2019. 180 с.

## **Section 4**

Clean Technologies

## **Секция 4**

Чистые технологии

## **CaCl<sub>2</sub>-MIL-101(Cr) composite sorbents as adsorbents for systems for extracting water from the atmosphere**

I.O. Krivosheeva<sup>1,2</sup>, M.V. Solovyeva<sup>1,2</sup>, L.G. Gordeeva<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>*Boreskov Institute of Catalysis, Russia, Novosibirsk,  
Ac. Lavrentiev ave. 5, 630090*

<sup>2</sup>*Novosibirsk State University, Russia, Novosibirsk, Pirogova str. 2, 630090*

For a long time, water sources determined the places of settlement of people, since it is prerequisite for the live. Currently, the development of the human society has led to a scarcity of fresh water resources around the world. By 2025, about 1.8 billion people will suffer from extreme water shortages (< 500 m<sup>3</sup> per year per capita), and two-thirds of the population will meet “high stress” conditions (between 500 and 1000 m<sup>3</sup> per capita) [1]. However, the Earth's atmosphere is a huge reservoir of moisture (~13000 km<sup>3</sup>).

The Adsorption method for Water Extraction from the Atmosphere (AWEA) involves the vapor adsorption on a solid adsorbent at night, when the relative humidity is high, and thermal desorption in the daytime, followed by vapor condensation on the cold surface of the condenser [2]. The employed adsorbent and the harmonization of its properties with the climatic conditions of the area where AWEA is realized are key-factors affecting the performance of AWEA.

This research is focused on the study of novel composite sorbents based on inorganic hygroscopic salt — CaCl<sub>2</sub> — inside pores of MIL-101(Cr) developed for AWEA in arid climatic regions. The composites were characterised by XRD, low temperature nitrogen adsorption, FTIR and SEM methods. Water adsorption equilibrium was explored by TG method, isosteric heat of adsorption was calculated. The effects of the salt content on the adsorption equilibrium were studied. CaCl<sub>2</sub>/MIL-101(Cr) demonstrated high specific water productivity of 0.82 g<sub>H<sub>2</sub>O</sub>/g<sub>composite</sub> per cycle under conditions of the arid climate typical of the Sahara Desert and Saudi Arabia regions, which exceeds the appropriate values for other adsorbents. It was shown that the water adsorption on the composite cannot be presented as a combination of the adsorption on the components; a synergistic effect was revealed. The performance of AWEA employing CaCl<sub>2</sub>/MIL-101(Cr) composite was evaluated in terms of the fractions of water extracted collected, and the specific energy consumption, demonstrating its high potential for AWEA.

*This work was supported by Russian Foundation for Basic Research (project no. 18-29-04033).*

### **References**

1. Damkjaer S., Taylor R. // *Ambio*. 2017. Vol. 46. №. 5. P. 513–531.

2. Alayli Y., Hadji N.E., Leblond J. // *Desalination*. Elsevier. 1987. Vol. 67. P. 227–229.

## **Wacker-type oxidation of fatty acids and derivatives**

S.I. Gustyakova, V.N. Sapunov, M.S. Voronov, I.S. Kozeeva

*D.I. Mendeleev Russian Chemical-Technological University,  
9 Miusskaya square, 125047, Moscow, Russia*

Study of the using of renewable sources of raw materials is widespread and popularized. It is replacement for raw materials of petrochemical origin. It is due to strengthening of ecological standards. The presence of double bonds in vegetable oils and their derivatives gives a possibility to functionalize them into value-added products. The Wacker type process of vegetable oils and their derivatives is interesting for studying. The reaction leads to produce ketocarboxylates, as well as the further conversion of these groups to carboxylic. There are might use hydrogen peroxide and organically peracids as an oxidant [1].

The Wacker process or the Hoechst–Wacker process originally referred to the oxidation of ethylene to acetaldehyde by oxygen in water in the presence of a palladium tetrachloride catalyst. This chemical reaction was the first organometallic and organopalladium reaction applied in industrial scale [2]. However, the catalyst system and reaction conditions are also applied to oxidations and oxidative cleavage of renewables [3, 4, 5]. The work focuses on choosing conditions for the oxidation of unsaturated fatty acid derivatives and vegetable oils and the identification of oxidation products.

Oleic acid was chosen for beginning the research. Catalytic oxidation of oleic acid with air in the presence of palladium (II) chloride and copper (II) chloride was carried out. The synthesis is carried out in a cylindrical three-necked reactor with stirring. Air was bubbled through the reaction mass (feed rate — 0,5 liter/min). And it is also carried out in a oxygen pressurized reactor.

Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) was used to identify of presence of ketones groups in the resulting product. The spectrum of product are containing of ketones groups and the spectrum of raw oleic acid were compared. The presence of ketones group is reflected in the increased intensity of the band at  $1620\text{ cm}^{-1}$ . Method for determination of carbonyl number was also used. It showed the presence of carbonyl groups.

The result shows that the conditions of the industrial Wacker type process might be applied to the production of fatty ketones. It is mean the selective obtain of fatty ketones by this method allow to produce valuable organic synthesis products (dicarboxylic acids, fatty alcohols, plasticizers, polyesters, biodegradable fibers).

**References**

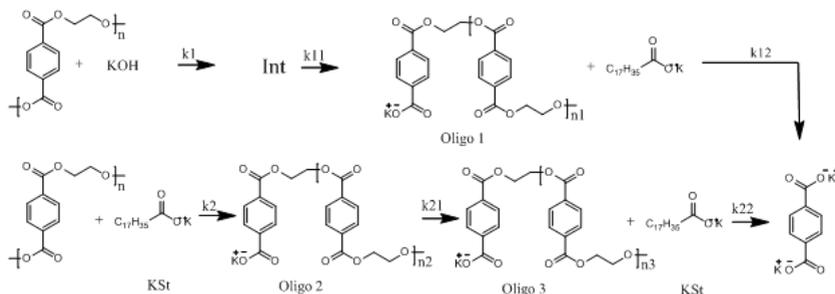
1. Köckritz A., Martin A. // *European Journal of Lipid Science and Technology*. 2008. Vol. 110. № 9. P. 812–824.
2. Cornils B., Herrmann W.A., Schlögl R. *Catalysis from A to Z: A Concise Encyclopedia*. Weinheim (Germany): Wiley-VCH, 2000.
3. Warwel S., Rüschen Klaas M. // *Lipid Technology*. 1997. Vol. 9. P. 130–132.
4. Hermans I., Janssen K., Moens B. // *Advanced Synthesis & Catalysis*. 2007. Vol. 349. P. 1604–1608.
5. Knothe G. // *Chemistry and Physics of Lipids*. 2002. Vol. 115. P. 85–91.

## Kinetic study of waste PET depolymerization by crude glycerol

G. Dzhabarov, V. Sapunov, V. Shadrina, M. Voronov, Tran Diem Nhi  
*D.I. Mendeleev University of Chemical Technology of Russia, 125047,  
 Moscow, Miusskaya square, 9*

### Introduction

World plastics production increases annually. And polyethylene terephthalate (PET) market is the fastest growing one among them. It has sustainable growth of 5,5 % per year to reach 24 million metric tons in 2019 [1]. Therefore, the recycling of PET is one of the vital environmental problems facing modern civilization. In order to solve this problem there are many methods of waste PET depolymerization. Physical-mechanical and thermal recycling is the most used way of polyether utilization, but produced product can't be used in food industry [2]. So, solvolysis methods are the most promising ones for polyethers recycling. In our previous work [3] we proved that crude glycerol is an effective PET depolymerization agent. And this method is insensitive to impurities and different plastics in the feedstock. The aim of this work is to study kinetic regularities of the process.



**Fig. 1.** General scheme of the process

During this work the general scheme of the process was proposed (figure 1). There are two main processes: formation of potassium intercalates and PET saponification by potassium soaps. First one take place due to KOH presence in crude glycerol. This hydroxide was formed by partial soaps hydrolysis during storing. The second process proceeds on the PET surface and limited by it. Further both potassium intermediates turns to oligomer products with different molecular weights and then react with potassium soaps with formation of dipotassium terephthalate. A mathematical model of the process was proposed (figure 2) and all rate constants were determined. It was discovered that all constants decreasing with increasing PET/soaps molar ratio.

At PET/soaps molar ratio 1.0 and more there is no formation of dipotassium terephthalate. These data are confirmed by molecular weight of oligomers changing. It has increased more than twice with PET/soaps molar ration increasing from 0.5 to 1.5.

$$d [KOH] / d\tau = -k_1 [KOH] \cdot [PET] \quad (1)$$

$$d [Int] / d\tau = k_1 [KOH] \cdot [PET] - k_{11} [Int] \quad (2)$$

$$d [Oligo1] / d\tau = k_{11} [Int] - k_{12} [KSt] \cdot [Oligo1] \quad (3)$$

$$d [KSt] / d\tau = -k_2 [KSt] \cdot [PET] - k_{22} [Oligo 2] \cdot [KSt] - k_{12} [KSt] \cdot [Oligo 1] \quad (4)$$

$$d [Oligo 2] / d\tau = k_2 [KSt] \cdot [PET] - k_{21} [Oligo 2] \quad (5)$$

$$d [Oligo 3] / d\tau = k_{21} [Oligo 2] - k_{22} [Oligo 3] \cdot [KSt] \quad (6)$$

$$d [TFKa] / d\tau = k_{12} [KSt] \cdot [Oligo1] + k_{22} [Oligo 2] \cdot [KSt] \quad (7)$$

**Fig. 2.** Mathematical description of the process, where [KOH], [PET], [KSt], [TFKa], [Int 1], [Oligo1], [Oligo2], [Oligo3] — concentrations of potassium hydroxide, PET, potassium soaps, dipotassium terephthalate, potassium intercalate and oligomers with different molecular weight respectively

*This work was financially supported by the Russian Foundation for Basic Research (Scientific Project No. 18-29-24009).*

## References

1. Chitkara P., Ding W., Jones K., Pujari A., Wiesweg M., Woo M. // IHS Markit. 2021
2. Ragaert K., Delva L., Van Geem K. // Waste Management. 2017. Vol. 69. P. 24–58.
3. Dzhabarov G., Sapunov V., Kozlovskiy R., Makarova E., Phan Dinh Kha, Voronov M., Shadrina V., Tran Diem Nhi, Kurneshova T. // Petroleum and Coal. 2020. Vol. 62. № 1. P. 19–26.

## **Композитные материалы для безопасности**

Р.Д. Ефимов

*Национальный исследовательский университет ИТМО,  
Россия, 197101, Санкт-Петербург, Кронверкский пр., 49*

Композитные материалы на основе арамидных волокон отлично рекомендовали себя в самолетостроении, в строительстве корабельных судов и в космических технологиях. Одежда для горячих производств немислима без использования арамидных тканей. Границы использования этих чудо-материалов постоянно расширяются. Особую гордость производителей вызывает применение арамида в изготовлении бронежилетов и касок. Полностью соответствуют ГОСТу 11209-2014 — при контакте с открытым огнем они не горят, не тлеют в течение 30 секунд. Удельное поверхностное электрическое сопротивление не более 107 Ом. Исключительная прочность тканей обеспечивает эксплуатацию костюмов в самых сложных условиях. Нефтемасловодооталкивающие свойства сохраняются после 25 промышленных стирок / сушек [1].

Сверхпрочными и высокомодульными принято называть арамидные нити, которые при растяжении показывают высокие значения удельной прочности (от 1,3 ГПа) и модуля упругости (от 50 ГПа). Свойства этих нитей позволяют изготавливать из них текстильные изделия и волокнистые композиционные материалы повышенной прочности при малом удельном весе (около 2 г/см) [2]. Причиной высоких показателей прочности данных нитей является высокая упорядоченность структуры.

Особенно актуально владеть информацией о прочности при разрыве при эксплуатации строп, тросов, потому как именно эти изделия подвергаются колоссальным нагрузкам в процессе их применения, а изготавливаются они из арамидной нити.

Актуальность моей работы заключается в том, чтобы обратить особое внимание на необходимость изучения процессов истирания тканей. С целью того, чтобы повысить безопасность и прочностные свойства данных материалов. Так как это напрямую зависит с жизнью и здоровьем человека, если эти ткани используются в экстремальных и чрезвычайных ситуациях.

Арамиды обладают некоторыми общими свойствами, выгодно выделяющимися в сравнении с прочими волокнами:

- высокая прочность,
- хорошая устойчивость к истиранию,
- хорошая устойчивость к воздействию органических растворителей,
- отсутствие электропроводимости,

- отсутствие точки плавления,
- низкая воспламеняемость,
- хорошие показатели сохранения целостности ткани в условиях повышенных температур.

Целью работы является оценка прочности при разрыве тканей из арамидных нитей.

Задачи работы:

- изучение структуры и строения арамидных тканей,
- описание физической сущности процессов разрыва тканей,
- изучить порядок разработки и структуру СТО (ТУ),
- исследовать физико-механические свойства тканей.

В настоящее время в фондах нормативных документов имеются стандарты на истирание нитей, описывающие несколько различных методов определения стойкости к истиранию, среди которых ГОСТ 29104.17-91. Однако обзор литературы показал, что в настоящее время отсутствуют разработанные стандарты на разрыв арамидных тканей.

Область применения и ассортимент арамидных тканей неуклонно расширяются, спектр изучаемых свойств данной группы тканей растет, в связи с чем постепенно обозначается необходимость разработки стандартов на методы испытаний определенных свойств. Так как анализ существующих в нормативном фонде стандартов показал, что на данный момент времени существуют лишь стандарты, в которых затрагиваются вопросы абразивного разрыва тканей.

#### **Список литературы**

1. Панова Т.В., Усанович С.А. Методика исследования эксплуатационно-технологических свойств огнеупорных тканевых материалов. 2012. №6. С. 43–46.
2. Махоткина Л.Ю., Хузина Л.М. Анализ материалов для одежды специального назначения, реализуемых на российском рынке. 2016. Т. 19. С. 89–93.

## Influence of humates on the growth of microorganisms

O.F. Vyatchina<sup>1</sup>, E.A. Karavaeva<sup>1</sup>, M.Yu. Tolstoy<sup>2</sup>,  
M.V. Atanova<sup>3</sup>, S.A. Kovalenko<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Irkutsk State University, Irkutsk, Lenin Str. 3, Russia

<sup>2</sup> Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk,  
Lermontov Str. 83, Russia

<sup>3</sup> Baikal Museum of the ISC, Listvyanka, Akademicheskaya Str. 1A, Russia

Humic substances interacting with organisms, including microorganisms, are capable of suppressing their development with an increased content. In a number of works, an increase in the growth of microorganisms of different physiological groups under the influence of humates has been shown. In this regard, a promising line of research is the study of the effect of humate preparations on the growth of alkanotrophic microorganisms on hydrocarbon substrates, which can be used to intensify the processes of bioremediation of oil-contaminated media. It was shown that the humic preparation "Flexom" stimulated the growth of the hydrocarbon-oxidizing bacteria *Acinetobacter* sp. Humic acids intensified the growth of *Rhodococcus erythropolis* on phenol.

The effect of growth stimulation with humates can also be used in biotechnology of bacterial plant protection products from harmful insects. There is evidence that humate in certain concentrations not only contributed to an increase in cell titer, but also accelerated the processes of spore and toxin formation in entomopathogenic bacteria *Bacillus thuringiensis*.

The purpose of this work was to study the effect of the "Powhumus" humate preparation on the growth of *B. thuringiensis* ssp. *kurstaki*.

The objects of the study were *B. thuringiensis* ssp. *kurstaki* (from the collection of O.F. Vyatchina, Department of Microbiology, ISU).

To determine the effect of the preparation "Powhumus" on the growth of the *B. thuringiensis* strain, the LB medium of the following composition (%) was used: peptone — 1.0; yeast extract — 0.5; NaCl — 1.0. Humate was added to the media at concentrations: 0.0001; 0.001; 0.01; 0.1 and 1 %. LB medium without humate was used as a control. The cultivation was carried out in flasks (250 ml) with 100 ml of LB medium. The media were inoculated with a one-day culture suspension (1 % of the total volume) and incubated under stationary conditions for 24 h at 30 °C. Quantitative registration of microorganisms was carried out using the method of limiting dilutions.

Studies have shown that in the LB medium without the addition of humate, the number of cells of the studied *B. thuringiensis* strain increased by almost an order of magnitude during 24 hours of cultivation — from

$(2.75 \pm 0.45) \cdot 10^7$  to  $(3.35 \pm 0.45) \cdot 10^8$  CFU / ml. When 0.01 % humate was added to the nutrient medium, the number of *B. thuringiensis* cells was almost three times higher than in the control ( $(9.05 \pm 0.55) \cdot 10^8$  and  $(3.35 \pm 0.45) \cdot 10^8$  CFU / ml, respectively).

**Table 1.** The effect of the "Powhumus" humate preparation on the growth of *B. thuringiensis* ssp. kurstaki

Humate concentration,%	Number of cells, CFU / ml
0,0001	$(5,0 \pm 0,79) \cdot 10^8$
0,001	$(5,50 \pm 1,27) \cdot 10^8$
0,01	$(9,05 \pm 0,55) \cdot 10^8$
0,1	$(3,10 \pm 0,69) \cdot 10^8$
1	$(1,40 \pm 0,11) \cdot 10^8$
control	$(3,35 \pm 0,45) \cdot 10^8$

Humate at a concentration of 0.0001; 0.001 and 0.1 % had no significant effect on the growth of the *B. thuringiensis* strain.

The suppression of culture growth was noted during cultivation in a medium with 1 % humate. At the same time, the number of cells was more than two times lower than in the control.

Thus, humate concentrations have been revealed that stimulate the growth of the entomopathogenic bacterium *B. thuringiensis* ssp. kurstaki (0.01 %), as well as the humate content, at which it had no visible effect on the growth of the strain (0.0001; 0.001 and 0.1 %). The concentration limit was established, above which the growth inhibition of *B. thuringiensis* (1 %) was observed. The revealed ranges of the effective concentrations of humate should be taken into account when using these substances in the biotechnology of plant protection against phytopathogens.

*This work was supported by the RFBR grant 19-29-05213 MK "Mechanisms of the complex interaction of soils with oil, oil products and surfactants in the processes of oil pollution and bioremediation".*

## Investigation of industrial catalysts of the process of fatty acid deoxygenation in order to obtain fuel composition hydrocarbons

M.S. Zolotareva, A.I. Lugansky, R.A. Kozlovsky, M.S. Voronov,  
O.I. Shtepa, P.A. Voropaev

Currently, one of the most pressing issues is the search and development of ways to obtain alternative environmentally friendly fuel sources. One of the promising and widely discussed directions in the scientific community is the reaction of deoxygenation of fatty acids obtained from vegetable raw materials. Such biofuels can be used both independently and in a mixture of petroleum products [1–4].

This work continues the research cycle in this direction, the purpose of which is to search for optimal conditions for the process with a high yield of the target product. The process consists of two stages: hydrolysis of vegetable oils with the release of a fraction of fatty acids; and deoxygenation of the resulting fatty acids with the formation of hydrocarbons corresponding in composition to bio-aviation kerosene. Next, we consider the stage of deoxygenation of fatty acids using various types of industrial catalysts.

The deoxygenation reaction is carried out in a mixing reactor at a pressure of 30–50 ATM and a temperature of 320–340 °C in the presence of three different industrial catalysts Pd/C<sub>act</sub>, Co-Mo/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Mo-Co/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> oxides, in the amount of 1–2 % by weight of the total mass of reagents, the mass ratio of fatty acids: cetane = 3:7 for 3–5 hours. Also, in the course of this study, the influence of dispersion of the catalyst on the yield of the product is considered. Table summarizes the best results of the conducted experiments:

**Table**

Catalyst	P, atm	T, °C	Time, h	Conversion, %
Pd/C <sub>act</sub>	30	330	3	30
Co-Mo/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	40	330	3	32
oxides of Mo-Co/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	40	330	3	14.7

As a result of studies, the conversion of fatty acids is 32 % and is achieved at a partial pressure of hydrogen 40 ATM in the presence of a finely dispersed catalyst Co-Mo/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. At the same time, it was found that the presence of a solvent, as well as the degree of dispersion of the catalyst, have a significant effect on the conversion parameter.

Further research is aimed at finding new catalytic systems of the deoxygenation stage that allow increasing the yield of the kerosene fraction, as well as eliminating expensive catalysts based on precious metals.

**References**

1. Zhao C., Bruck T., Lercher J.A. // *Green Chem.* 2013. Vol. 15. № 7. P. 1720–1739.
2. Mortensen P.M., Grunwaldt J.-D., Jensen P.A. // *Appl. Catal. Ser. A.* 2011. Vol. 407. № 1. P. 1–19.
3. Choudhary T.V., Phillips C.B. // *Appl. Catal. Ser. A.* 2011. Vol. 397. № 1. P. 1–12.
4. De Sousa F.P., Cardoso C.C., Pasa V.M.D. // *Fuel Processing Technology.* 2016. Vol. 143. P. 35–42.

## **Synthesis of $\text{SrFe}_{1-x}\text{Co}_x\text{O}_2\text{F}$ and study of their electrocatalytic activity in the oxygen evolution reaction**

A.D. Valueva

*Lomonosov Moscow State University, GSP-1, Leninskie Gory, Moscow, 119991, Russian Federation*

The use of alkaline electrolyte in regenerative fuel cells makes it possible to use transition metal oxides as catalysts for electrode reactions instead of traditional expensive catalysts [1]. Recently, it was shown that among the perovskite-like oxides of the general composition  $\text{ABO}_{3-y}$ , the materials containing end-of-series 3d-metal cations (Fe, Co, Ni) in the B-sublattice exhibit the largest catalytic activity in the process of oxygen evolution in an alkaline medium [2]. The aim of this work was to search for new oxygen evolution catalysts based on cobalt and iron oxofluorides with a perovskite structure.

Oxides  $\text{SrFe}_{1-x}\text{Co}_x\text{O}_{3.8}$  ( $x = 0, 0.4$ ) with the structure of perovskite were obtained by co-precipitation of oxalates. Then by performing reductive fluorination using PVDF, we synthesized oxofluorides  $\text{SrFe}_{1-x}\text{Co}_x\text{O}_2\text{F}$  ( $x = 0, 0.4$ ).

In case of  $\text{SrFeO}_{3.8}$  the X-ray powder diffraction pattern revealed splitting of a number of diffraction reflections, which indicates that the real symmetry of the obtained phase is lower than cubic. As a result, the X-ray diffraction pattern was completely indexed in the orthorhombic unit cell with the following lattice parameters  $a = 5.478$  (2) Å,  $b = 5.465$  (2) Å,  $c = 3.850$  (1) Å. Fluorination resulted in a material with cubic perovskite structure, with lattice parameter of  $a = 3.9550$ (3) Å.

The X-ray powder diffraction patterns recorded from  $\text{SrFe}_{0.6}\text{Co}_{0.4}\text{O}_3$  and its fluorinated derivative showed, that the sample of  $\text{SrFe}_{0.6}\text{Co}_{0.4}\text{O}_2\text{F}$  is not single-phase and contains poorly crystallized  $\text{SrF}_2$  (about 5–7 %) as an impurity. The reflections of  $\text{SrF}_2$  phase are indicated with asterisks. Reflections belonging to the perovskite phase were indexed in a cubic perovskite cell with  $a = 3.963$  (1) Å.

According to Mössbauer spectroscopy data, we found that the values of chemical shifts in the spectrum indicate the presence of  $\text{Fe}^{3+}$  exclusively in  $\text{Sr}_2\text{Fe}_2\text{O}_5$  and in  $\text{SrFeO}_2\text{F}$ , which implies that fluorine occupies exactly 1/3 of the positions of oxygen atoms in the crystal lattice. We also concluded that the real oxygen content in  $\text{SrFeO}_2\text{F}$  is close to stoichiometric.

SEM images showed, that the particle size of  $\text{SrFeO}_2\text{F}$  is 2–5 microns. Both  $\text{SrFe}_{0.6}\text{Co}_{0.4}\text{O}_2\text{F}$  and  $\text{SrFeO}_2\text{F}$  were obtained with a surface area of 50  $\text{m}^2/\text{g}$  according to BET. The electrocatalytic activity of  $\text{SrFe}_{0.6}\text{Co}_{0.4}\text{O}_2\text{F}$  in

oxygen evolution reaction was measured; according to preliminary data, the compound shows activity in the OER.

To conclude by using three-stage synthesis, a sample of  $\text{SrFeO}_2\text{F}$  was obtained. The sample contains exclusively  $\text{Fe}^{3+}$  cations, as follows from the Mössbauer spectroscopy data. The particle size of the  $\text{SrFeO}_2\text{F}$  was 2–5 microns. Also, a new oxofluoride  $\text{SrFe}_{0.6}\text{Co}_{0.4}\text{O}_{2.3}\text{F}$  was obtained, which crystallizes in the cubic structure of perovskite, and shows activity in the OER.

#### References

1. S. Lu, J. Pan, A. Huang, L. Zhuang, J. Lu // *Proc. Nat. Acad. Sci. U.S.A.* 2008. Vol. 105. P. 20611–20614.
2. J. Suntivich, K.J. May, H.A. Gasteiger, J.B. Goodenough, Y. Shao-Horn // *Science*. 2011. Vol. 334. P. 1383–1385.

## **The study of segregation of impurities on grain boundaries of lithium metal anodes**

A.T. Guzhechenko, A.A. Rulev

*Department of Materials Science, Lomonosov Moscow State University,  
Leninskie Gory 1-73, Moscow 119991, Russia*

Due to its high specific capacity and low electrode potential, lithium metal is considered the best anode material in chemical current sources, e.g. in lithium-oxygen or sulfur-oxygen batteries. The key issue of lithium metal anode is its tendency to non-uniform morphology during the charge process: metal needle-like structures called ‘whiskers’ are forming on the negative electrode surface. Their formation leads to a significant loss of battery capacity after several charge-discharge cycles, meanwhile creating the risk of a short circuit [1]. The problem of lithium uneven deposition hinders the commercialization of rechargeable batteries with lithium metal anode.

According to the scientific literature, one of the key factors affecting the morphology of lithium during electroplating is the residual mechanical stress generated in bulk metal due to the deposition of lithium under the passivation layer (SEI) on the electrode surface [2]. The resulting mechanical stress enhances the diffusion of lithium atoms to the bases of some grains that grow in form of whiskers.

To suppress the growth of needle-like structures, we have proposed to limit the diffusion along the grain boundary and on the electrode surface by adding sodium as an impurity that should be segregated at the grain boundaries and on the lithium metal surface.

Sodium-lithium mixtures with different sodium content were obtained via alloying these metals in inert argon atmosphere. Using scanning electron microscopy, we investigated the distribution of sodium in lithium-sodium mixtures, and studied the influence of sodium adding on the morphology of electrodeposited lithium. It was noted that the minimum on the voltage curve of lithium galvanostatic electrodeposition on pure lithium metal refers to the beginning of secondary nucleation that is followed by whisker growth. In the time before the minimum, the bulging of some surface grains is observed, which is the result of diffusion of lithium atoms to the bases of these grains. We have discovered that the increases in sodium concentration in mixtures leads to the reduction of time before the beginning of whisker growth, which may indicate the blocking of grain-boundary diffusion.

### **References**

1. Liu He et al. // *EnergyChem*. 2019. Vol. 1. № 1. 100003.
2. He Yang et al. // *Nature nanotechnology*. 2019. Vol. 14. № 11. P. 1042–1047.

## **Industrial symbiosis for solving problem of organic waste generation in retail**

V. Savoskula, A. Novikova, A. Yeremenko, S. Antipova, O. Sergienko

*ITMO University, Kronverksky Pr. 49, bldg. A,  
Saint Petersburg, 197101, Russia*

A third of all food products are lost or thrown away every year in the world — about 1.3 billion tons per year, or 7.5 trillion dollars. At the same time, in Russia, according to Rosstat, food losses are 0.6 %, and according to experts — more than 40 %. To date, according to AKORT (Association of Retail Companies) and X5 Retail Group, Russian retail produces about 700 tons of food waste per year. The main share of which — about 45 % — are expired plant products — vegetables and fruits, about 20–25 % are products with a short consumption period and about 30 % are meat, poultry and fish [1–3].

The main goal of the study is to consider the possibility of biogas production and further energy production from organic waste of retail chains using the approach of industrial symbiosis. Thus, a solution to the problem of organic waste and energy in the Russian region is proposed.

The overall objective has been achieved through

1) study of the legislative framework for the possibility of building the principle of industrial symbiosis in one of the regions of Russia

2) building a model of industrial symbiosis of retail trade with the possibility of obtaining biogas from organic waste and further obtaining energy and other by-products.

At this stage, the analysis of the legal framework made it possible to conclude that the current situation with the processing of organic waste is burdened with the costs of Russian legislation. The situation is such that land-fill disposal is the simplest and cheapest option for handling this type of waste. The processing of organic waste by transferring it to peasant farms or obtaining energy resources is not stimulated by the state at the proper level, there is no motivational system for the implementation of such environmental initiatives, there are no subsidies and benefits. Even donating surplus food to charity is taxed.

The use of the industrial symbiosis approach — the use of waste from one enterprise in the production process of another enterprise — allows you to optimize the use of resources, reducing environmental impacts by closing resource chains, thereby contributing to the development of a circular economy.

Building a model of industrial symbiosis is a tool that can be used as an effective tool for solving organic waste problems. In the best way of functioning of industrial symbiosis, 100 % of organic waste will not be disposed of in landfills, at the same time, all the electricity needed for the city will be generated using biogas from organic waste. This scenario is consistent with the “perfect symbiosis” defined by Albino et al. as a condition under which waste is not disposed of and primary resources are not purchased outside the considered system.

### **References**

1. Research by the Center for the Development of the Consumer Market of the Moscow School of Management Skolkovo «Food losses and organic waste in the consumer market of the Russian Federation», Moscow. 2020. [Electronic resource]  
[https://sk.skolkovo.ru/storage/file\\_storage/1de06cc3-d069-49e4-9980-8088d743057/SKOLKOVO\\_CMDC\\_2019-12-06\\_001.pdf](https://sk.skolkovo.ru/storage/file_storage/1de06cc3-d069-49e4-9980-8088d743057/SKOLKOVO_CMDC_2019-12-06_001.pdf)
2. Business Vector News Agency Article «Waste-free trade: why do X5 and Magnit collect bottles and recycle packaging». 2019. [Electronic resource] <https://www.business-vector.info>
3. Albino V., Fraccascia L., Savino T. // *Procedia Engineering*. 2015. № 118. P. 950–957.

## **Синтез и функциональные свойства неграфитизируемого углерода и углеродных композитов на его основе для металл-ионных аккумуляторов**

Г.П. Лакиенко<sup>1</sup>, З.В. Бобылёва<sup>1</sup>, О.А. Дрожжин<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup> *Факультет наук о материалах МГУ имени М.В. Ломоносова, 119991, Москва, Россия*

<sup>2</sup> *Химический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова, 119991, Москва, Россия*

<sup>3</sup> *Центр энергетических наук и технологий, Сколковский институт науки и технологий, 143026, Москва, Россия*

Потребность в создании дешёвых и экологичных способов хранения энергии растет с каждым годом. Для этого повсеместно используются металл-ионные аккумуляторы (МИА). Ключевая проблема при коммерциализации технологии для получения металл-ионных аккумуляторов состоит в поиске электродных материалов с удовлетворительными электрохимическими характеристиками. В связи с этим растет интерес к новым материалам для металл-ионных аккумуляторов. Одними из таких материалов являются углеродные материалы которые повсеместно используются как аноды для МИА.

Для анодов МИА используют материалы на основе “твёрдого” углерода (hard carbon), в структуре которого присутствуют разупорядоченные графеноподобные слои. Такой углерод демонстрирует высокие емкости до 450 мАч/г в литий-ионных и натрий-ионных аккумуляторах. «Твёрдый» углерод как правило, имеет большую удельную площадь поверхности, на которой при первом цикле зарядки аккумулятора происходит образование пассивирующего слоя (Solid Electrolyte Interphase — SEI), что приводит к уменьшению кулоновской эффективности на первом цикле [1]. Для снижения необратимых потерь емкости в ходе циклирования аккумулятора, необходимо снизить удельную поверхность, доступную для разложения электролита. Одним из путей решения этой проблемы является получение композита на основе «твёрдого» углерода и так называемого «мягкого» графитизируемого углерода [2].

Для получения частиц “твёрдого” углерода малого размера проводилась карбонизация D-глюкозы в гидротермальном реакторе с последующим отжигом в печи в инертной атмосфере. Первая часть работы посвящена оптимизации условий синтеза «жесткого» углерода гидротермальным способом при варьировании нескольких параметров синтеза, таких как температура, начальная концентрация, время синтеза.

Полученные материалы были исследованы методом растровой электронной микроскопии и электрохимическими методами анализа. Материалы показали разрядную емкость до 270 мАч/г при скорости циклирования C/10 и кулоновскую эффективность на первом цикле до 80 % (рис 1, 2, 3) в сборке с натрием.

Также была проверена возможность создания композита с полиакрилонитрилом и поливинилпиридином. Материал после гидротермального синтеза смешали с растворами полимеров и провели отжиг в атмосфере аргона. Полученные углерод-углеродные композиты продемонстрировали характеристики, сопоставимые с углеродным материалом без покрытия.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда проект № 19-73-10078*

#### **Список литературы**

1. Saurel D. et al. // *Advanced Energy Materials*. 2018. Vol. 8. № 17. 1703268.
2. Xie F. et al. // *Advanced Functional Materials*. 2019. Vol. 29. №. 24. 1901072.

## Платиновые катализаторы на различных подложках

О.А. Пинчук<sup>1</sup>, А.Ю. Брюханов<sup>2</sup>, Е.А. Ясенко<sup>2</sup>, И.В. Челибанов<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Национальный исследовательский университет ИТМО, Россия, 197101, Санкт-Петербург, Кронверкский пр., 49*

<sup>2</sup> *ОПТЭК, Россия, 199178, Санкт-Петербург, Малый проспект В.О., 58, литер А*

Платиновые катализаторы, изготовленные из металлической платины или композитных материалов, содержащих наночастицы платины, применяются в различных отраслях промышленности и в научных разработках. На практике оказываются востребованными платиновые катализаторы, полученные осаждением наночастиц платины на подложки различного типа. Для предотвращения конгломерации и слипания наночастиц обычно используются различные добавки, например, поверхностно активные вещества. В работе [1] показано, что в процессе использования катализатора поверхностно активные вещества могут испаряться, что сопровождается увеличением размеров частиц (сокращением активной поверхности) и уменьшением каталитической активности. В работе [2] представлены результаты получения платинового катализатора для топливных элементов осаждением наночастиц Pt на модифицированный активированный уголь. Для предотвращения конгломерации и слипания наночастиц, осаждение наночастиц Pt осуществлялось на подложку, которая представляла собой активированный уголь, на поверхности которого предварительно синтезирован аэрогель диоксида кремния.

В настоящей работе представлены результаты получения композитных материалов, полученных осаждением наночастиц платины на подложки различного размера и состава, на наночастицы диоксида титана, гидроксилapatит и фарфоровые шары диаметром 3 мм.

Осаждение наночастиц Pt на наночастицы диоксида титана осуществлено методом, аналогичным, описанному в работе [1]. Покрытие наночастиц диоксида титана, которые использовались в качестве подложки, наночастицами платины на диаметр частиц оценивалось анализом микрофотографий образцов наночастиц  $\text{TiO}_2$  и  $(\text{TiO}_2\text{-Pt})$ . Анализ показал, что не произошло заметного увеличения среднего диаметра наночастиц  $(\text{TiO}_2\text{-Pt})$  по сравнению с наночастицами  $\text{TiO}_2$ . Спектры комбинационного рассеяния  $\text{TiO}_2$  и  $(\text{TiO}_2\text{-Pt})$  показали, что в спектре композита  $(\text{TiO}_2\text{-Pt})$  отсутствуют полосы характерные для  $\text{TiO}_2$ , что свидетельствует о равномерном покрытии поверхности частиц  $\text{TiO}_2$  наночастицами Pt.

Известно, что наночастицы Pt используются при лечении онкологических заболеваний [3]. С другой стороны, гидроксилapatит (НА) широко распространён в живой природе и входит в состав костных тканей, зубов, скорлупы яиц и т. д. Поэтому представляется полезным получение и исследование свойств НА, допированного наночастицами платины. Синтез НА выполнен методом, описанным в работе [4]. Полученный образец НА высушивался и перетирался в агатовой ступке. Затем на него осаждались наночастицы Pt. Исследовались спектры комбинационного рассеяния полученного композита и его каталитическая активность.

В реакционных аппаратах газовых анализаторов обычно используются засыпки из сыпучих материалов достаточно крупных размеров для свободного прохождения газов через аппарат, например, такие как фарфоровые шары различного диаметра. В работе представлены результаты получения катализатора путём осаждения наночастиц платины на фарфоровые шары диаметром 3 мм. Полученный катализатор характеризуется равномерным покрытием поверхности сфер Pt. Испытания каталитической активности проведено с использованием анализатора атмосферного воздуха — хроматографа ГАММА-ЕТ. Известно, что углеводороды обладают малой химической активностью, особенно метан, поэтому испытания катализатора проводились на воздухе, в который дополнительно вводилось определённое количество метана. Испытания показали хорошую каталитическую активность полученного катализатора.

Таким образом, показано, что новые композитные материалы, полученные осаждением наночастиц платины на различные подложки, имеют область рационального использования в качестве катализаторов.

#### **Список литературы**

1. Pinchuk O.A., Aubuchon S.R., Marks C., Dominey R., Dundar F., Deniz O.F., Ata A., Wynne K.J. // *Fuel cells*. 2009. Vol. 9. № 5. P. 554–561.
2. Pinchuk O.A., Dundar F., Ata A., Wynne K.J. // *International Journal of Hydrogen Energy*. Vol. 37. Issue 3. February 2012. P. 2111–2120.
3. Barbanente A., Nadar R.A., Esposti L.D., Palazzo B., Iafisco M., van den Beucken J.J.J.P., Leeuwenburgh S.C.G., Margiotta N. // *J Mater Chem B*. 2020. Vol. 04; 8 (14). P. 2792–2804.
4. Khamova T.V., Frank-Kamenetskaya O.V., Shilova O.A., Chelibanov V.P., Marugin A.M., Yassenko E.A., Kuz'mina M.A., Baranchikov A.E., Ivanov V.K. // *Crystallogr Rep*. 2018. Vol. 63 (2). P. 254–260.

## Реализация в химической промышленности тренда низкоуглеродного развития

Е.И. Кудрявцева<sup>1</sup>, А.С. Макарова<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ООО «КОЛТЕК-ЭкоХим», 123592, Россия, Москва,  
ул. Маршала Катукова, 22, корп. 2

<sup>2</sup> Российский химико-технологический университет имени  
Д.И. Менделеева, 125047, Россия, Москва, Миусская пл., 9

Изменение климата, вызванное накоплением антропогенных выбросов парниковых газов в атмосфере, является одной из приоритетных проблем человечества, окружающей среды и мировой экономики. В рамках Повестки дня в области устойчивого развития на период до 2030 года борьба с изменением климата и его последствиями утверждена в качестве цели устойчивого развития ООН [1]. Усилия мирового сообщества, направленные на борьбу с изменением климата, привели к стимулированию перехода общества к низкоуглеродной («зеленой») экономике. В результате в деловом сообществе возросло внимание к разработке углеродной отчетности, подтверждающей устойчивое развитие предприятия, в том числе и к оценке углеродной нейтральности выпускаемой продукции. Так, в рамках международной программы «Ответственная забота» (англ. Responsible Care), инициированной в 1980-х годах в Канаде [2], российские химические предприятия осуществляют деятельность не только в соответствии с принципами экономической целесообразности, но и согласно принципам устойчивого развития и вопросам сохранения окружающей среды. Для количественной оценки результативности осуществляемой деятельности химические предприятия-участники программы ежегодно предоставляют отчетность по ключевым показателям эффективности в области охраны окружающей среды, сохранения здоровья работников и обеспечения промышленности безопасностью. В рамках реализации программы «Ответственная забота» химические предприятия проводят политику по постепенному сокращению выбросов парниковых газов и предоставляют сведения о количестве прямых и косвенных выбросов парниковых газов, образующихся при потреблении топливно-энергетических ресурсов, работе производственного оборудования, потреблении тепло- и электроэнергии, полученной от поставщиков, для обеспечения нужд предприятия [3].

Для оценки эффективности деятельности российских химических предприятий по сокращению выбросов парниковых газов разработан оригинальный алгоритм, предусматривающий оценку агрегированных

абсолютных показателей прямых и косвенных выбросов парниковых газов за период с 2005 по 2019 год, а также оценку агрегированных удельных показателей, нормированных на тонну производимой продукции или на тысячу рублей годовой выручки химических предприятий-участников программы. По результатам проведенных оценок определены тренды изменения показателей выбросов парниковых газов с использованием процедур линейного приближения и метода наименьших квадратов.

Результаты показали, что за период исследования выбросы парниковых газов в относительном выражении имеет тенденцию к снижению. Так, количество выбросов парниковых газов сократилось с 2,16 т CO<sub>2</sub>экв./т продукта и 0,1 т CO<sub>2</sub>экв./тыс.руб. до 0,73 т CO<sub>2</sub>экв./т продукта и 0,07 т CO<sub>2</sub>экв./тыс.руб. Однако для соответствия базовому сценарию, описанному в Стратегии долгосрочного развития Российской Федерации с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 года, российским химическим предприятиям необходимо принять дополнительные меры по сокращению выбросов парниковых газов, в частности, внедрение энерго- и ресурсосберегающих технологий, снижение потерь энергии на стадии производства продукции.

Реализация тренда низкоуглеродного развития позволит предприятиям химической отрасли промышленности не только ограничить содержание парниковых газов в атмосфере, но и получить конкурентные преимущества на рынке за счет создания низкоуглеродных продуктов, которые могут быть встроены в зеленые цепочки поставок; демонстрации экологической ответственности; минимизации рисков репутационных и финансовых, связанных с регулированием выбросов парниковых газов, изменением поведения покупателей, кредиторов и инвесторов.

### **Список литературы**

1. Доклад о человеческом развитии в Российской Федерации «Цели устойчивого развития ООН и Россия», 2016. ISBN: 978-5-9906211-3-8.
2. ICCA, 2018a. Responsible Care, The quest for performance excellence [Электронный ресурс]. URL: [www.icca-chem.org/responsible-care/](http://www.icca-chem.org/responsible-care/) (дата обращения 17.01.2021).
3. Krantzberg G., Theriault S. Would implementing Responsible Care® principles improve the safety of the fracking industry? // International Journal of Sciences. 2017. Vol. 6. P. 55–62.

## Использование биоэлектрохимического потенциала для оценки функционального состояния дрожжей

С.Э. Мурик, Т.С. Лазарева, Е.В. Антонова, С.Э. Сергиенко

*Иркутский государственный университет, г. Иркутск*

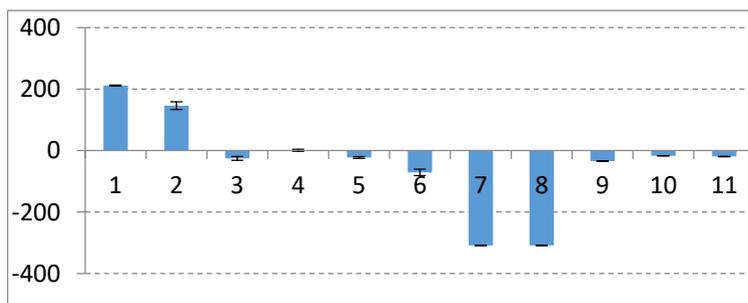
Оценка функционального состояния (ФС) микроорганизмов — остается актуальной задачей как для биотехнологических производств, так и для оценки экологической обстановки в водных средах. Одним из подходов здесь могло бы быть использования биопотенциалов, в частности мембранного потенциала, который тесно связан с работой ионных насосов, в свою очередь зависящей от состояния внутриклеточного метаболизма, в том числе энергетического. Однако, внутриклеточная регистрация мембранного потенциала с помощью микроэлектродов для оценки ФС микроорганизмов достаточно сложна для её широкого применения.

Целью настоящей работы было исследование возможности оценки ФС взвеси микроорганизмов макроэлектродным методом. Для этого было проведено исследование ФС дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* по данным электрохимического потенциала (ЭХП). Регистрацию ЭХП проводили с помощью хлорсеребряного (ЭВЛ-1МЗ.1) и платинового (ЭПВ-1) электродов (Гомельский завод измерительных приборов, Беларусь), являющихся соответственно электродами сравнения и измерения. Измерение потенциалов проводили между двумя стеклянными ячейками (объемом 100 мл) заполненными питательным раствором YEPD (yeast extract (5 г/л), рертоне (10 г/л), dextrose (20 г/л)) и соединенными между собой графитовым войлочным мостиком, в одну из которых вносились дрожжи (САФ-Момент, 2 г). Регистрацию ЭХП проводили в течение 3–5 часов в сутки, периодически делая 1-мин измерения ЭХП с помощью измерителя Эксперт-001 (ООО "Эконикс-Эксперт", г. Москва). Всего один эксперимент продолжался 5 суток.

Дрожжи вносились в ячейку, где находился измерительный электрод, в первые же сутки эксперимента после 10 мин измерения исходной разности ЭХП. На 4-е сутки обе ячейки (одна с YEPD, другая с YEPD+дрожжи) нагревали на водяной бане в течение 30 минут. После достижения в ячейках 86 °С они выдерживались при данной температуре еще на протяжении 15 мин. После окончания высокотемпературной экспозиции и остывании растворов до 29 °С измерение ЭХП возобновлялось. Проведено три серии опытов. Статистическая обработка

осуществлялась с использованием t-теста (критерий Стьюдента) для зависимых выборок. Данные представлены как среднее арифметическое  $\pm$  ошибка среднего.

Результаты регистрации и анализа электрического потенциала между ячейками с помощью хлорсеребряного и платинового электродов показало, что ЭХП раствора YEPD равнялся  $+232 \pm 19$  мВ. Внесение дрожжей в стакан с платиновым электродом привело к снижению ЭХП уже за первые 10 минут более чем на 50 мВ ( $p = 0,014$ ). Всего же в первый опытный день за три с половиной часа наблюдения ЭХП упал на  $283 \pm 26,7$  мВ ( $p = 0,01$ ). Развитие микроорганизмов в течение 3-х суток сопровождалось его дальнейшим уменьшением и приобретением отрицательных значений относительно электрода сравнения (см. Рис. 1). При этом в отдельных исследованиях снижение потенциала достигало более 450 мВ. Воздействие летальной для дрожжей температуры проявилось в уменьшении отрицательного потенциала на  $195 \pm 67$  мВ.



**Рис. 1.** Величина средних значений ( $\pm$  ошибка среднего) ЭХП (мВ) за 10-мин периоды в течение 5 суток в одной из серий опытов до внесения дрожжей в стакан с платиновым электродом (1), после их внесения (2–8) и после водяной бани (9–11)

Регистрируемый при внесении дрожжей электрический потенциал в значительной части состоит из окислительно-восстановительного потенциала водного раствора питательной среды, в которой культивировали дрожжи, а также потенциала самих дрожжей. При гибели клеток, создаваемый течением жизненных процессов восстановительный потенциал, по всей видимости, исчезал.

Таким образом, полученные результаты позволяют с оптимизмом смотреть на возможность оценки ФС суспензий одноклеточных на основе регистрации и анализа биоэлектрохимического потенциала.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Немецкого научно-исследовательского сообщества в рамках научного*

*проекта № 21-54-12022 «Структурно-функциональные взаимодействия электроактивных биопленок в микробных топливных и электролизных элементах».*

## **Улучшение показателей водостойкости фенолоформальдегидной смолы с использованием биофенолов полученных из жидких продуктов пиролиза древесных отходов**

А.Р. Валеева, А.И. Сабирзянова, А.Н. Грачев,  
С.А. Забелкин, Г.М. Бикбулатова

*ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет», 420015, РФ, Республика Татарстан, г. Казань, ул. К. Маркса, 68*

Резольные фенолоформальдегидные смолы (ФФС) наиболее часто они применяется при производстве водостойкой фанеры. Острой проблемой при производстве древесной продукции является образование большого количества отходов. Одним из методов переработки данного вида отходов является быстрый абляционный пиролиз, при котором образуется до 70 % жидких продуктов — пиролизная жидкость (ПЖ) или бioneфть [1].

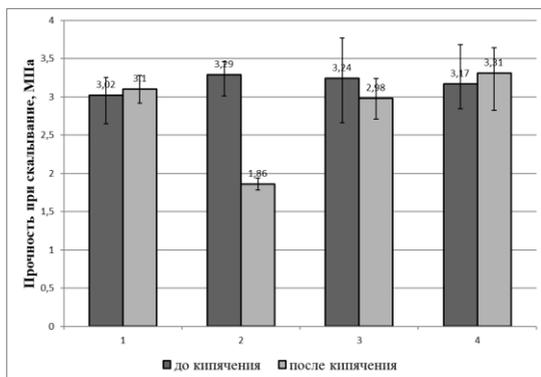
Согласно проведенным анализам, пиролизная жидкость может содержать до 30 % фенолов. Интересным становится идея использования пиролизной жидкости в качестве сырья при синтезе фенолоформальдегидных смол. Пиролизная жидкость может частично заменить дорогостоящий фенол. Данная технология может существенно снизить затраты на производство, однако присутствие в ПЖ других соединений может приводить к ухудшению эксплуатационных свойств смолы. Исследование свойств модифицированной пиролизной жидкостью ФФС показало наличие в ней нейтральных соединений, т. е. вещества, не принимающие участие в синтезе, и ухудшающие её водостойкость [2].

Процесс выделения фенольной фракции из ПЖ состоял из двух стадий: удаление воды, уксусной кислоты методом перегонки и отделение нелетучих углеводных компонентов, соли, оксикислоты методом экстракции горячей водой. Для синтеза использовался продукт данной обработки — фенолозамещающая фракция (ФЗФ) или биофенол.

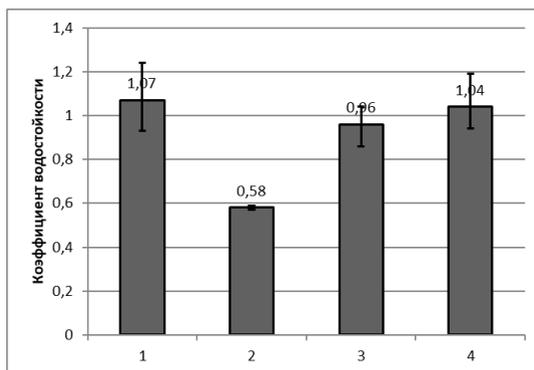
Полученная с использованием ФЗФ смола подвергалась обработке растворителями (н-гексан и бензол). Был проведен анализ полученных экстрактов методами аналитической химии и было установлено, что бензол в качестве органического растворителя справляется эффективнее [3].

Оценка прочности и водостойкости осуществлялась по методике ГОСТ 20907-2016 путём определения прочности при скалывании до и

после кипячения. Для испытания на прочность использовались четыре вида смолы, данные по испытаниям представлены на рисунке 1 и 2.



**Рис. 1.** Прочность при скалывании по клеевому слою ФФС: 1 — контрольная смола без ФЗФ; 2 — смола с использованием ФЗФ без обработки; 3 — смола с ФЗФ обработанная н-гексаном; 4 — смола с ФЗФ обработанная бензолом



**Рис. 2.** Коэффициент водостойкости ФФС: 1 — контрольная смола без ФЗФ; 2 — смола с использованием ФЗФ без обработки; 3 — смола с ФЗФ обработанная н-гексаном; 4 — смола с ФЗФ обработанная бензолом

По полученным данным был сделан вывод что удаление нейтральных соединений приводит к значительному улучшению показателей водостойкости у ФФС полученных с использованием биофенолов. В дальнейшем представляет интерес вопрос обработки фенолзамещающей фракции до использования его в синтезе, а не обработка готовой модифицированной смолы.

**Список литературы**

1. Доронин Ю.Г., Свиткина М.М., Мирошниченко С.Н. Синтетические смолы в деревообработке: справочник. Москва: Лесная промышленность. 1979. 208 с.
2. А.Р. Валеева, А.Н. Грачев, С.А. Забелкин, В.Н. Башкиров, А.И. Сабирзянова. Определение влияния степени замещения фенола жидкими продуктами пиролиза древесины на прочность фенолоформальдегидной смолы // *Деревообрабатывающая промышленность*. 2020. № 16. С. 88–95.
3. Zabelkin S., Valeeva A., Sabirzyanova A. et al. // *Biomass Conversion and Biorefinery*. 2020. DOI: 10.1007/s13399-020-01025-0.

## **Immobilization of mercury in waste, sulfur-containing compounds, in the most safe form for humans and the environment — mercury sulfide**

A.S. Makarova, A.N. Fedoseev, A.S. Tyurina

*D. Mendeleev University of Chemical Technology of Russia, 125047, Russia, Moscow, Miusskaya square, 9*

Mercury is an important but poorly understood pollutant. It is naturally present in the environment in soil and plants and enters the atmosphere as a result of evaporation, volcanic eruptions and forest fires. However, one of the main sources of mercury pollution is evaporation from industrial and municipal waste [1].

HgS (s) is relatively insoluble and less volatile than other forms of mercury, and therefore potentially less harmful [2]. Cinnabar (hexagonal, red,  $\alpha$ -HgS (s)) is stable in waste due to slow oxidation kinetics; hence mercury poses a higher long term potential risk.

Pyrite is the most common metal sulfide in nature; it is a widely available and inexpensive material that, as a result of experimental results obtained, interacts well with mercury.

The studies of the immobilization of mercury in waste with sulfur and pyrite show that pyrite contributes to a more complete stabilization of mercury, in comparison with sulfur, and after 90 minutes of reaction in a ball mill (for example, mshl-1), significantly better results are achieved with less consumption of raw materials.

Moreover, the difference between the amount of mobile mercury generated by using sulfur and using pyrite was comparable to the difference between the Hg (II) and mobile mercury content, obtained by assessing the possibility of mercury input from immobilized waste.

Also, a series of experiments on stabilization with a mixture of sulfur and pyrite were carried out at various ratios of sulfur and pyrite. As a result, it was found that significant immobilization (more than 99 %) in 90 minutes can be achieved using a mixture of sulfur and pyrite in a 1 : 1 ratio. The amount of the mixture was taken in relation to mercury in the ratio Hg: (FeS<sub>2</sub> + S<sub>8</sub>) = 1 : 3.

As a result, it was determined that it is advisable to use mercury with pyrite for the immobilization of mercury from mercury-containing waste (the optimal ratio of the mixture components is 1 : 1), the efficiency of mercury stabilization can be more than 99 %.

*The reported study was funded by RFBR according to the research project № 18-29-24212.*

**References**

1. Peng Y., Deng A., Gong X., Li X., Zhang Y. Coupling process study of lipid production and mercury bioremediation by biomimetic mineralized microalgae // *Bioresource Technology*. 2017. Vol. 243. P. 628–633. DOI: 10.1016/j.biortech.2017.06.165.
2. Drott A., Björn E., Bouchet S., Skyllberg U. Refining thermodynamic constants for mercury (II)-sulfides in equilibrium with metacinnabar at sub-micromolar aqueous sulfide concentrations // *Environmental Science & Technology*. 2013. Vol. 47 (9). P. 4197–4203. DOI: 10.1021/es304824n.

## Molecular-imprinted composite materials with improved optical properties for photovoltaic cells

Yu.Yu. Petrova, E.V. Bulatova

*Surgut State University, 628412, Surgut, Lenin ave. 1*

Perylenediimide (PDI) dyes – acceptors of well-known organic semiconductor systems [1]. They are often used in organic photovoltaic cells in which low values of the band gap are achieved, but PDI have a tendency to self-aggregate. In this work we have proposed surface modified TiO<sub>2</sub> nanoparticles as the carriers of PDI.

The method of surface molecular imprinting [2] to create films on the surface of TiO<sub>2</sub> nanoparticles with 1-H-pyrrol-N, N'-bis (3-pentyl) perylene-3,4,9,10-bis (dicarboximide)-5-hexyl-11-1H-1,2,3-triazol-1-yl-pentanoic acid (PDI-Taz-C5OOH) and N, N'-bis (3-pentyl) perylene-3,4,9,10-bis(dicarboximide) (EP-PDI) imprints with acceptor properties was used. Molecular imprinted (MIP) composites were obtained by sol-gel method using titanium(IV) butoxide as a precursor with precursor : template ratio 1:81.

For composite characterization laser diffraction, Fourier transform infra red spectroscopy (FTIR), differential scanning calorimetry (DSC) and thermogravimetry analysis (TGA) were carried out. For example, the average particle diameter of the EPI-PDI composite was from 3 to 9 μm. In the FTIR spectra aliphatic and aromatic C-H stretches, as well as C=O and C=C stretching bands were observed. Differential thermal analysis was performed in an oxidizing environment (air). An exothermic maximum was observed at 460 °C, which can be explained by the dye oxidative destruction.

The band gap determined by the diffuse reflectance spectroscopy is most efficiently reduced by 0.1–0.5 eV for PDI-Taz-C5OOH-imprinted composites. This defines the bathochromic shift of absorption to the visible region by 72 nm. The sorption capacity after template removal with ethanol has reached 0.75 μmol/g PDI-Taz-C5OOH, and after calcination at 400 °C – 1.8 μmol/g EP-PDI. At the same time, molecular imprinted (MIP) material can rebind 2 times more PDI-Taz-C5OOH than unimprinted (NIP).

### References

1. Zhan C., Yao J. // Chem. Mater. 2016. Vol. 28. P. 1948.
2. Huang Z., Zhang Z., Xia Q., et al. // J. Appl. Polym. Sci. 2017. Vol. 134. P. 44888.

## **Use, creation and evaluation of biodegradable materials**

A.P. Kuznetcova, M.O. Vasileva, V.A. Tereshko, N.R. Molodkina

*ITMO University, Kronverksky Pr. 49, bldg. A,  
Saint Petersburg, 197101, Russia*

Plastic is a material that is used by almost all people on the planet. Its production is based on the polymerization and polycondensation reactions of low-molecular substances extracted from oil, coal, and natural gas. Plastic materials decompose in nature for 100–300 years. To reduce the disposal time of plastic waste, various methods can be used. They can be classified as [1]:

- mechanical (pressing),
- thermal (pyrolysis, thermal decomposition),
- physico-chemical (sorption, various chemical effects)
- biological (aerobic and anaerobic decomposition).

However, all these methods are expensive and harmful to the environment.

Nowadays, most of the waste is simply accumulated in landfills. In Russia, the processes of recycling, as well as the reuse of materials, are just beginning to develop and are gradually gaining popularity. At the moment, only 8 % of the waste is recycled [1].

Therefore, new solutions are needed in this area, which will help to reduce dependence on hydrocarbons and minimize the negative impact on the environment. An alternative to the synthetic material, called bioplastics, was developed. This term refers to biodegradable materials made from biodegradable polymers and specific additives. However, the most environmentally friendly materials are biodegradable compostable materials.

We make an assumption about the rational use of food waste in the production of biodegradable materials as a part of the circular economy [1]. This will not only achieve the creation of a biodegradable compostable material, but also solve the problem of recycling food waste. The formula created by us theoretically fits all the requirements for biodegradable products. Created material does not contain synthetic polymers and organic impurities that affect biological decomposition [2].

As a result of the analysis, we decided to use rice husks as a raw material. Starch, glycerin and citric acid were added. These components are mixed in a strictly defined ratio, which varies depending on the starch manufacturer. After that, the resulting mixture is heated in a water bath. Then, as a result of manual molding, we get the finished product at the output.

To confirm the biodegradability of the resulting material, we will apply the methodology of the international standard ISO 17556:2019. According to

this method, controlled composting conditions are created in the soil mixture [3]. The biodegradability of the material that we have created can be assessed by the release of CO<sub>2</sub>.

As a result of the work carried out, not only a prototype of a biodegradable material was obtained, but also the methodology for determining the degree of biodegradation of materials was tested. Further work will allow us to improve the material and products made from it, which will allow us to test the resulting prototypes in the future under consumer conditions.

### **References**

1. Legonkova O.A. // Food processing industry. 2007. Vol. 20. № 6. P. 26–28.
2. Sánchez C. // Laboratory of Biotechnology, Research Centre for Biological Sciences. 2018. Vol. 15. № 2. P. 90–120.
3. Ardisson G.B, Tosin M., Barbale M., Degli-Innocenti F. // Frontiers in Microbiology. 2014. Vol. 5. № 710. P. 1–7.

## **Скорости испарения капель растворов: влияние примесей в воде**

Р.С. Волков, С.А. Керимбекова, П.А. Стрижак

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30*

Испарение капель жидкостей различного состава является основой большинства технологий в химической, нефтехимической, нефтеперерабатывающей и энергетической отраслях [1]. Кроме этого, можно отдельно выделить важность и применимость исследования испарения капель в области пожаротушения. По этой причине результаты экспериментальных и теоретических исследований процессов испарения капель имеют большое практическое применение. В настоящее время малоизученными остаются процессы испарения растворов различного компонентного состава в высокотемпературной (от 373 до 900 К) газовой среде [2]. Стоит отметить, что оптимизация процессов испарения позволит существенно сэкономить энергетические и временные ресурсы. При этом на интегральные характеристики процесса испарения значительное влияние оказывает как тип примеси и размер капель, так и схема подвода тепла. Поэтому рациональным представляется экспериментальное определение зависимостей массовых скоростей испарения капель воды в высокотемпературной среде с учетом влияния перечисленных факторов.

Исследование испарения капель жидкостей с различным компонентным составом выполнено с использованием средств высокоскоростной видеорегистрации (до  $6 \cdot 10^5$  кадров в секунду), а также кросс-корреляционного оптического комплекса на базе твердотельного импульсного Nd:YAG лазера [1, 2]. Применены две схемы подвода тепла: конвективного (в потоке газа) и радиационного (стационарное размещение) нагрева капель. Размеры капель варьировались в диапазоне 0.05–1.6 мм. Для регистрации размеров капель ( $R_d$ ) применялся оптический метод «Shadow Photography» [1, 2]. Погрешности определения  $R_d$  не превышали 1.5 %. Для капель различного размера и компонентного состава вычислялась массовая скорость испарения капель по трем различными методикам [4] в широком (373–900 К) диапазоне температур для различных компонентных составов. Кроме этого, сформулированы особенности, которые необходимо учитывать для получения корректных значений массовых скоростей испарения. Определены типы примесей, как существенно интенсифицирующие процесс испарения жидкости, так и не оказывающие на него существенного влияния.

Проведенные эксперименты показали, что скорости испарения капель воды в высокотемпературной газовой среде главным образом зависят от типа и концентрации примеси, начальных размеров капель и подведенного теплового потока. При варьировании этих параметров можно обеспечить условия интенсивного испарения капель воды. Сформулированы практические рекомендации по эффективному использованию жидкостей с различным компонентным составом в целях максимального снижения температуры продуктов сгорания. Результаты исследования применимы в прогнозировании интенсивности испарения капель, что является крайне полезным, как для моделирования рассматриваемых процессов [1–4], так и для перспективных газопарокапельных приложений.

#### **Список литературы**

1. Войтков И.С., Волков Р.С., Кузнецов Г.В., Стрижак П.А. // Журнал технической физики. 2017. № 12. С. 1911–1914.
2. Kuznetsov G.V., Strizhak P.A., Volkov R.S., Vysokomornaya O.V. // International Journal of Thermal Sciences. 2016. Vol. 108. P. 218–234.
3. Антонов Д.В., Волков Р.С., Пискунов М.В., Стрижак П.А. // Письма в журнал технической физики. 2016. Т. 42. № 5. С. 49–56.
4. Kuznetsov G.V., Piskunov M.V., Volkov R.S., Strizhak P.A. // Applied Thermal Engineering. 2018. Vol. 131. P. 340–355.

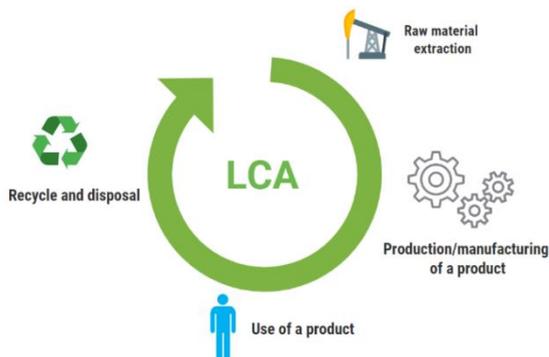
## **Environmental and economic analysis of alternative powering options for coastal vessels with respect to future emission reduction targets**

N. Vladimir, M. Perčić, I. Jovanović, M. Koričan

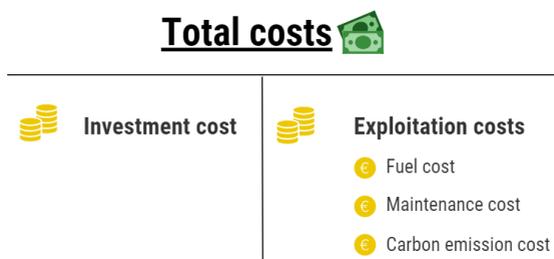
*University of Zagreb, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture, Ivana Lučića 5, 10002 Zagreb, Croatia*

### **Abstract**

Reduction of fuel consumption and lowering harmful gas emissions belong to the category of most important research topics in marine transportation. The former issue is important for all ships, while the latter one is even more emphasized for the vessels operating within highly inhabited areas like short-sea or inland waterway vessels. The International Maritime Organization aims to reduce total annual greenhouse gas emissions from international shipping by 50 % by 2050 and to reduce the average carbon intensity (CO<sub>2</sub> per ton-mile) by a minimum of 40 % by 2030, and 70 % before 2050, all compared to the 2008 levels [1]. This paper considers technical, environmental and economic aspects of implementation of alternative power system configurations in the Croatian coastal shipping sector with respect to short- and long-term emission reduction targets, where existing diesel engine-powered Ro-Ro passenger vessel is taken as a test case. In this sense, operating profile of the considered ship and its power needs are analysed and viability of use of alternative powering options is considered [2, 3]. While the environmental analysis is performed it Life-Cycle Assessment (LCA), Figure 1, the economic analysis is performed with Life-Cycle Cost Assessment (LCCA), Figure 2. In the analysis, the features of the Croatian energy sector are taken into account. Appropriate sensitivity studies of economic indicators with respect to input parameters are performed. The obtained results show that beside reduction in greenhouse and harmful emissions, the electrification of the considered ship leads to the financial savings over its lifetime. Although Croatian case study is considered, the methodology is applicable generally, but the conclusions will be case-specific, depending on the ship technical and exploitation performance and characteristics of energy sector of the considered country.



**Fig. 1.** The LCA and life-cycle stages



**Fig. 2.** The costs included in the LCCA

### Acknowledgement

This research was supported by the Croatian Science Foundation under the project Green Modular Passenger Vessel for Mediterranean (GRiMM), (Project No. UIP-2017-05-1253). Ivana Jovanović and Maja Perčić, Ph.D. students, are supported through the “Young researchers’ career development project — training of doctoral students” of the Croatian Science Foundation.

### References

1. International Maritime Organization. Fourth IMO GHG Study Executive Summary. 2020.
2. M. Perčić, I. Ančić, N. Vladimir. Life-cycle cost assessments of different power system configurations to reduce the carbon footprint in the Croatian short-sea shipping sector // *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2020. Vol. 131. 110028. doi: 10.1016/j.rser.2020.110028.
3. M. Perčić, N. Vladimir, and A. Fan. Life-cycle cost assessment of alternative marine fuels to reduce the carbon footprint in short-sea shipping: A case study of Croatia // *Appl. Energy.* 2020. Vol. 279. 115848. doi: 10.1016/j.apenergy.2020.115848.

**Section 5**  
Clean Water  
**Секция 5**  
Чистая вода

## Очистка природных и сточных вод с применением электростатического поля

О.Н. Медведева, Т.Н. Сауткина

*Саратовский государственный технический университет  
имени Ю.А. Гагарина, г. Саратов*

Эффективность очистки маломутных вод напрямую зависит от интенсификации процесса осаждения частиц в жидкости. В настоящее время с целью ускорения процесса осаждения при отстаивании применяются различные добавки-утяжелители, например, кварцевый песок с размером частиц 0,05–0,14 мм, железный порошок, магнетит крупностью не более 0,05 мм и т. п., ускоряющие процесс образования хлопьев и способствующие скорейшему осаждению. Интенсифицировать процесс хлопьеобразования также возможно без использования химических реагентов, которые могут представлять собой другую разновидность загрязнений или экологическую угрозу, путем применения экологически чистой технологии электрофизической очистки воды, которая сводит к минимуму потребность в любом дополнительном производстве материалов, предназначенных для использования в процессе обработки.

Задача обеззараживания жидкости и газов физическими методами в настоящее время не перестает быть весьма актуальной. Авторы предлагают использовать для очистки жидкости и газов от болезнетворных микроорганизмов электростатическое поле, создаваемое устройствами типа конденсаторов.

В результате исследований очистки природных вод было разработано устройство для интенсификации осаждения взвешенных частиц в жидкости (патент на полезную модель №170333). В настоящее время устройство усовершенствовано с целью интенсификации процесса очищения жидкости и осаждения примесей, обеспечения более эффективного способа улучшения качества воды без использования химических препаратов (патент на полезную модель №200770) [1]. В установку добавлен ионизатор для создания небольших зазоров (~ 1 см) и подачи значительных напряжений в целях интенсификации скорости осаждения примесей под действием сильного электрического поля, создаваемого источником питания.

Технический результат заключается в повышении эффективности очистки за счет ускорения осаждения примесей в жидкости путем введения дополнительной обработки жидкости электростатическим полем перед ее прохождением по трубке, свитой в спиральный змеевик. При-

менение электростатического поля обеспечивает ориентационную поляризацию атомов и молекул, в результате чего наблюдается интенсификация процесса осаждения примесей (скорости осаждения), сокращение времени выделения хлопьев вместе с примесями обрабатываемой воды, что, в конечном итоге, повышает эффективность осветления воды.

Данный способ применим для обеззараживания как природных вод, так и сточной жидкости.

К достоинствам способа относятся:

- незначительная зависимость результатов его применения от мутности, pH среды, жесткости воды;
- он может быть сравнительно легко осуществлен;
- не ухудшает экологического состояния окружающей среды;
- не требует постоянного пополнения химических реагентов;
- возможен к использованию в сочетании с другими, не оказывающими отрицательного воздействия на окружающую среду способами очистки природных и сточных вод, для достижения высоких результатов очистки.

Электростатическое поле постоянное или модулированное по частоте или по амплитуде воздействует на микроорганизмы не только механически как на заряженные частицы, но и разрушает их, делая не жизнеспособными и биологически не активными [2, 3].

В качестве объекта экспериментальных исследований по интенсификации процесса коагуляции маломутных вод были выбраны модельные растворы, имитирующие качество маломутных цветных вод поверхностных источников, а также вода из р. Волга. Процесс выпадения осадка завершился: при коагуляции воды без добавок за 35,0 мин; при коагуляции воды обработанный в спиральном змеевике за 10 мин.; при коагуляции воды обработанный в спиральном змеевике в электростатическом поле за 5 мин. По результатам проведенных опытов, можно сделать вывод, что время при обработке воды с применением добавок утяжелителей и при обработке воды в электрическом поле приблизительно одинаковое. Вместе с тем, при применении безреагентных технологий не наносится ущерб окружающей среде и не увеличивается грязевая нагрузка на отстойники и фильтры. При воздействии на коагулированную воду электрического поля произошло ускорение процесса осаждения хлопьев в 7 раз. Лучшее качество осветления и обесцвечивания воды достигалось при пропускании раствора коагулянта через разработанное устройство.

Данный способ может быть применен, по нашему мнению, к водной и воздушной среде, зараженной болезнетворными микроорганизмами; он также может быть испытан в воздушных и водо-воздушных фильтрах.

#### **Список литературы**

1. Устройство для интенсификации процессов очистки жидкости от примесей осаждением. Пат. RU 700770 U1: МПК C02F 1/46/ Медведева О.Н., Калякин А.М. и др.; заявитель и патентообладатель СГТУ. № 2020110981; заявл. 16.03.2020; опубл. 11.11.2020, Бюл. № 32. 7 с.
2. Сиволобова Н.О. Обеззараживание воды в постоянном электрическом поле / Н.О. Сиволобова, А.Б. Голованчиков // Вестник ВолгГАСУ. Строительство и архитектура. 2007. Вып. 7 (26). С. 180–184.
3. Фриш С.Э. Курс общей физики. Т. 2. Электрические и электромагнитные явления / С.Э. Фриш, А.В. Тиморева. 9-е изд. Москва: ГИФМЛ. 1962. 616 с.

## **The primary producers of sea ecosystem under the influence of dredging**

O.A. Liashenko<sup>1,2</sup>, A.P. Pedchenko<sup>3</sup>, G.F. Liashenko<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *ITMO University, Kronverksky Pr. 49, bldg. A, Saint Petersburg, 197101, Russia*

<sup>2</sup> *St-Petersburg branch of FSBSI VNIRO (GOSNIORKH), Makarova emb. 26, Saint Petersburg, 199053, Russia*

<sup>3</sup> *Russian Research Institute of Fisheries and Oceanography (FSBSI VNIRO), Up. Krasnosel'skaya 17, Moscow, 107140, Russia*

The technogenic transformation of the water ecosystems under the dredging is one of the actual problems for the near-shore waters. The microscopic algae which are suspended in waterbodies are the main primary producers and the base of food webs in the seas. The increasing of suspended matter and different substances input from the bottom sediments by the result of dredging is affected for the phytoplankton in different ways. It leads to a decrease in the thickness of the photic layer, which negatively affects the photosynthetic activity of algae. Suspended particles extend a damaging effect on filamentary, cenobiar and colonial forms of algae. At the same time, organic matter and biogenic substance which are transferred from the bottom sediments can inspire algae growth [1].

The water area of the Eastern part of the Gulf of Finland near the St-Petersburg is influenced by the large-scale dredging which connected with the seaports construction and other dredging works.

The phytoplankton from two second bays of the Gulf of Finland was investigated under the influence of dredging: the Luga Bay (in 2005–2019 during the period of Ust-Luga commercial seaport construction) and the Neva Bay (at the first years of Multipurpose Sea Cargo Complex Bronka construction in 2011–2015). The investigation of phytoplankton development took part in the different seasons of the ice-free period in the water areas of dredging, damping, and near-situated areas. The Luga and Neva bays phytoplankton was formed previously by the cosmopolitan and eurybiontic species which are typical for the Eastern part of the Gulf of Finland [2]. The most quantitative development was marked for cyanoprokaryotes, cryptomonads, diatoms, and green algae.

The investigation in the south-west part of Neva Bay was carried out during the intensive dredging. At the first steps of port construction in 2011 the structure and quantitative development of phytoplankton on the seaport water area were typical for Neva Bay according to periods of seasonal succession. In 2013–2015 on the water areas of offshore civil works the evidence

of the negative influence of dredging as decreasing of total biomass, a number of filamentary forms of cyanoprokaryotes and increasing of the proportion of mixotrophic cryptomonads were marked. The benthic form of diatoms invaded to the phytoplankton from the bottom. The negative correlation between phytoplankton biomass and concentration of suspended matter ( $r = -0.57$ ,  $p = 0.01$ ) were detected.

Similar changes in phytoplankton were detected in some periods of investigation in Luga Bay. Apart from cryptomonads part biomass, the increasing of the proportion of other mixotrophic groups as euglenoids and golden algae was remarked.

At the same time by the results of the investigation, the fast recovery of the phytoplankton structure after the dredging was detected.

According of longstanding investigation the trend for changing of Luga Bay phytoplankton structure and its quantitative characteristics was not found. The certain differences between the quantitative development and composition of the dominant phytoplankton complex on the water areas of dredging, damping, and adjacent areas in the main part of investigation were not observed.

The quantitative indicators of phytoplankton development were varied from year to year in all seasons of 2005–2019 but they kept in frames of values which previously observed for the water area of the Luga Bay [3]. The influence of the trend for increasing average annual water temperatures on phytoplankton development was not traced.

The stable state of Luga Bay ecosystem primary producer is indicator of the preservation of its production resource.

### References

1. Lavrent'eva G.M., Susloparova O.N.. The results of the fishery monitoring conducted in the eastern part of Gulf of Finland in order to estimate the impact of hydraulic works on aquatic organisms // *Ehkologicheskie aspekty vozdejstviya gidrostroytel'stva na biotu akvatorii vostochnoj chasti Finskogo zaliva*. Sb. nauchn. trudov FGNU «GosNIORH». 2006. Vol. 1. Issue 333. P. 5–11.
2. Neva river estuary ecosystem: biodiversity and environmental issues. 2008. M.: *Tovarishchestvo nauchnykh izdanij KMK*. 477 p.
3. Tereshenkova T.V. Comparative characteristic of the summer phytoplankton of the Vyborg, Luga and Koporsk Bays, the Bjerkesund Strait and the Shallow water area of the eastern part of the Gulf of Finland // *Sb. nauch. trudov GosNIORKH*. 2006. Vol. 1. Issue. 331. P. 37–85.

## Combined toxic effect of potassium butyl xanthate and oil on duckweed (*Lemna minor*)

M.N. Saksonov<sup>1</sup>, N.N. Khorina<sup>2</sup>, A.D. Stom<sup>1</sup>,  
G.D. Ilyin<sup>2</sup>, A.V. Mataevskaya<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Irkutsk State University, Irkutsk, Lenin Str. 3, Russia

<sup>2</sup> Baikal Museum of the ISC, Listvyanka, Akademicheskaya Str. 1A, Russia

Potassium butyl xanthate (PBX) is widely used as a reagent in ore dressing by flotation. For this reason, it is present in the wastewater of these industries [Goryachev, 2014; Ignatkina, 2014]. Oil products are found even more often in a wide variety of waste waters. They, like flotation reagents, have a depressing effect on aquatic organisms. At present, biotesting methods are widely used to assess the quality of water bodies and predict the consequences of pollution. They allow an integral assessment of the quality of the environment. This is their important advantage over analytical chemistry methods. The latter are intended, as a rule, to determine individual compounds or certain groups of them [Zhmur, 2018]. The study of the combined action of oil and flotation reagent by biotesting methods in a multifactorial experiment makes it possible to reveal the nature of this interaction (additive, antagonistic or synergistic) [Zholdakova, 2012; Gelashvili, 2016]. The purpose of this work is to study the isolated and combined effect of potassium butyl xanthate and oil on an aquatic plant — duckweed (*Lemna minor*).

Concentrations of PBX and oil in experiments with isolated action on small duckweed were 10.0; 50.0; 100.0; 500.0; 1000.0 mg / l. The toxicity of the samples was assessed by the increase in the number of *L. minor* fronds in the samples [GOST 32426–2013]. The study was carried out in three independent experiments, three replicates each. Statistical data processing was performed using the Microsoft Office software package.

The toxic effect of PBX and oil in the concentration range of 10.0–1000.0 mg / l on the increase in the number of duckweed fronds was quantitatively determined (table 1).

**Table 1.** Dependence of the toxic effect (T%) of PBX and oil on the increase in the number of duckweed fronds on the concentration

Concentration, mg / l Compound	10	50	100	500	1000
PBX	35	75	100	100	100
oil	50	65	75	82	87

Using probit analysis, the concentrations of PBX and oil were found that inhibit the studied reaction parameters by 25 % (ICR<sub>25</sub>), 50 % (ICR<sub>50</sub>), 75 %

(ICR<sub>75</sub>). Concentrations of PBX solutions causing an inhibitory effect on the increase in the number of duckweed fronds by 25 %; 50 % and 75 % were 3.8mg / l; 21.9mg / l and 46.8mg / l, respectively. Concentration of oil emulsion causing similar effects — 9.4 mg / l; 53.6 mg / l and 500.0 mg / l, respectively (table 2).

**Table 2.** Concentrations (mg / l) of PBX and oil solutions causing an inhibitory effect on the increase in the number of duckweed fronds by 25 %, 50 % and 75 %

Compounds, mg / l	Percentage of inhibition		
	25 %	50 %	75 %
БКК	3,8	21,9	46,8
нефть	9,4	53,6	500,0

These concentrations served as three levels of variation of the PBX-oil factors in terms of a full factorial experiment. When designating the concentrations of the two substances included in the combination as  $x_1$  and  $x_2$ , the toxic effect on small duckweed under the combined effect of the mixture was determined according to the results of nine experiments as the dependence  $y = f(x_1, x_2)$  and expressed as a second-order polynomial.

When performing a full two-factor experiment with the combined action of oil and PBX, the regression equation was obtained:

$$y = 71,64 + 11,87x_1 + 18,62x_2 + 2,73x_1^2 - 2,82x_2^2 - 9,35x_1x_2$$

The analysis of the equation made it possible to conclude that the action of substances is unidirectional, interdependent ( $b_{12} \neq 0$ ), and the interaction is expressed quite strongly. Isolated introduction of oil with an increase in concentration from ICR<sub>50</sub> to ICR<sub>75</sub> causes an increase in the toxic effect by 15 %, and PBX — by 16 %, while with combined action — by 21 %. Thus, we can conclude that the nature of the combined action of PBX and oil is interdependent, antagonistic, less than additive.

*This work was supported by the RFBR grant 19-29-05213. The studies were carried out using the Center for Collective Use of the Baikal Museum of the Irkutsk Scientific Center («Collection», <http://ckp-rf.ru/ckp/495988/>).*

### References

1. Goryachev B.E., Naing Lin U., Nikolaev A.A. // Non-ferrous metals. 2014. No. 6. P. 16–22.
2. Ignatkina V.A., Bocharov V.A., Puntsukova B.T., Alekseychuk D.A. // Mining information and analytical bulletin (scientific and technical journal). 2014. No. 2. P. 49–62.
3. Zhmur N.S. Ecotoxicological control. Research Techniques and Laboratory Practice. Aquareos. 2018. 471 p.
4. Zholdakova Z.I. // Hygiene and sanitation. 2012. No. 2. P. 86–89.
5. Gelashvili D.B. et al. Principles and Methods of Environmental Toxicology. 2016. 702 p.

## **Water scarcity reduction in non-increasing water consumption countries: challenges and potentials**

Xuexiu Jia, Hon Huin Chin, Jiří Jaromír Klemeš, Petar Sabev Varbanov

*Sustainable Process Integration Laboratory — SPIL, NETME Centre, Faculty of Mechanical Engineering, Brno University of Technology — VUT Brno, Technická 2896/2, 616 69 Brno, Czech Republic*

Water scarcity has become one of the chronic environmental issues that threaten human lives in various areas in the world. Various frameworks and approaches have been developed to determine the water scarcity, and most of the results propose to reduce the scarcity by lowering water consumption and increase reuse. However, in addition to the water scarcity caused by over-exploitation of water resources, growing cases have indicated that the shortage of available water resources has become the major cause of water scarcity. This type of water scarcity increasingly occurs in countries with non-increasing (and even decreasing) water consumptions. These countries are often developed countries with economy operating in tertiary sectors or advanced secondary sectors, and the population in these countries tends to maintain or increase with a very small rate. In these cases, the potential of compressing the industrial and residential consumption has become limited, and the overall water consumption usually main at a stable level or even decrease. On the other hand, with the decrease of water consumption, water suppliers might increase the water price to maintain a reasonable benefit. The burden of water scarcity is the shifted to the user, who contributed to water-saving and water-use efficiency improvement. Mitigating the water scarcity faces new challenges and conflicts. This work provides an analytical review of the current issues and future potentials to mitigate the water scarcity in countries with non-increasing water consumptions, and provides suggestions for water management policies. Major remarks are that multi-user (industries, residences, wastewater treatment plants, etc.) water integration is still of great potential to maximise the water usability. Rain water harvesting and storage are promising to increase the water availability. Water infrastructures needed for regional water integration and rainwater utilisation should be further designed and developed.

### **Acknowledgement**

The EU supported project Sustainable Process Integration Laboratory — SPIL funded as project No. CZ.02.1.01/0.0/0.0/15\_003/0000456, by Czech Republic Operational Programme Research and Development, Education, Priority 1: Strengthening capacity for quality research has been gratefully acknowledged.

## **The use of a complex salt of osietilidene diphosphonic acid in the mechanism of phytoextraction of heavy metals in water bodies**

T.S. Avdeenkova, A.A. Saprodhina

*D. Mendeleev University of Chemical Technology of Russia, 125047, Russia, Moscow, Miusskaya square 9*

Studies have shown that the use of chelating compounds in directed phytoextraction significantly increases the uptake of heavy metals by plants [1]. In the course of this study, laboratory experiments were carried out to obtain results on the possibility of using *Eichhornia crassipes* with the chelating phosphorus-containing agent of disameted potassium salt of oskietilidene diphosphonic acid ( $K_2HEDP$ ) to purify various heavy metal compounds Cd, Hg, Cu, Ni, Cr and Co from water [2]. For the intensification of cleaning processes artificial roots from polymeric materials are used, which create a considerable surface area.

In particular, artificial roots contribute to the acceleration of biological decomposition through increased activity of micro-organisms settling on the surface of fibre [3]. The experimental installation is a simulation of a closed water body consisting of 7 water-filled containers with a capacity of 40 litres each. Mat platforms with higher aquatic plants planted in them are placed in the tanks. Air temperatures and water are 26°C and 18°C, respectively. Heavy metal salts at different concentrations were included in some containers: 60 mg/l ( $ZnSO_4$ ) and 60 mg/l ( $NiSO_4 \cdot 7H_2O$ ).

Nanocarbon fibers were also added to honor the containers. Above containers there is a lighting system consisting of light-emitting diode phytolamps, which emit a sufficient amount of light for 16 hours a day.

The main element of the bioplato is the higher aquatic plants of aquatic *Eichhornia crassipes*. Plants are not intricate in their care: they prefer sunlit areas or semi-shadows and high moisture levels. These plant species regenerate contaminated water bodies due to the good absorption capacity of the root system [4]. They are also uncomfortable in continental climates, grow relatively quickly (1,5–2 weeks) and have high aesthetics (they are also used for decorating water bodies) [5].

The experiment consists of experience with the dissolution of heavy metal salts in water and further observation of the hypoaccumulation capacity of plants depending on the presence or absence of an artificial root system, soaked in disubstituted potassium salt of osietilidene diphosphonic acid. The experiment was conducted over 18 days. The sampling was carried out in accordance with GOST 31861-2012 «Water. General sampling requirements». To determine the heavy metal content of all experiments, the samples were

analysed using an atomic emission spectrometer with inductively bound plasma iCAP6300 Duo.

The data obtained showed that the use of a double mass of carbon fiber to increase the absorption surface of the root zone in comparison with a single mass does not significantly affect the absorption of Zn ions.

However, for Ni ions, an increase in the mass of carbon fiber had an effect — increased the absorption capacity of the roots of *Eichhornia crásipes* by 5 %. Soaking artificial carbon fiber in a  $K_2HEDP$  solution showed the opposite result. Moreover, a decrease in the mass of carbon fiber and, accordingly, the amount of a  $K_2HEDP$  increase phytoextraction by 4–9 % for Zn ions and by 12–24 % for Ni ions.

Thus, it can be concluded that the most effective use of a double mass of carbon fiber without soaking in the disubstituted potassium salt of osietilidene diphosphonic acid.

*This study is funded by the Russian Foundation for Basic Research under research project № 18-29-25068 and MUCTR project № 3-2020-039.*

### **References**

1. Lou Z., Zhao Y., Chai X., Yuan T., Song Y., Niu D. Landfill refuse stabilization process characterized by nutrient change // *Environmental Engineering Science*. 2009. Vol. 26. Issue 11. P. 1655–1660.
2. Lombnis, Peder & Singh, Bal. Varietal tolerance to Zinc deficiency in wheat and barley grown in chelatorbuffered nutrient solution and its effect on uptake of Cu, Fe, and Mn // *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*. 2003.
3. Titov A.F., Talanova V.V., Kaznina N.M. Physiological foundations of plant resistance to heavy metals / Publishing house of the Karelian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. 2011.
4. Martyanchev A.V. Phytoextraction as a method of phytoremediation of agricultural soils // *Vestnik NGIEI*. 2013. № 4 (23).
5. Vaganova E.S., Davydova O.A. Physicochemical aspects of self-purification of small rivers from heavy metals (by the example of the Ulyanovsk region) // *Water: Chemistry and Ecology*. 2012. № 3. P. 21–26.

## Two-dimensional smart material with programmable ionic channels for water purification

A.A. Nikitina, K.G. Nikolaev, D.V. Andreeva, E.V. Skorb

*ITMO University, Kronverksky Pr. 49, bldg. A,  
Saint Petersburg, 197101, Russia*

Many materials with varied characteristics have been investigated for water purification and separation applications. Traditional membrane technology is a separation process that allows species to pass through the membrane depending on the pore size. This study offers a new design principle: controlling cations' transport with graphene oxide-polyethyleneimine (GO-PEI) membrane. The regulation mechanism relies on specific interactions between internal components of membrane and ions [1, 2].

The fundamental mechanism that opens the ionic channels for the transport of hydrated ions is replacing a fraction of protons in the interlayer PEI with  $K^+$  ions. The  $K^+/H^+$  exchange can be treated as a stochastic process of competition between protons and potassium ions for the available sites on GO-PEI. In the regular state GO-PEI membranes are closed for the transport of hydrated ions due to strong repulsion between the cations and the positively charged PEI. However, the chains of carbonyl groups at the GO and PEI interface act as selective ionic channels, allowing dehydrated  $K^+$  to permeate through.

It should be possible to design membranes with regulated selective  $K^+/Na^+$  pumping for the extraction of  $Li^+$  or separation of  $Cs^+$ . Such membranes will allow building relatively simple artificial structures that reproduce such properties of living matter as switchable ionic permeability and selectivity and will lead to further advances for water purification [3].

### References

1. Novoselov K.S. et al. // *Science*. 2016. Vol. 353. № 6298. 943911.
2. Fares H.M., Schlenoff J.B. // *J. Am. Chem. Soc.* 2017. Vol. 139. № 41. P. 14656–14667.
3. Andreeva D.V. et al. // *Nat. Nanotechnol.* Springer US. 2020. Vol. 16, № February. P. 174–180.

## **GroundWater balance simulation for open-pit mines in the semi-arid areas: A Case Study of the Gantour Deposit, Morocco**

Othmane Labied, Pierre Fenies

*EMINES, University Mohammed VI Polytechnique,  
43140 Ben Guerir, Morocco  
Université Paris II, 75005 Paris, France*

### **Abstract**

The lack of adequate links between the formulations of the water and mass balance models has always been considered as a major shortcoming in management plans aimed at assessing the quantity and quality of water in mining projects. The aim of this paper is to assess the water balance of a mining industry — OCP considered as the world leader in the phosphate industry — using a model based on the water balance equation as well as meteorological and hydrogeological data. This model has been written for government and industry stakeholders and consultants in the mining sector. It addresses various aspects of the "water resources" component of the mine planning process, seeking to ensure that mines are designed and operated with environmental concerns in mind. The model also allows to evaluate the water footprint of all the activities conducted by the industry as an indicator of sustainability. GANTOUR region was selected as a field to carry out the model in hope that the results can provide some insights into feasibility of a large-scale planning for ecological restoration in the entire zone, and can effectively protect aquatic habitat and water quality under this semiarid climatic condition. The input database used, is in the form: Mining and dewatering processes: It is necessary to know the production characteristics of the ore processing plant. This data may include: Processing capacity; Minimal fresh water requirement; Treated water and / or recycled water requirements; Residue production rate and residue content in sludge; Water entering the ore processing plant and water leaving the plant with the prepared ore; Pumping and storage capacities; Dust removal, fire extinguisher water requirements and potable water; The dewatering of mining sites (surface or underground). Climate data: The climatic data to be entered into the model must be established from meteorological data applicable to the region of the mining project. The main climatic variables are temperature, precipitation (rain and snowfall), snow on the ground and evapotranspiration. We can also think of other climatic variables, notably humidity, radiation, wind speed and direction, and the characteristics of snow (depth, density and water equivalent). Climate data are usually expressed as time series. Hydrological and hydrogeological

data: They are used to determine the maximum flow coefficients on the lands of the mine development area and the surrounding area, as well as the potential inflows to surface mines and underground mines. Hydrological and hydrogeological data will include: Water levels, areas, bathymetry and volumes of water tables likely to be affected by the mining project; The flow regime of local and regional watercourses likely to be affected by the mining project; Observed groundwater exfiltration from valley walls and in open-pit mines; The groundwater flow observed to underground mine sites. The model will have as output data ranges of flows, volumes or water levels. Depending on the parameter presented and the range of results of the model, the summary tables of results can be divided into representative seasons. In addition, the results for water quantity can be presented in the form of graphs illustrating the summary tables. After running the model, rainfall infiltration and runoff, estimated at 34 Mm<sup>3</sup> per year, constitute the main component of the natural recharge of the western and central aquifers of Bahira; the outlets consist of pumps distributed at a rate of 9 Mm<sup>3</sup> for drinking water and sanitation, 0.3 Mm<sup>3</sup> for industrial needs, and 28 Mm<sup>3</sup> for irrigation. The destocking, of the order of — 4 Mm<sup>3</sup> in medium configuration, is accentuated in a deficit hydro-climatological year with the combined effects of a reduction in the infiltration of rainwater and an increase in agricultural withdrawals. Through the water balance equation, the water footprint of the area is negative (–3.3 Mm<sup>3</sup>), therefore we can conclude that the area is already considered in shortage of water [1–12].

### References

1. AbDollahi K., Bazargan A., McKay G. 2018. Water Balance Models in Environmental Modeling, in: Hussain, C.M. (Ed.), Handbook of Environmental Materials Management. Springer International Publishing, Cham. P. 1–16.
2. Dallacort R., Freitas P.S.L. de, Faria R.T. de, Gonçalves A.C.A., Jácome A.G., Rezende R. 2010. Soil water balance simulated by CROPGRO-Drybean model for edaphoclimatic conditions in Maringá. *Rev. bras. eng. agric. ambient.* Vol. 14. P. 351–357.
3. Farmer D., Sivapalan M., Jothityangkoon C. 2003. Climate, soil, and vegetation controls upon the variability of water balance in temperate and semiarid landscapes: Downward approach to water balance analysis: Water Balance Variability Using Downward Approach. *Water Resour. Res.* 39.
4. Feng X., Porporato A., Rodriguez-Iturbe I. 2015. Stochastic soil water balance under seasonal climates. *Proc. R. Soc. A.* 471. 20140623.
5. Honti M., Somlyódy L. 2009. Stochastic water balance simulation for Lake Balaton (Hungary) under climatic pressure. *Water Science and Technology.* Vol. 59. P. 453–459.

6. Idrissou M., Ngom D.F., Malou R., Vayssade B., Courbis A.-L. 2015. Water balance simulation for resource evaluation at the catchment scale: application to the Nema (Sudano-Sahelian zone, Senegal). *Hydrological Sciences Journal*. Vol. 60. P. 1620–1630.
7. Massakbayeva A., Abuduwaili J., Bissenbayeva S., Issina B., Smanov Z. 2020. Water balance of the Small Aral Sea. *Environ Earth Sci*. Vol. 79. P. 75.
8. Woessner W., Andersson P. 2002. Simulation of Flow and Advective Transport. *Applied Ground Water Modeling*, 2nd Edition.
9. Y. Liu, R.M. Fernando, L.S. Pereira. 2002. Water Balance Simulation with ISAREG Considering Water Table Interactions, in: *World Congress of Computers in Agriculture and Natural Resources, Proceedings of the 2002 Conference*. Presented at the World Congress of Computers in Agriculture and Natural Resources, Proceedings of the 2002 Conference, American Society of Agricultural and Biological Engineers.
10. Željko I., Kadić A. 2015. Groundwater balance estimation in karst by using simple conceptual rainfall–runoff model. *Environ Earth Sci*. Vol. 74.
11. Praveena S.M., Abdullah M.H., Bidin K., Aris A.Z. 2012. Modeling of Water Balance Components in a Small Island via a Numerical Model Application. *Journal of Coastal Research*. Vol. 279. P. 202–209.
12. Woessner W., Andersson P. 2002. Simulation of Flow and Advective Transport. *Applied Ground Water Modeling*, 2nd Edition.

## Study of the influence of groundwater impurities on the iron oxidation rate

K.I. Machekhina, E.N. Gryaznova, N.V. Pilipets, L.R. Merinova

*Tomsk Polytechnic University, Lenin Ave. 30, Tomsk, 634050, Russia*

The present work is devoted to the study of the process of iron oxidation in groundwater. The main impurity of most groundwater is iron compounds due to geological features. Therefore, the main stage in water treatment technologies is an iron removal which includes several stages: oxidation, precipitation and filtration. The limiting stage is the oxidation or precipitation of iron. It depends on the composition of the groundwater. The relevance of this work lies in the determination of the time of iron oxidation in water of various chemical composition, which is important for technologists involved in the development of water treatment systems. This parameter depends on the iron concentration, the iron presence form in water and other impurities in groundwater [1].

Therefore, the purpose of this work is to study the kinetics of the iron oxidation process depending on the composition of groundwater.

Waters located at a depth from 25 to 200 m are characterized by the invariability of the chemical composition, regardless of the season, due to the maintenance of carbon dioxide equilibrium and the lack of interaction with atmospheric oxygen. When water comes to the surface, the equilibrium is disturbed and chemical reactions begin to actively proceed, which leads to a change in the water chemical composition. This is reflected in the change of pH, oxidation-reduction potential (ORP), the concentration of impurities and organoleptic characteristics. Therefore, the study of the effect of the impurities composition on the rate of iron oxidation was done on model solutions.

It was shown that the pH of the initial solution, the content of hardness salts, the content of organic substances and ammonium ions affect on the iron oxidation. The effective values of the activation energy were determined for each influencing factor. A conclusion is made about the area of the process. The obtained experimental data can be used when choosing a method for removing iron to increase the efficiency of existing installations.

### References

1. Shiyani L. N., Tropina E.A., Machekhina K.I., Gryaznova E.N., An V.V. // SpringerPlus. 2014. Vol. 3. P. 260.

## **Investigation of the influence of heavy metal distribution in aquatic plants of overgrown reservoirs**

T.S. Semenova, N.V. Dinkelaker, P.F. Agakhanyants,  
O.I. Sergienko, A.O. Makarchev

*ITMO University, Kronverksky Pr. 49, bldg. A,  
Saint Petersburg, 197101, Russia*

The relevance of the research topic is determined by the increasing role of natural reservoirs and their vegetation in the processes of self-purification of ecosystems against the background of increasing pollution of natural environments. Due to the constant anthropogenic impact, a large number of toxicants enter the environment, one of them is heavy metals. They cannot be removed either by chemical or biological transformation due to their resistance to the environment and lack of the possibility of decomposition. However, there are ways to remove them from the soil, soil, and water. Research shows that plants have the ability to store heavy metals in themselves. This allows us to develop methods using plants to clean the soil from heavy metals. At present, the accumulative abilities of vegetation in the North-West of Russia with respect to heavy metals are poorly studied, including for coastal-aquatic vegetation, which is actively used in more southern regions [1, 2].

Heavy metals are one of the most dangerous environmental pollutants. Arsenic, cadmium, mercury, lead, selenium, and zinc (As, Cd, Hg, Pb, Se, and Zn) are included in the list of particularly toxic metals. It is proved that after certain chemical reactions, these elements are distributed in the atmosphere, hydrosphere, and lithosphere of the Earth [3].

It is known that a large amount of heavy metals is concentrated in the soil. Heavy metals are natural components of the earth's crust. They cannot be degraded or destroyed. To a small extent, they enter our body through food, drinking water and air. As trace elements, some heavy metals (for example, copper, selenium, zinc) are necessary to maintain the metabolism of the human body. However, at higher concentrations, they can lead to poisoning. Heavy metal poisoning can be caused, for example, by contamination of drinking water (for example, lead pipes), high concentrations in the atmospheric air near sources of emissions, or through the food chain.

Research accumulative ability of coastal aquatic plants held on 2 shallow waters of the Leningrad region, with similar geographical, hydrological and microclimatic features. At the same time, one of the reservoirs can be characterized as uncontaminated with heavy metals — Bolshoe Rakovoe Lake in the reserve "Rakovye Lakes", the other — an artificial shallow reservoir formed on the site of an extensive peat processing zone — has a

constant source of industrial pollution, including heavy metals, in the form of a landfill for solid municipal waste "Severnaya Samarka", directly adjacent to the water body. Both studied reservoirs have almost complete overgrowth of the surface with communities of aquatic and coastal plants, and are in the stage of active overgrowth over the entire area.

The main results of the study are data on the content of heavy metals in coastal and aquatic plants and the factors affecting it, as well as information on the accumulative activity of the studied plant species in the conditions of undisturbed shallow ecosystem of the lake, and in the conditions of pronounced pollution of bottom sediments of heavy metals.

Different ecological groups of plants differ somewhat in their ability to extract certain heavy metals from the soil. Studies have shown that heavy metals are better accumulated by submerged plants and vegetation of the edge of the floats. However, it is possible to distinguish individual species that within their ecological group showed greater importance in terms of accumulation (marsh whitefly and common reed).

The results obtained indicate the ecochemical aspect of the importance of preserving the plant species diversity of ecosystems under the influence of industrial facilities, in particular, landfills. Also, the scientifically based use of the difference between the bioaccumulative capabilities of plants and the properties of certain plant species can increase the effectiveness of protective zones around landfills and other industrial enterprises, as well as allow the formation of a database of plants that can accumulate relatively large concentrations of heavy metals, which will accelerate the development of technologies for cleaning polluted environments using phytoremediation in the North-Western region of Russia.

### References

1. Titov A.F., Kaznina N.M., Talanova V.V. Heavy metals and plants. Petrozavodsk: Karelian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. 2014. 194 p.
2. Ali H., Khan E. and Anwar Sajad M. Phytoremediation of heavy metals — concepts and applications. *Chemosphere*. 2013. № 91. P. 869–881.
3. Berti W.R., Cunningham S.D. Phytostabilization of metals. In Raskin, I. and Ensley, B.D. (eds.). *Phytoremediation of toxic metals: Using plants to clean up the environment*. New York: Wiley. 2000. P. 71–88.

## **Экогидрологический механизм распределения фитопланктона в водоеме**

А.А. Цхай<sup>1,2</sup>, В.Ю. Агейков<sup>1</sup>, А.Н. Семчуков<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Институт водных и экологических проблем СО РАН, 656038, Россия, г. Барнаул, ул. Молодежная, 1*

<sup>2</sup> *Алтайский государственный технический университет имени И.И. Ползунова, 656038, Россия, г. Барнаул, пр. Ленина, 46*

Объектом исследования является экосистема крупнейшего в Западной Сибири — Новосибирского водохранилища. Цель работы — изучение механизмов формирования качества воды, протекающего в различных частях водохранилища по-разному. Новизна: моделирование экологических процессов в его различных акваториях и в водохранилище, в целом, на основе воспроизведения биогеохимических циклов лимитирующих элементов.

Обычно считается, что относительно мелкие и малопроточные участки водоемов более подвержены эвтрофикации. В таких местах вода лучше прогревается и биомасса фитопланктона значительно выше. В центральной части водохранилища глубина у левого берега значительно меньше, чем у правого, через который проходит основная часть руслового стока из Оби в сторону плотины. Однако, по данным многолетних наблюдений летом биомасса фитопланктона у правого берега в несколько раз выше, чем у левого берега.

Другой эффект, нарушающий обычные представления. Обычно в период открытой воды биомасса фитопланктона в поверхностном слое воды существенно выше, чем на глубине, куда солнечная радиация проникает уже хуже. Однако в изученный период, в августе 1981 г., наблюдалось обратное соотношение: биомасса фитопланктона на глубине существенно превышала этот показатель в поверхностном слое.

Чтобы разобраться в причинах этого факта была выполнена сравнительная оценка механизмов внутриводоемных процессов путем применения методов имитационного 3d-моделирования и воспроизведения циклов трансформации биогенных элементов.

По результатам проведенного моделирования и анализа его результатов получены следующие выводы.

Особенности водообмена под влиянием устойчивых ветровых течений в августе-сентябре становятся причиной превышения биомассы фитопланктона в глубоководной акватории, у правого берега, по сравнению с относительно мелкой акваторией, у левого берега, в Новосибирском водохранилище.

«Запирание» термоклина и последующие колебания вертикального водообмена приводят к превышению биомассы фитопланктона в водной толще по сравнению с поверхностным слоем в приплотинной акватории.

## **Section 6**

Sustainable Use of Natural Resources

## **Секция 6**

Рациональное природопользование

## **Биохимические особенности ели сибирской в насаждениях южно-таежной зоны Удмуртской Республики**

И.Л. Бухарина, А.С. Пашкова

*ФГБОУ ВО «Удмуртский государственный университет», 426034, Удмуртская Республика, г. Ижевск, ул. Университетская, 1*

В последние десятилетия в результате массового усыхания еловых насаждений состояние темнохвойных лесов в Европейской части Российской Федерации стало актуальным объектом исследований. Однако данная проблема актуальна не только для РФ, но Европейского континента в целом, где так же стоит острая проблема гибели темнохвойных лесов [1–2].

Следует отметить, что в очагах массового усыхания еловых насаждений встречаются участки насаждений и отдельные особи, имеющие хорошее жизненное состояние. Такие особи отмечены как в естественных лесных системах, так и в насаждениях урбанозкосистем.

В связи с этим, целью исследования явилось изучение состояния еловых насаждений региона, а также оценке их устойчивости и адаптивного потенциала по отношению к неблагоприятным факторам среды.

Исследования проводили на территории Удмуртской Республики (далее — УР, площадь — 42,06 тыс.км<sup>2</sup>). Удмуртия расположена в Европейской части РФ, в бассейнах рек Камы и Вятки, к западу от Уральских гор, между параллелями 56°00' и 58°30' северной широты, меридианами 51°15' и 54°30' восточной долготы. Территория УР вытянута с севера на юг примерно на 320 км, с запада на восток — на 200 км. Значительная вытянутость территории с севера на юг и холмисто-увалистый рельеф Республики обуславливает значительные отличия по температуре, влажности, ветрового режима, количеству осадков между северной и южной ее частью. В связи с этим территория УР расположена в пределах двух ландшафтных зон: таежной (бореальной / южно-таежная зона) и подтаежной (бореальной-суббореальной / зона хвойно-широколиственных лесов). Исследования проводились на территориях Игринского, Якшур-Бодьинского и Кезского лесничеств, расположенных в южно-таежной зоне Удмуртской Республики.

Игринское лесничество расположено в центральной части Удмуртской Республики на территории Игринского района. Протяженность территории лесничества с севера на юг 54 км, и с запада на восток около 72 км. Якшур-Бодьинское лесничество находится в центральной части Удмуртской Республики на территории Якшур-Бодьинского района. Протяженность территории лесничества с севера на юг около 45 км, а

запада на восток — 65 км. Кезское лесничество расположено в северо-восточной части Удмуртской Республики на территории Кезского района. Протяженность территории лесничества с севера на юг около 80 км, а с запада на восток 50 км. Для исследуемых районов характерен умеренно континентальный климат. Средняя температура января  $-13,5$  °С, июля  $+18,7$  °С. Осадков выпадает 532 мм в год. Среднегодовая скорость ветра — 3,7 м/с. Среднегодовая влажность воздуха — 76 %. Районы характеризуются среднеподзолистыми почвами и высокой лесистостью. Среди деревьев преобладают хвойные породы — ель, сосна, пихта; встречаются также участки лиственных лесов [3].

Исследования проводились в выделах с поврежденным древостоем с наличием процессов усыхания ели. Пробные площади закладывались в ельниках-кисличниках (Екс). Проведено таксационное описание пробных площадей, дана характеристика состояния лесной подстилки (морфологическая структура, влажность, компонентный состав, целлюлозо-разлагающая активность) [4–5].

Для определения функционального состояния насаждений ели сибирской и отражения механизма адаптивных реакций был проведен сравнительный анализ биохимических показателей особой хорошего и удовлетворительного жизненного состояния по показателям содержания хлорофиллов *a*, *b* и каротиноидов, аскорбиновой кислоты, малонового диальдегида и танинов в побегах. Выявлены значимые различия этих показателей у особой разного жизненного состояния, что позволяет объяснить адаптивный потенциал вида.

### **Список литературы**

1. Бухарина И.Л., Пашкова А.С., Ведерников К.Е., Ковальчук А.Г., Пашков Е.В. Биоэкологические особенности хвойных растений в условиях городской среды. Ижевск: Изд-во «Удмуртский университет», 2015. 152 с.
2. Бухарина И.Л., Ведерников К.Е., Пашкова А.С. // Лесоведение. 2016. № 2. С. 96–106.
3. Состояние лесной подстилки в еловых насаждениях Республики Удмуртия / И. Л. Бухарина, О. А. Светлакова, А. Конопкова [и др.] // АгроЭкоИнфо. 2019. № 3(37). С. 35.
4. Vedernikov K.E. // Chemistry of plant raw materials. 2018. № 4. P. 177–183.
5. Ведерников К.Е., Загребин Е.А. // Аграрная наука — сельскохозяйственному производству: материалы Международной научно-практической конференции. 2019. Т. 1. С. 115–119.

## **Hazard of ore processing waste as an ecological disaster threat at mining enterprises in the Amur River basin of biosphere importance**

L.T. Krupskaya<sup>1,2</sup>, L.P. Maiorova<sup>1</sup>, M.Yu. Filatova<sup>1,2</sup>,  
A.A. Cherentsova<sup>1</sup>, K.A. Kolobanov<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>*Far East Scientific Research Institute of Forestry, 71 Volochaevskaya Str.,  
Khabarovsk, 680030, Russian Federation*

<sup>2</sup>*Pacific National University, 136 Tichookeanskaya Str., Khabarovsk,  
680035, Russian Federation*

The report presents the results of multi-year research conducted within the impact of closed mining enterprises located in the Amur River basin: Solnechny GOK, Khrustalnensky GOK, Khingansky GOK in the Far Eastern Federal District (FEFD). The article discusses current problems of formation, processing and accumulation of giant volumes of mining waste on the Earth's surface in the Far Eastern Federal District and, as a result, intensive pollution of the ecosphere. Thus, the study was aimed at assessing a degree of tin ore processing waste hazard as an object of ecological catastrophe threat at closed mining enterprises in the Amur River basin having biosphere importance. The research was conducted using generally accepted modern physicochemical, chemical, geoecological, forest survey, biological and mathematical-statistical methods. The best experience of developed countries as well as domestic innovations of this problem solving were analyzed. The hazard assessment of wastes as a threat of ecological disasters that have already occurred in the mining enterprises of the Far Eastern Federal District is given. It has been experimentally established that the hazard class of the studied wastes is 2 (highly hazardous). It was found out that tailing dumps containing hazardous wastes are not included into the register of hazardous wastes. Their dams, the base of which is made of tailing material, were destroyed. Mineralogical composition of the waste is characterized by high content of arsenopyrite, pyrite, pyrrhotite and other minerals. In their chemical composition there were found extremely high concentrations of sulphide and heavy metal (HM) and arsenic compounds migrating along the chain: waste, snow, soil, water, vegetation, human. Waste is an object of high risk, as evidenced by the highest levels of pollutants (HM and arsenic compounds) in the air basin, soil, water bodies, vegetation, exceeding the background (up to 10 times) and MPC (5–43), especially near the tailing dumps. The situation in the study area is aggravated by the monsoon nature of the climate, which contributes to the development of erosive processes on the tailing dump surface with formation of ravines more than 1 m deep and the removal of pollutants in suspended state up to 80 % in the Amur River, having a biosphere value. Innovative proposals have

been developed to reduce the real threat of environmental disasters at the mining enterprises of the Far Eastern Federal District, the novelty of which has been confirmed by Russian Patents 2015, 2017, 2019 [1, 2].

*This work was supported by the RFBR [grant numbers 20-35-90021]; the State assignment of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation [grant number 075-03-2020-121/4]; and the Russian scientific fund [grant numbers 15-17-10016].*

### **References**

1. Krupskaya L.T., Mayorova L.P., Orlov A.M., Zvereva V.P., Izotov D.V., Morin V.A., Leonenko A.V., Golubev D.A. A method for reclamation of lands disturbed by toxic waste stored in a tailing dump in a monsoon climate. Invention patent RU 2486733 C1, 10.07.2013. Application No. 2011145846/13 dated 10.11.2011.
2. Krupskaya L.T., Rastanina N.K., Golubev D.A., Filatova M.Yu. Composition for dust suppression for reclamation of the surface of the tailing dump. Patent for invention ru 2672453 C1, 14.11.2018. Application No. 2017142896 dated 07.12.2017.

## **Assessment of the carbon budget in managed forests of the Far Eastern Federal District, evidence from the Khabarovsk Krai**

D.A. Golubev<sup>1,2</sup>, D.V. Izotov<sup>1</sup>, N.K. Rastanina<sup>2</sup>,  
K.A. Kolobanov<sup>1,2</sup>, M.Yu. Filatova<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> *Far East Forestry Research Institute, 71 Volochaevskaya str.,  
Khabarovsk, 680030, Russia*

<sup>2</sup> *Pacific National University, 136 Tikhookeanskaya str.,  
Khabarovsk, 680035, Russia*

The article summarizes the results of the multi-year research on reducing greenhouse gas emissions, carbon storage increasing and greenhouse gases limiting in the managed forests of the Far Eastern Federal District (FEFD) in accordance with the Paris Agreement [1]. The forests of the Far Eastern Federal District (FEFD) cover 43 percent of the total forest lands of the Russian Federation, and their conservation and assessment is one of the important tasks for compliance with the Paris Agreement. Logging and fires in the studied area lead to significant emissions of greenhouse gases into the atmosphere. Therefore, the aim of the study is to assess the carbon budget in the managed forests of the study area to develop the recommendations for reducing CO<sub>2</sub> emissions into the air basin. The study of carbon losses in the managed forests of the FEFD (on the example of the Khabarovsk Krai) was carried out using the Regional Forest Carbon Budget Assessment (ROBUL) Program [2]. It was found that the area of burnt forest areas in the Khabarovsk Krai for 2018 was 3 million hectares and the area of logging is 313 thousand hectares, which leads to the losses of about 20 million tons of C per year<sup>-1</sup>. It was found that as the age of stands increases, significant accumulation of greenhouse gases occurs not only in biomass, but also in litter and soil. Destruction of tree and shrub vegetation due to clear-cut harvesting and forest fires, as well as the mineral resources development, leads to environmental and socio-economic impacts. As a result of the conducted research, the losses of CO<sub>2</sub> have been assessed and the measures to reduce greenhouse gas emissions and carbon storage increase in the managed forests of the FEFD (on the example of the Khabarovsk Krai) have been scientifically established. The need for rehabilitative measures to increase carbon stock through conservation and multiplication of forest land (including reclamation) is evident.

*This work was supported by the RFBR [grant numbers 20-35-90021]; the State assignment of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation [grant number 075-03-2020-121/4]; and the Russian scientific fund [grant numbers 15-17-10016].*

**References**

1. Resolution of the Government of the Russian Federation No. 1228 dated 21.09.2019 On Adoption of the Paris Agreement. Electronic access: <http://static.government.ru/media/files/10US0FqDc05omQ1VgnC8rfL6PbY69AvA.pdf>.
2. Zamolodchikov D.G., Ivanov A.V., Mudrak V.P. Carbon Pools and Flows on Primorsky Krai Forest Fund Lands using ROBUL assessment. *Agricultural Bulletin of Primorsky Krai*. 2018. Vol. 2 (10). P. 46–51.

## **Assessment of the *Opisthorchis felineus* prevalence of cyprinidae family fish sold in grocery stores in Khanty-Mansiysk**

A.S. Maiurova, M.A. Kustikova, E.A. Bykovskaia

*ITMO University, Kronverksky Pr. 49, bldg. A,  
Saint Petersburg, 197101, Russia*

According to the Federal Service for Supervision of Consumer Rights Protection and Human Welfare, opisthorchiasis is a dangerous social threat to Russia today. The Russian Federation territory contains two-thirds of the world area of the causative agent of opisthorchiasis [1]. The largest natural focus of opisthorchiasis is the Ob-Irtysh region, it includes the Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug-Yugra, which became the object of this study.

According to the Rospotrebnadzor Administration for the Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug — Yugra, parasitic diseases remain one of the leading pathologies in the region, despite the noted downward trend in the prevalence over the past few years [2].

According to surveys conducted by the study [3], about one fifth of people with acute opisthorchiasis became infected after eating fish that was bought in stores and supermarkets.

The purpose of this work was to assess the extent of invasion of cyprinid family fish, purchased in some chains of grocery stores in Khanty-Mansiysk.

The study was conducted during the first half of 2019. During this time, a survey of 243 fish specimens, among which were ides, daces and roach, was carried out.

The abundance index, extensiveness and intensity of invasion were calculated to analyze the materials obtained in the course of this study [4].

All fish were bought as roach, but during the work it was determined that under the guise of roach, shops also sell ides and daces, the differences in which are difficult to determine, and at fishery enterprises on an industrial scale, all these species are sold as roach [5].

During the study, it was found that no roach has opisthorchid metacercariae, while the extent of invasion of ides and daces is 100 % for all ages of the studied fish.

Based on the obtained results, it can be concluded that of all the studied cyprinid family fish, roach is the least susceptible to invasion by opisthorchid metacercariae, which is possibly related to the difference in the structure of muscle tissues and scales. Roach is mistakenly attributed to high rates of invasiveness, confusing it with similar fish species — dace and ide.

**References**

1. Letter of Rospotrebnadzor of September 28, 2012 No. 01 / 11095-12-23 "On the incidence of opisthorchiasis in the Russian Federation" [Electronic resource]. URL: <http://89.rospotrebnadzor.ru/documents/ros/letters/90065/> (date of access: 12.11.2020).
2. On the state of sanitary and epidemiological well-being of the population in the Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug-Yugra in 2017: State report of the Rospotrebnadzor Department for the Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug-Yugra.
3. Kozlova I.I., Ostapenko N.A., Sisin E.I. et. al. Features of the epidemiology of opisthorchiasis in the Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug — Yugra at the present stage // Materials of the interregional scientific-practical conference "Health of the Yugra people is our priority". Khanty-Mansiysk. 2017. P. 122–127.
4. Anikanova V.S., Bugmyrin S.V., Ieshko E.P. Methods for collecting and studying helminths of small mammals: study guide of the Karelian Scientific Center. RAS, Institute of Biology. Petrazovodsk. 2007. 145 p.
5. Fedorova O.S., Kovshirina Yu.V., Kovshirina A.E., Fedotova M.M., Deev I.A., Petrovsky F.I., Filimonov A.V., Dmitrieva A.I., Kudyakov L.A., Saltykova I.V., Mikhalev E.V., Odermatt P., Ogorodova L.M. Analysis of the incidence of *Opisthorchis felinus* invasion and malignant neoplasms of the hepatobiliary system in the Russian Federation // Bulletin of Siberian Medicine. 2016. Vol. 15 (5). P. 147–158.

## Soil moisture index on the basis of reference evapotranspiration Penman Monteith method using remote sensing methods

D. Muñoz Osorio<sup>1</sup>, C.G. Marín González<sup>2</sup>, M.A. Kustikova<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Department of energy and environmental technology, ITMO*

<sup>2</sup>*Intelligent Class, Chillán Chile*

In the Dominican Republic, during the last 30 years, drought episodes have been prolonged in the southern, southwest, and northwest regions of the country [2], threatening the productive capacity of farmers who must also plan and monitor their work with great uncertainty due to the scarcity of agrometeorological information. Given this challenge, we have developed a dataset and a method useful for agricultural management and planning, especially to determine the condition of agricultural drought. The dataset is made of remote sensing information, and the method is based on the concept of the soil moisture index, which corresponds to the relationship between precipitation and reference evapotranspiration.

The tool used in this work was Google Earth Engine. With it, we have calculated spatial time-series of reference evapotranspiration (Penman Monteith method [1]), precipitation, specific air humidity, wind speed, net radiation, and daily maximum and minimum temperature. This dataset makes it possible to fill voids on hydro-climatic information from the last 30 years [2]. Also, the effect of altimetry, with a spatial resolution of 12.5 m, is included.

An application of the dataset in the Monte Cristi province proved that the soil moisture index is an appropriate indicator to characterize drought. Its average value from 2010 to 2019 was between 0.27 and 0.41, which given the thresholds by [3] correspond to moderate drought, in the southern zone, and severe drought, in the rest of the area. Also, characteristic hydro-climatological values were estimated, and extreme evapotranspiration zones were identified.

The data set and the humidity index calculation method allow efficient planning of fieldwork, irrigation management, and even calculating the water layer to apply as the crop adapts to the conditions of irrigation frequency. Moreover, the time series of meteorological data has the potential to be used in water demand studies, irrigation plans and modelling of crop yields.

### References

1. Allan R., Pereira L. Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56 / R. Allan, L. Pereira, 1998.
2. Aquino M. Sequías de 1997, 2015 y la actual, las más extremas en el país // [www.diariolibre.com](http://www.diariolibre.com) [Electronic resource]. URL:

<https://www.diariolibre.com/actualidad/ciudad/sequias-de-1997-2015-y-la-actual-las-mas-extremas-en-el-pais-JJ12282469> (date of access: 11.12.2020).

3. Vigil Black W. et al. Consultoría de corto plazo para la definición de detonantes, plan de contingencia y protocolos operativos estándar (SOP) ante sequia para la gestión de la alerta temprana y el fortalecimiento de la gestión del riesgo en la República Dominicana // 2019.

## **Current state and potential of the development of specially protected natural areas of the Omsk Region in the light of the concept of sustainable development**

V. Kosterova, O. Bazhenova

*Omsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin,  
1 Fizkulturnaya str., Omsk, 644008*

Within the concept of sustainable development, there is a concept of “natural capital”, which considers the country’s natural resources not only in terms of their availability and volume, but also in terms of effective management, rational use and the possibility of attracting investment for the growth of natural capital.

Specially protected natural areas (protected areas or PA) are an active part of natural capital, which means that there is a real possibility of influencing its development. The World Congress on Protected Areas (1992) called on governments to ensure that “... through international cooperation by 2000, protected areas cover at least 10 % of each of the biomes” [2]. This recommendation became the motto of the environmental movement and an incentive for countries to expand the PA system. The establishment and development of a protected areas network is a reliable indicator of sustainable development.

Omsk region is an important logistics, industrial and agricultural region of the Siberian federal district of the Russian Federation. Omsk region is located in the south of the West Siberian Plain in the middle course of the transboundary Irtysh River, covers an area of 141.1 thousand km<sup>2</sup>, which is 0.82 % of the area of Russia.

According to data for December 2020, 26 protected areas operate in the Omsk region, of which 20 are of regional and 6 are of local importance [1]. The total area of protected areas is 5640.17 km<sup>2</sup>, which is only 4 % of the total area of the region. These protected areas belong to the following categories: state natural reserves — 16, natural park — 1, natural monuments — 5, protected natural object — 1, natural recreational complexes — 2, other categories — 1. There are no federal protected areas. Most of the protected areas (22) are located in the forest-steppe zone of the Omsk region.

Compared to 2015, the number of protected areas of the Omsk region decreased by 9 (mainly due to a reduction in nature monuments), and their area decreased by 2.04 % of the area of the region [1]. The decrease in the number and area of protected areas indicates unsustainable environmental management in the region.

The sound management of the PA network will demonstrate the effective use of the natural capital of the Omsk region and, as a result, the successful functioning of the concept of sustainable development in the region. Given the identified shortcomings in the PA network of the Omsk region, it is necessary to:

- expand the PA area to 10 percent of the region;
- increase the number of PA in the taiga and steppe zones of the region.

### **References**

1. Portal of the Government of the Omsk Region [Electronic resource]  
URL: <http://mpr.omskportal.ru/oiv/mpr/otrasl/ecodep/ekspertiza/ohrana> (date of treatment 12/15/2020).
2. Lapa O.S. Specially protected natural areas of the Omsk region as ecological indicators of sustainable development / O.S. Lapa, O.P. Bazhenova // Omsk Scientific Bulletin. 2013. № 2. P. 123–127.

## **Reducing the impact of clearcuts on the environment as an element of sustainable forest management**

A. Rogolev, S. Banar

*ITMO University, Kronverksky Pr. 49, bldg. A,  
Saint Petersburg, 197101, Russia*

Today, clearcuts cause the greatest harm to the environment. The consequence of clearcutting is the emergence of: waterlogging of the soil, soil erosion, disturbance of the water and air regime, slower plant growth, animal migration, etc. All these consequences lead to the main problem — the destruction of the ecosystem at the site of felling.

Therefore, the purpose of this work is to reduce the impact of forest felling on the environment through the use of modern technology, optimal harvesting methods, and the use of high-energy reforestation methods.

Today, logging is carried out using equipment that does not comply with both ethological and technical standards. This equipment is not rational both from the side of performance and from the side of environmental impact [1]. Therefore, we offer the use of modern high-performance logging complexes that cause minimal damage to the environment.

Also important is the choice of the method of timber harvesting. When carrying out clearcuts, the technology of both areas and cutting intervals is not followed. The safest for the OS is to carry out selective felling, but it is not economically feasible [2]. Therefore, the most optimal is to carry out gradual felling, since during the cutting interval the plantation has time to recover.

And the final link in sustainable forest management is reforestation. Artificial reforestation is almost always carried out only with conifers, which have both a lower density and a lower heat of combustion. And since most of the wood in the Russian Federation is used as an energy raw material, it is more rational to renew it with deciduous species [3]. We propose to carry out a mixed renewal, as it has several advantages over the restoration of a single breed.

As a result of the work done, it was found that the correct choice of equipment, as well as methods of logging and afforestation will allow achieving more rational forest management.

### **References**

1. GOST 31967-2012 Internal combustion engines, piston. Emissions of harmful substances with exhaust gases. Norms and methods of determination. Moscow. 01.07.2014. 43 p.

2. Kovyazin V.F. Fundamentals of forestry and forest taxation: a textbook / V.F. Kovyazin and others. St. Petersburg: Publishing House "Lan". 2010. 384 p.
3. Kozlov V.M. Influence of various methods of logging on the habitat and population of hunting animals of the European taiga / Kozlov V.M. Monografiya. Kirov: Vyatka State Agricultural Academy. 2010. 150 p.

## Use of the Geographical Information System (GIS) for the sustainable management of georesources: Case of the “Dorsale calcaire”, Morocco

Ghizlane Fattah, Fouzia Ghrissi

*Civil, hydraulic and environmental engineering laboratory, Water treatment and reuse structure, Mohammadia School of Engineers, Mohammed V University in Rabat, Morocco*

### Abstract

The Tangier-Tetouan region has become in a few years the 2nd economic pole of the Kingdom of Morocco, thanks to the major structuring projects carried out in the various sectors. This socio-economic development is accompanied by a strong demand for construction materials, which requires a continuous search for new sites to meet the needs of the projects, which are in progress, as well as other scheduled [1–2].

As one of the main rocks used in construction, limestone is an excellent source of crushed stone for the production of aggregates and cement [3–4].

This work aims to provide a quarry management plan, exploiting the rock of the « Dorsale calcaire », compatible with sustainable development in order to meet the needs for construction materials while respecting the environment. The selection of appropriate sites is carried out by evaluating the potential in limestone deposits using GIS with weighted analyzes. Many environmental, social and economic factors are taken into account in order to prevent conflicts between land users. The combination of these critical elements resulted in a map in which the areas favorable to the exploitation of materials are classified according to their degree of risk [5]. In terms of conclusion, only the limits of the « Dorsale calcaire » can be exploited with a medium risk, while the central part of the ridge presents a danger for water resources and vegetation cover.

**Keywords:** quarry management plan, construction materials, GIS, Dorsale calcaire, Morocco.

### Reference

1. Achelhi H., Bennouna M., Narjisse L. (2015). La variation de l'importance des barrières à la relance par l'innovation au Maroc: Cas de la région de Tanger-Tétouan.
2. Peraldi M. (2007). Economies criminelles et mondes d'affaire à Tanger. *Cultures & Conflits*. Vol. 68. P. 111–125.
3. Dello H., El Kharim Y. (2017). Exploitability of construction materials in the calcareous dorsal of the Haouz Mountain range in the

region of Tangier-Tetouan, Morocco // Journal of African Earth Sciences. Vol. 129. P. 330–337.

4. Griffon J.C. (1962). La dorsale calcaire au sud de Tetouan (Maroc) [PhD Thesis].
5. Salaheddine A. (2016). Cartographie par SIG des géo matériaux destinés au génie civil: Région d'Oujda, et étude de cas.

## **Некоторые особенности ресурсосберегающей технологии получения минеральных швеллеров из твердых отходов сублиматного производства ОА «СХК»**

Ю.М. Федорчук, Д.В. Нарыжный, Л.А. Аниканова,  
М.А. Саденова, Н.В. Замятин

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30*

### **Введение**

В настоящее время на промышленных предприятиях России при производстве минеральных и органических веществ все большую актуальность приобретает проблема образования и накопления крупнотоннажных гипсосодержащих отходов. Источником указанных отходов являются химические производства фтороводорода, производства фосфорных удобрений и фосфорной кислоты, производства борной кислоты, производства титана и др. В большинстве технологий сульфаткальциевые отходы выбрасывают в окружающую среду в виде двуводного гипса (гг. Воскресенск, Лермонтов, Череповец, Полевской, Комсомольск–на–Амуре). На производствах в атомной промышленности при получении фтороводорода в Северске получают отходы в виде безводного сульфата кальция — фторангидрита, эти отходы нейтрализуют натриевой щелочью, распульцовывают и через систему канализации сбрасывают в р. Томь, а затем — в р. Обь. В химической промышленности в г. Перми твердые отходы фтороводородного производства нейтрализуют по «сухому» способу (в качестве нейтрализатора используют порошкообразный оксид кальция). Сотрудниками ТПУ и многими другими исследователями доказана экономическая эффективность использования сульфаткальциевых отходов в строительной промышленности в виде вяжущего в бесцементных ангидритовых композитах [1–4]. Но экономическая эффективность проявляется только в том случае, когда сульфаткальциевые отходы извлекают из химического производства фтороводородного производства в сухом безводном обезвреженном  $pH = 7-9$  состоянии. В этом случае после измельчения и модифицирования упрочняющей добавкой фторангидрит превращается в техногенное ангидритовое вяжущее.

### **Цели и задачи**

Целью работы является уменьшение сброса сточных вод и утилизация твердых отходов фтороводородного производства СХК и других

региональных отходов промышленности в ресурсосберегающих экономически эффективных технологиях малоэтажной стройиндустрии и отделочных строительных материалов, в качестве инновационной продукции получение минеральных композитных швеллеров с заданными свойствами на основе ангидритового вяжущего [5].

В задачи входит анализ и обоснование снижения экологической нагрузки на окружающую среду в местах расположения фтороводородных производств и исследование фторангидритового сырья применительно к производству швеллеров за счет разработки оригинальной формы строительных изделий и составов композитов для минеральных швеллеров с требуемыми эксплуатационными характеристиками, разработки оригинальной технологии производства и рекомендаций по применению фторангидритовых композитных швеллеров в строительной промышленности.

Опытно полупромышленные испытания и оценка их технико-экономической эффективности.

Были получены опытные образцы швеллеров с пределом прочности на сжатие, равном 16 МПа, а на изгиб — 10 МПа. Благодаря полупромышленным испытаниям ресурсосберегающих технологий получения ангидритовых строительных изделий и материалов было установлено, что при использовании ангидритового вяжущего марки 100 ангидритовый конструкционный материал (швеллер) получали с коэффициентом рентабельности 50–80 %.

### **Список литературы**

1. Ala M. Rashad. Phosphogypsum as a construction material. *Journal of Cleaner Production*. 2017. Vol. 166. P. 732–743.
2. Guanzhao Jiang, Aixiang Wu, Yiming Wang, Wentao Lan. Low cost and high efficiency utilization of hemihydrate phosphogypsum: Used as binder to prepare filling material. *Construction and Building Materials*. 2018. Vol. 167. P. 263–270.
3. Dvorkin L., Lushnikova N., Sonebi M. 2018. Application areas of phosphogypsum in production of mineral binders and composites based on them: A review of research results. Paper presented at the MATEC Web of Conferences, 149. doi:10.1051.
4. Ngernchuklin P., Yongpradern N., Boonruang A., Kanchanasutha S., Laoaueporn P., Busabok C. 2018. Upgrading of waste gypsum for building materials. doi:10.4028.
5. Федорчук Ю.М. Способ получения ангидритового вяжущего. Патент РФ № 2277515 от 10.06.2006 г.

## Ресурсосберегающая технология селективной сепарации измельченных минералов на примере гранатового песка и плавикового шпата

Ю.М. Федорчук, В.А. Данекер, А.С. Ивашутенко,  
В.В. Матвиенко, Ю.П. Кривцун

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30*

В горнообогатительной, химической, энергетической, строительной и других отраслях промышленности в настоящее время для обеспечения точности и равномерности дозировки технологических операций используют различного рода стабилизацию свойств сыпучих материалов.

**Актуальность работы.** В горнообогатительной отрасли промышленности в настоящее время для обогащения руды зачастую применяют флотацию. С помощью флотации производится извлечение частиц минералов определенных размеров, при этом происходит значительное загрязнение окружающей среды как сточными водами, так и примесными компонентами руды и флотоагентами [1–4].

Процесс флотации обладает рядом недостатков, таких как: затраты на требуемую зернистость измельчения, большие затраты энергии на перекачку жидкости, затраты по ущербу окружающей среде и др.

Для устранения вышеперечисленных недостатков в лаборатории экологически чистых технологий ТПУ был предложен и изготовлен стенд по сухому способу селективного разделения сыпучих (предварительно подсушенных) материалов и проведены некоторые испытания по разделению плавикового шпата с содержанием в нем флюорита 88 %, кремнезема — 8 %, известняка — около 3 %.

Аналогичные испытания были проведены с высушенным гранатовым илом — твердым отходом процессов гидрорезки.

**Цель работы.** Исследование процесса разделения частиц дисперсной среды по плотности под воздействием вибрации.

Для выполнения поставленной цели в работе решаются следующие задачи:

- определение оптимальных параметров работы вибростолы, при обогащении флюорита в плавиковом шпате и алмандина в гранатовом песке;
- изучение физико-механических свойств обогащенного флюорита и гранатового песка.

### Методика эксперимента

Исследования процесса разделения частиц, по размерам, форме и массе проводили с помощью вибрационного электромеханического стенда. Вибрационный стенд имеет следующие основные технические характеристики: напряжение — 220 В, частота — 50 Гц; угол наклона виброповерхности относительно горизонтали, на которую подают исходное сырье, составляет 15 градусов, расстояние между кромкой виброплощадки и кромкой горизонтально расположенного приемного контейнера — 10 мм. Навеску исходного сырья равномерно размещали на поверхности вибростола, включали вибрацию, засекали время. В результате виброперемещения сырья более крупные, более тяжелые частицы имели траекторию полета большего радиуса, чем более легкие. Таким образом, происходило селективное разделение более тяжелой фракции по отношению к более легкой [5].

Исследования явления разделения по плотности и форме проводились на частицах высушенного до постоянного веса плавленого шпата, содержащего флюорит, кальцит, кварц следующих фракций: (+0,094...–0,160); (+0,160...–0,315) мм.

Аналогичные опыты проводили с высушенным гранатовым песком.

**Вывод.** Экспериментами установлена закономерность разделения частиц по массе при вибротранспортировании, тем самым, получены данные по селективному разделению частиц в зависимости от плотности. Плавленый шпат состава:  $\text{CaF}_2$  (плотность  $\rho = 3,18 \text{ т/м}^3$ ),  $\text{CaCO}_3$  ( $\rho = 2,8 \text{ т/м}^3$ ),  $\text{SiO}_2$  ( $\rho = 1,8 \text{ т/м}^3$ ) удалось обогатить по фториду кальция до 96 %; гранатовый ил состава:  $\text{Fe}_3^{3+}\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$  (плотность  $\rho = 4,2 \text{ т/м}^3$ ),  $\text{SiO}_2$  ( $\rho = 1,8 \text{ т/м}^3$ ) обогатили до 98 % по альмандину.

### Список литературы

1. Абрамов А.А. Магнитные, электрические и физико-химические методы комплексной переработки и обогащения полезных ископаемых. Москва: Издательство МГИ. 1989. 125 с.
2. Абрамов А.А. Флотационные методы обогащения. Москва: Недра. 1993. 470 с.
3. Барский Л.А., Козин В.З. Системный анализ в обогащении полезных ископаемых. Москва: Недра. 1978.
4. Краснов Г.Д., Лопатин А.Г., Усачев П.А. Перспективные направления развития гравитационных методов обогащения // Переработка труднообогатимых руд. Москва: Наука. 1987.
5. Федорчук Ю.М., Матвиенко В.В. // Наука о Земле и окружающей среде. 2020. Т. 459. Гл. 4.

## Оценка баллоэлектрического эффекта, связанного с прибойными волнами на юго-западном берегу оз. Байкал и влиянием водопада в окрестностях п. Аршан

М.В. Оглезнева<sup>1,2</sup>, К.Н. Пустовалов<sup>1,2</sup>, П.М. Нагорский<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Института мониторинга климатических и экологических систем  
СО РАН, г. Томск, пр. Академический, 10/3

<sup>2</sup>Национальный исследовательский Томский государственный  
университет, г. Томск, пр. Ленина, 36

Из всех компонентов атмосферного воздуха остаётся слабо изученным аэроионы, а также их изменение под влиянием различных факторов [1, 2]. В работах [1, 3] авторы указывают на благотворное влияние отрицательных ионов на здоровье человека.

Целью работы является проведение количественной оценки влияния баллоэлектрического эффекта [2, 4–6] на концентрацию отрицательных аэроионов на юго-западном берегу оз. Байкал и вблизи водопада в окрестностях курорта Аршан, являющихся популярными зонами рекреационного туризма.

Экспедиционные измерения проводились в августе 2020 года на юго-западном берегу оз. Байкал (Иркутская область) в точке с координатами 51°41' с.ш. и 103°42' в.д. и у водопада вблизи курорта Аршан (республика Бурятия) в пункте 51°55' с.ш. и 102°25' в.д. В исследовании использовалось следующее оборудование: счетчик аэроионов Air Ion Counter Model AIC2 (AlphaLab, Inc) [6], ручной термогигрометр MS6508 и анемометр MS6252A (Mastech). Измерение отрицательных ионов проводилось в условиях «хорошей» погоды [1, 2] в течение 5–10 минут с частотой дискретизации 5 с.

Исследования показали, что в береговой зоне оз. Байкал медианные концентрации отрицательных аэроионов в 4,5 раза больше, чем фон. При этом, стоит отметить, что баллоэлектрический эффект постоянен во времени и зависит от характера волнения. Так во время прибойных волн максимальные значения концентраций отрицательных аэроионов превышают фоновые в 4 раза и достигают значений  $3,8 \times 10^3 \text{ см}^{-3}$ , а отдельные значения могут достигать  $\sim 12 \times 10^3 \text{ см}^{-3}$ .

Вблизи водопада баллоэлектрический эффект квазистационарен и, как следствие, обуславливает высокие концентрации, многократно превышающие фон. Средние концентрации отрицательных аэроионов ( $11,9 \times 10^3 \text{ см}^{-3}$ ) в  $\sim 10$  раза больше, чем фон, при этом их максимальные значения достигают  $16 \times 10^3 \text{ см}^{-3}$ .

*Исследование было выполнено в рамках государственной темы № АААА-А17-117013050031-8.*

### **Список литературы**

1. Смирнов В.В. Ионизация в тропосфере. СПб.: Гидрометеоздат, 1992. 309 с.
2. Hirsikko T., Laakso L., Nieminen S., Gagnй S., Lehtipalo K. // Atmospheric Chemistry and Physics. 2011. Vol. 11. №2. P. 767–798.
3. Чижевский А.Л. Аэроионизация в народном хозяйстве. Москва: Госпланиздат, 1960. 759 с.
4. Мучник Б.М. Физика грозы. Л.: Гидрометеоздат, 1974. 351 с.
5. Aplin K.L., Harrison R.G. // Encyclopedia of Atmospheric Sciences: Second Edition. 2014. P. 9–13.
6. Air Ion Counter Model AIC2 [Electronic resource]. URL: <https://www.alphalabinc.com/product/aic2/> (date of access: 20.12.2020).

## **Correlation-regression analysis of the influence degree of various socio-economic factors on the dynamics of the opisthorchiasis incidence at the territory of the Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug-Yugra**

A.S. Maiurova, V. Roy, M.A. Kustikova, E.A. Bykovskaia, E.P. Tyurikova

*ITMO University, Kronverksky Pr. 49, bldg. A,  
Saint Petersburg, 197101, Russia*

*Opisthorchis felineus* is the most common liver fluke on the territory of the former Soviet Union, and opisthorchiasis has a leading role in the morbidity structure of the Russian population among the entire range of infectious diseases [1]. The largest world nature focus of opisthorchiasis caused by *O. felineus* is in the Ob–Irtysch basin [2].

Parasitic diseases have been one of the main pathologies on the territory of the Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug-Yugra (KhMAO-Yugra) over time, which is one of several regions hyperendemic in terms of opisthorchiasis. According to the state report “On the state of sanitary and epidemiological well-being of the population in the KhMAO-Yugra” the total share of the opisthorchiasis prevalence is more than 99.5 % of all registered cases of parasites infection. Furthermore, the opisthorchiasis prevalence of the KhMAO-Yugra population in 2018 was 24 times higher than this indicator as a whole in Russia.

It is necessary to take into account the complex nature of human interaction with society and the environment, during conducting medical and statistical research. The degree of influence of various factors on the incidence of the population can be estimated using the correlation theory and GIS technologies [3].

The purpose of this work is to study the causal relationships between socio-economic factors and the opisthorchiasis prevalence in the territory of the KhMAO-Yugra.

In order to assess the dynamics of the opisthorchiasis prevalence in the territory of the KhMAO-Yugra, a spatial-temporal map of the prevalence dynamics in the districts of the region was built. This map was made by means of the QGIS geographic information system, with reference to the prevalence data within each district of the KhMAO-Yugra territory.

In this investigation a spatial-temporal map of the opisthorchiasis prevalence dynamics in the districts of the KhMAO-Yugra was created, the prevalence dependence on various socio-economic factors was determined. It was found that the strength of the relationship between the prevalence and most

of the selected factors is quite low. The most indicative factors were the number of stores selling fresh fish and the number of settlements in the territory of the municipalities of the KhMAO-Yugra.

### **References**

1. Mordvinov V.A, Yurlova N.I, Ogorodova L.M, Katokhin A.V. *Opisthorchis felinus* and *Metorchis bilis* are the main agents of liver fluke infection of humans in Russia *Parasitol Int.* 2012. Vol. 61. P. 25–31.
2. Letter of Rospotrebnadzor of September 28, 2012 No. 01 / 11095-12-23 "On the incidence of opisthorchiasis in the Russian Federation" [Electronic resource]. URL: <http://89.rospotrebnadzor.ru/documents/ros/letters/90065/> (date of access: 12.11.2020).
3. Goovaerts P. Medical geography: a promising field of application for geostatistics *Math Geol.* 2009. Vol. 41. P. 243–264.

## **Оценка энергетического потенциала ТБО в рамках реализации концепции снижения экологических рисков**

К.А. Семенова, Е.С. Волкова, М.А. Мельник

*Институт мониторинга климатических и экологических систем  
СО РАН, 634055, Россия, г. Томск, пр. Академический, 10/3*

В Томской области, как, впрочем, и в целом по России, с каждым годом все более остро встает проблема утилизации твердых бытовых отходов (ТБО) — в среднем на одного человека в России приходится более 400 кг отходов в год [1]. Для жителей Томска этот показатель превышает среднероссийский более чем на треть, и составляет 532 кг, только в региональном центре ежедневно образуется около 4,5 тыс.м<sup>3</sup> ТБО. Рост численности населения, повышение его комфорта и благосостояния, существенное увеличение объема потребляемой продукции, производство цифровой, бытовой техники и автомобилей с небольшим сроком эксплуатации определяют тенденции к устойчивому росту количества ТБО на душу населения. Так Томский городской полигон захоронения ТБО, рассчитанный на пятилетний срок эксплуатации, был заполнен за 3,5 года, что говорит о 30 % увеличении скорости накопления отходов от прогнозируемых показателей. Проблемой всех населенных пунктов области являются несанкционированные свалки и замусоренные территории, что увеличивает и без того существенные экологические риски, возникающие от разных источников загрязнения. Ущерб от расширения таких территорий порой носит невосполнимый характер и растет из года в год.

Проблема утилизации ТБО в странах, где вопросы снижения экологического риска являются приоритетными, решается за счет повсеместного развития технологий переработки ТБО, направленных, главным образом, на термическое обезвреживание отходов. Внедрение современных технологий мусоросжигания, в том числе и высокотемпературный пиролиз, позволяет параллельно устранять проблему обеспечения тепло- и электроэнергией предприятий по переработке ТБО: образующее от утилизации отходов тепло используется для собственных нужд мусороперерабатывающего предприятия, а также пригодно для внешнего потребления.

С этих позиций пространственно-временной анализ экологических рисков, связанных с увеличением объемов ТБО, оценка возможностей получения энергии за счет внедрения прогрессивных технологий переработки отходов представляются важными народнохозяйственными, при-

родоохранными и научно-методологическими задачами. В качестве основных методов исследования использованы балансовый, расчетно-статистический методы анализа, метод ГИС-технологий. Анализ проводился, исходя из данных о численности населения, средней нормы накопления отходов городскими или сельскими жителями и значения низшей теплоты сгорания на рабочую массу отходов ТБО.

В результате исследования выявлен определенный рост экологических рисков, связанных с негативным воздействием ТБО на окружающую природную среду в Томской области: истощение почвенных ресурсов, изменение среды обитания лесной биоты, загрязнение окружающей среды продуктами разложения и т. д. Вместе с этим показана рентабельность использования ТБО, которая обусловлена не только ресурсным аспектом, но и сопутствующей утилизацией отходов и, как следствие, снижением экологической нагрузки на территорию. По нашим подсчетам потенциальная расчетная ежегодная выработка энергии из отходов ТБО по области достаточно высокая — 2 040,7 ТДж/год [2].

### **Список литературы**

1. Департамент природных ресурсов и охраны окружающей среды Томской области [электронный ресурс]: Томский экодвиж: почему от нас так много мусора и что с ним делать. URL: <https://depnature.tomsk.gov.ru/news/front/view/id/63749> (Дата обращения 25.12.2020).
2. Волкова Е.С., Мельник М.А., Фузелла Т.Ш. Оценка альтернативных биоэнергетических ресурсов в контексте концепции устойчивого развития региона // Национальные интересы, приоритеты и безопасность. 2015, ноябрь. № 43(328). С. 27–40.

## **Tourism in the Arctic coastal zone in the structure of nature management in the region**

A. Sanin, A. Mosalev

*N.N. Zubov's State Oceanographic Institute, Roshydromet,  
6 Kropotkinskiy Lane, 119034, Moscow, Russian Federation*

The following trends are observed in the structure of human activity in the coastal zone of the Arctic seas of Russia.

1. The role of military (special) activity is beginning to increase.
2. The role of transport environmental management is beginning to increase [1, 2]. Nowadays trend towards climate warming has been observed, which, in turn, causes a decrease in the ice content of the ocean area. It makes positive impact on the organization of transportation of mineral resources and other types of transportation.
3. The role of recreational activity is increasing [1]. Some types of tourism have already been developed in the region, while others have potential opportunities for development. Thus, tourism to the North pole is actively developing with access from Murmansk by sea [2, 3]. This is one of the most unique and expensive tourist routes of the Earth, attracting tourists from all over the world, and only Russia has icebreakers that can pass it. A number of direction of tourism, such as adventure tourism, ethnographic tourism, cruise tourism etc. can potentially get much more development than at the present moment. Thus, the literature [1, 4] notes the potential attractiveness of cruise routes along the Northern sea route, which would become one of the most unique tours offered around the Earth. This route is comparable in uniqueness with the trip along the Trans-Siberian railway, which is very popular among foreign tourists. At least three cases of organizing cruise tourism from Murmansk to Anadyr were noted during last years [2, 3].

Unlike industrial activity, tourism does not enter into sharp conflicts with other types of human activity. Some directions of recreation do not have a strong negative impact on the environment.

There are opportunities for a significant increase in tourist flows (both external and internal), which is confirmed by the example of other Arctic territories in the world: Svalbard, Greenland, Alaska, and the Canadian Arctic Archipelago. However, this requires significant investments in recreational infrastructure, as well as consistent advertising campaigns to promote the region among potential tourists, especially in those countries from which the largest number of them come (Germany, the Scandinavian countries, China, the United States). It seems optimal here to use partnership between state and

private business. The COVID-19 pandemic is also a strong deterrent to development of international tourism from the beginning of 2020. On the other hand, it contributes to the development of domestic tourism.

The Arctic as a tourism region famous for the uniqueness of the Arctic landscapes and tours which it offers. However, the cold climate hinders the development of tourism in the region. Recreational, as well as other types of human activity, should take into account adverse and dangerous natural processes that are typical for the region. The most threatening processes in the region include processes of abrasion and thermal abrasion, storm events and accompanying waves, processes associated with permafrost on land (thermokarst, frost heaving, ice formation, etc., partly waterlogging and flooding).

The major problem of the region is the low level of development of recreational infrastructure, which largely determines the high cost of touristic tours.

At present, Arctic tourism is related to the premium segment of the touristic market, and it occupies an extremely small part of it on a global and even Russian scale. In the future it is important to use combination of two strategies for the development of the region. The first strategy is involving of the premium tourism in the Arctic region, offering unique services that have no analogues in the world (transit along the Northern Sea route, visiting the North Pole, etc.). The second one is active development of budget-priced tourism with a focus mainly on the Russian market.

### **References**

1. Lukin Y.F. and oth. Arctic tourism in Russia // *Arctic and North*. 2016. № 25. P. 211–216.
2. E. Zubakina, V. Pogodina, Development of tourism in the Russian Arctic of special interests // *Natural and cultural heritage of the Arctic*. Collection of articles based on the materials of the scientific and practical conference, St. Petersburg, Herzen State Pedagogical University, November 10–13, 2016 / Ed. V.V. Laptev, D.A. Subetto, A.N. Paranina-St. Petersburg: Publishing House of the Herzen State Pedagogical University. 2016. 162 p.
3. D.V. Sevastyanov, E.M. Korostelev, Yu.G. Gavrilov, A.V. Karpova. Recreational nature management as a factor of sustainable development of the Russian Arctic regions // *Geography and Natural Resources*. 2015. № 4. P. 90–97.
4. D.V. Sevastyanov. Recreational nature management and tourism in the plans for the development of the Tourism for development // *Arctic and North*. 2018. № 30. P. 23–40.

## **Use of the resource potential of a small surface water body on the basis of a compensation mechanism**

N.B. Efimova, I.A. Ylanova

*Volgograd State Agrarian University, 26 University ave.,  
Volgograd, 400002, Russia*

Small surface water bodies (SSWB) play an important role in the formation of the territorial channel structure of the locality. The resource potential of SSWB is represented a set of water resources that characterize the biological, fisheries and recreational value of the ecosystem of the locality, which can be used for socio-economic activities, taking into account technological capabilities, based on minimizing environmental damage. The resource potential of SSWB is use without taking into account the adverse environmental consequences that already occur or are only expected, should be compensate by measures to improve, reproduce the natural environment, so it is necessary to develop a compensation mechanism.

The principle of compensation for prevented damage is use when assessing the anthropogenic impact on SSWB in accordance with the current environmental legislation of the Russian Federation. Averted damage is compensation for potential environmental damage in monetary form. Calculations for the hazard level, mass of pollutants and coefficients are takes into account environmental factors in accordance with the accepted methodology.

The characteristics of the environment do not change with the arrival of a small amount of pollutants, as the effect of the assimilation potential of the territory works. Environmental damage may not be observe in this case. Harmful substances can form compounds during interaction that have a higher hazard class, which is not take into account in the calculations.

The methods for calculating the economic damage caused and prevented damage are using them, the latter repeatedly exceeded. This circumstance is due to the fact that the economic damage can be comparable to the assimilation potential of the territory, and the prevented damage can be both greater and less than the assimilation capacity.

The economic damage caused by environmental pollution can exceed the existing payments and fines many times over. The prevented damage may represent accumulated damage, which does not fully reflect the effects of exposure from the input of pollutants, since the damage from the cumulative input of pollutants may be greater than from the current pollution, and vice versa, the current pollution may have a prolonged consequence of a negative impact on the environment.

The disadvantage of calculating the prevented damage is that when negative factors occur in the system «water-air-soil-biota», regional and local features and time interval are not taken into account in our opinion. Practice shows that the negative effects of pollutants can have a prolonged effect, that is, in order to reflect real changes in the properties of the environment under anthropogenic influence, it is necessary to link to a time period and include externalities in the calculation.

The degree of environmental impact can be considered through the principles of compensation for potentially negative impacts from the point of view of preventive measures. The compensation mechanism can be a set of environmental protection measures and the costs of their implementation. The informative and legal basis for the implementation of an effective manifestation of the compensation mechanism is not the volume of a forecast change in the degree of environmental quality in relation to the region as a result of its admission to this environment, taking into account the costs associated with the implementation of the proposed environmental protection measures. The compensation mechanism formula may look like this:

$$KM = \sum [M_i C_i K_{pi} K_n] \quad (1)$$

where  $M_i$  — number of environmental protection measures, units;

$C_i$  — cost assessment of environmental protection measures, RUB.;

$K_{pi}$  — coefficient that takes into account the regional and local characteristics of the territory, taking into account its assimilation capacity;

$K_n$  — the projected degree of change in environmental quality, %.

The total accounting of pollutants will allow determining the cumulative effect of the impact on a specific natural object, identifying the sources and volumes of potential and real pollution.

The compensation mechanism is a set of costs in physical and cost terms for carrying out environmental protection measures, taking into account the projected development of environmental quality. The authors propose to consider the effect of the compensation mechanism on the definition of natural compensation, which means the obligation of the nature user to carry out environmental protection measures, such as reclamation, reclamation, restoration of disturbed ecosystems. In-kind compensation will include the entire range of nature restoration measures up to a given level of environmental quality.

## **Awareness of sustainable use of national natural resources as a basis for the environmental protection systems: economic aspects and the new global index of the popularity of environmental queries (GIPEQ) and its influence on the Ethics Perception Index**

A. Shemetev

*VSE and RANEPa (Russian Academy of National Economy and Public Administration)*

The most popular in science “Environmental Performance Index” (EPI) is too narrowly specific [1–3]. EPI might only be popular in a limited number of countries, this research reveals. This index is designed to assess the sustainable use of natural resources and the effectiveness of environmental protection systems. This index has collected the most advanced scientific researches with an impact factor in this area. However, its actual application might be limited among narrow specialists in 11 countries, this research reveals.

The most popular language is English for finding information on ecology and environmental protection. The top 19 most popular environmental queries are made in the English language. These discoveries allow for the correct prioritization of the language in which information on sustainable resource use and environmental protection systems should be disseminated.

The methodology part of the full paper explains why the EPI cannot be used for time series analysis (annual methodology changes). Moreover, the missing data for calculating the components of this index is also a barrier.

An algorithm for extracting global data for various categories of search queries has been prepared (as a part of this study). The algorithm transforms the data into a matrix that includes the countries and interests at the given dates (usually: from January 1, 2004, to the present).

This study proposes a new index. This is a global index of the popularity of environmental queries (GIPEQ). It shows the cumulative global popularity of environmental queries for the world as a whole and for each country separately (from the search engines like Google within the next categories: texts, pictures, videos, news). It might also be applied as an EPI index deflator for the time series analysis. The algorithm for creating the GIPEQ index is written in the R programming language for this study. Data privacy is ensured by using a percentage of the absolute maximum value. This approach allows working with confidential data.

This study is divided into 3 parts. Part 1 discusses why the EPI is the most advanced study for assessing the sustainable use of natural resources and the effectiveness of environmental protection systems for every country in the

world. The second part discusses the shortcomings of the EPI index. They include the impossibility of analyzing time series (the method for assessing the index changes significantly every year) and a significant amount of missing data in the most basic components of the index. This is shown by using the example of assessing the quality of water and fish resources (out of almost one and a half thousand components of the EPI index). The third drawback is the popularity of this index among the public, this research suggests.

A new index (GIPEQ) is proposed and the necessity of its application is justified in the third part of this research. Widespread public demand for environmental programs creates pressure for politicians. This pressure should stimulate them to develop a system of sustainable use of natural resources and environmental protection.

The research question: what indicator could estimate the popularity of ecology and environmental programs in the world? The additional research question is how to estimate it? The main hypothesis is that this indicator could potentially be used for estimating the time series of the complex EPI by estimating the EPI deflator. Deflating the EPI from a specific period is the only known way to control for the time-series analysis for the EPI indicator, this research suggests.

The popularity of ecology and environmental protection queries is parabolic (convex). The peak of popularity is 2004, after which the popularity of ecology and environmental protection requests declined until 2014. The average popularity of queries has been growing since 2014.

The main assumption is that this indicator could potentially be used for estimating the pressure of the public opinion to policymakers for stimulating the development of ecological programs that will be seen through the better environmental performance criteria.

The author developed the ethics perception index that consists of seven components (CPI [Corruption Perception Index], EFI [Economic Freedom Index], Education Index, HDI, HRI [Human Rights Index], Natural Resource Depletion in percentage of GNI, EPI). The GIPEQ index presented in this paper can be used as a time series corrector for EPI for a better understanding of the potential trends of the ethics perception index. These two ways of implementing the GIPEQ index represent the practical applicability of this research.

## **References**

1. Conrad E., Cassar L.F. The Environmental Performance Index. 2019.
2. Wendling Z.A. et al. Environmental Performance Index. 2020.
3. Yale University Statistical Databases of the population and GDP [Electronic resource]. URL: <https://epi.yale.edu/> (date of access: 16.10.2020).

## **Forest reclamation in the strategy of the far east region development as the basis for environmental sustainability**

L.T. Krupskaya<sup>1,2</sup>, M.Yu. Filatova<sup>1,2</sup>, E.A. Romashkina<sup>2</sup>,  
K.A. Kolobanov<sup>1,2</sup>, Y.G. Kocharian<sup>3</sup>

<sup>1</sup>*Far East Scientific Research Institute of Forestry, 71 Volochaevskaya str., Khabarovsk, 680030, Russian Federation*

<sup>2</sup>*Pacific National University, 136 Tichookeanskaya str., Khabarovsk, 680035, Russian Federation*

<sup>3</sup>*Kamchatka State Technical University, 35 Klyuchevskaya str., Petropavlovsk-Kamchatsky, 683003, Russian Federation*

The article presents the results of the study of environmental objects and their changes within the boundaries of the impact of closed mining enterprises tailing dumps in the Far Eastern Federal District of Russia (FEFD). As a result of mineral development, the lands of the forest fund are withdrawn, the productive areas suitable for human activities are reduced. Therefore, there is a need to restore the productivity of land disturbed by mining. It is shown that the role of forest vegetation restored by reclamation is immeasurable for nature and society, as plants are producers of organic matter and molecular oxygen, and are forming elements of climate and microclimate. Moreover, this role of plants makes them highly exploitable objects used not only in agriculture, but also in health care, wood using, pulp and paper and other sectors of industry. However, about 1 million hectares of land are currently disturbed only in the southern part of the FEFD. As a result, the living standards of the population are decreasing and the natural resource potential is not being preserved. In this regard, the aim of the study was to substantiate the need to rehabilitate forest lands, exposed to the negative impact of accumulated mineral processing waste as a result of past economic activities of mining enterprises, by conducting forest reclamation using bioremediation methods to ensure their ecological safety. Natural-mining systems formed in the process of mineral development were the research objects. The notion of technogenic surface formations (TSF) was defined. According to the modern classification, these are substrates of technogenic unvegetated and unsoiled landscapes. It is shown that technogenic formations of ore development are classified as very hazardous facilities (tailing dumps with toxic wastes). They are a source of intensive technogenic pollution of forest lands, atmospheric air and soil-vegetation cover of adjacent territories over dozens and hundreds kilometers from the source. At mining enterprises in the FEFD, including those closed down, the emergency situations occur during monsoon rains,

they can lead to disastrous environmental and social impacts. The unfavourable influence of technogenic formations is a negative factor for the health of mining settlements population. This predetermines the intensification of researches on land reclamation, including forest lands, that will allow to minimize damage to natural environment and human health and solve a strategic task. Our surveys of disturbed lands in the FEFD allow us to conclude that previously, land reclamation was carried out at mining enterprises in insufficient scale and with low efficiency, without preliminary assessment of forest regeneration processes and chemical pollution impact on forest complexes of adjacent territories. It has been proved that restoration of technogenically polluted forest lands disturbed by mining operations over a large area in the FEFD is the most important aspect, their negative impact on the environment has already reached alarming proportions. The principles of ensuring environmental safety of toxic waste tailings have been developed. Experimental studies have led to the conclusion that an innovative approach to solving the forest reclamation problem is necessary. The methods of forest reclamation were created, the novelty of which is confirmed by the Patents of the Russian Federation in 2013, 2015, 2017, 2018, 2019 [1–2]. An algorithm of actions in solving the problem of rehabilitation of land disturbed by mining by forest reclamation in the Far East region was developed. It has been established that on the surface of tailing dumps the soil-ecological functions are restored for a very short period (one growing season), which is very important, and a stable phytocenosis is formed. Scientific and practical relevance of the research results consists in rationale of a problem of favorable environment creation for mining settlement inhabitants and ecological safety of toxic wastes storage, rational natural resources use at the mining enterprises. The technological solution to minimize the waste impact was proposed and recommended for use not only in the Far Eastern Federal District, but also at other mining enterprises in Russia and countries of the Asia-Pacific Region. It was characterized in terms of social significance, investment attractiveness and commercial potential, as well as competitive advantages.

### **References**

1. Krupskaya L.T., Kirienko O.A., Maiorova L.P., Golubev D.A., Onishchenko M.S. A method for recultivating the surface of a tailing dump containing toxic waste using phototrophic bacteria. The patent No. RU 2569582 C1. 2015.
2. Krupskaya L.T., Ishchenko E.A., Golubev D.A., Kolobanov K.F., Rastanina N.K. Composition for reducing the dust load on the ecosphere and recultivating the surface of the tailings storage facility. The patent No RU 2707030 C1. 2019.

## **Study of the dynamics of the composition of state environmental expertise at the federal level in Russia from 1995 to 2020**

O. Sakharova<sup>1</sup>, N. Dinkelaker<sup>2</sup>, A. Karpov, N. Dinkelaker, O. Sergienko, P. Agahanyanz, V. Kiss

<sup>1</sup> *Saint-Petersburg State University, 7/9 Universitetskaya Emb., Saint Petersburg, Russia*

<sup>2</sup> *ITMO University, Kronverksky Pr. 49, bldg. A, Saint Petersburg, 197101, Russia*

The State Environmental Expertise in the Russian Federation is the most important mechanism for ensuring the environmental safety of planned economic and other activities.

The State Environmental Expertise (SEE) is regulated by federal laws and regulations. Regional SEEs are also regulated by regional draft laws. The main legal act which regulate the basic aspects of SEE is the Federal Law No. 174-FZ "On environmental expertise"[1]. It establishes the current lists of objects for state environmental expertise and thus determines the proportion of planned economic activities that have a mandatory preliminary assessment of environmental risks. An equally important feature of the Federal Law "On environmental expertise" is its dynamism. It reflects changes made to other federal laws that determine the need for SEE at any project.

The foundations of environmental expertise, established in 1995, are still being actively developed. In spite of the significant number of scientific studies of a legal nature regarding environmental expertise in Russia, the environmental assessment of the 25-year period development of this environmental issues' regulation mechanism is presented in a fragmented manner.

The purpose of this study is to analyze the dynamics of changes in the objects of state environmental expertise composition at the federal level in the period from 1995 to 2020. The material used for the study is open data on the conduct of environmental expertise, which is posted on the official websites of "Rosprirodnadzor (Federal Service for Natural Resources Supervision)" and its regional entities [2].

The study applied an approach based on an analysis of changes in Russian Environmental Legislation during the study period in relation to SEE facilities [3]. The latter were divided into 60 types of documentation, which were conventionally divided into 10 major groups:

- "Regulatory and Legal Acts" (RLAs);
- "Integrated environmental permit";
- "Marine activities";
- "Waste related activities";

- "Artificial land plots on water bodies";
- "Mining excavation with waste";
- "Capital construction objects of 1st category";
- "Gas stations, operations with fuels and lubricants in water protection zones in Kaliningrad region";
- "Construction in the buffer zone of the Baikal nature area";
- "Construction in the Arctic zone".

It was divided as well as into combined groups:

- "Regulatory Acts";
- "Maritime Activities";
- "Land Activities".

Within each group, a different number of individual types of SEE objects were observed in different periods, which formed a dynamic structure of the list of SEE objects that is difficult to analyze. The analysis of aggregated groups shows different trends of changes in the composition of SEE objects. Comparison of the dynamics of the number of individual objects for the 3 major areas of SEE (combined group "Regulatory Acts", combined group "Maritime Activities", combined group "Land activities") shows that the 2006's observed trend of smoothing growth of the total number of individual SEE objects is the result of multidirectional processes such as a decrease in the number of objects related to the development of regulatory acts and marine activities, which occur against a steady trend of increasing the number of SEE objects among onshore and inland activities projects.

Over the 1995–2020 period, the greatest changes were in the share of onshore facilities, primarily due to changes in construction facilities and regulation of waste-related activities.

In fact, this is the formation of a structured approach to the selection of SEE objects, in which individual activities from different areas have already been included in the list of SEE objects by 2020.

### **References**

1. Federal Law 174-FZ, dated 23 Nov. 1995. "On environmental expertise. URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_8515](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_8515) (date of reference 15 Feb 2021).
2. Official websites of "Rosprirodnadzor" (Federal Service for Natural Resources Supervision). URL: <https://rpn.gov.ru/> (date of reference 15 Feb 2021).
3. Abrarova Z.F. // Bulletin of science and practice. 2016. Vol. 6 (7). P. 40–45.

## **Классификация и идентификация проб нефти и образцов нефтяного загрязнения природной среды с использованием методов кластерного анализа**

Ю.П. Туров, М.Ю. Гузьяева

*Сургутский государственный университет, 628412,  
г. Сургут, пр. Ленина, 1*

Надежность идентификации источников загрязнения компонентов окружающей среды является одной из фундаментальных проблем настоящего времени при разработке программ рационального природопользования и в контроле режимов эксплуатации месторождений углеводородного сырья. Снижение разведанных запасов нефти и газа требует повышения степени извлечения углеводородов из продуктивных пластов путем оптимизации режимов работы добывающих скважин. Решение всех этих задач связано с необходимостью контроля материального состава образцов извлекаемого углеводородного сырья и загрязненных нефтью проб компонентов природной среды.

Результаты химико-аналитических работ, которые получают с конечной точностью и которые всегда имеют ненулевую погрешность, в указанных областях деятельности не могут быть оценены традиционными методами аналитической химии — путем использования стандартных образцов и построения градуировочных зависимостей. Это является следствием чрезвычайно широкой вариабельности состава образцов нефти различных месторождений и непрерывного изменения состава извлекаемой нефти с течением времени эксплуатации добывающих скважин. Стандартных образцов для контроля динамически изменяющихся объектов с целью их идентификации не может существовать в принципе.

Поэтому для решения задач рационального природопользования и контроля углеводородного загрязнения природной среды предлагается альтернативный подход, в котором для решения задач идентификации и классификации образцов качество информации о материальном составе объектов оценивается не по метрологическим характеристикам отдельных, как правило, многостадийных, аналитических процедур, а формальными многомерными статистическими алгоритмами кластерного анализа.

В данной работе для идентификации продуктивных скважин, из которых были отобраны конкретные образцы извлекаемой нефти, был сопоставлен изомерный состав парафинов в пробах нефти, отобранных из трех добывающих скважин с интервалом в примерно два месяца. Исходные данные представляли собой набор относительных содержаний

*n*-парафинов от  $C_{10}H_{22}$  до  $C_{34}H_{70}$  в 9 исследованных образцах. Обработка этих данных методом кластерного анализа с использованием евклидовой меры для расстояний между характеристиками объектов и алгоритма Варда для пошаговой кластеризации позволила формально разделить все девять проб на три кластера, которые совпали с числом скважин, из которых были отобраны пробы, и оценить разброс характеристик состава как внутри каждого кластера, так и расстояние между центрами построенных кластеров. Рассчитанные позднее для всех этих проб по изомерному составу парафинов и изопреноидов значения геохимических индексов привели к получению аналогичной картины.

Использование процедур кластерного анализа при сопоставлении изомерного состава нескольких классов ароматических углеводородов в пробах разлитой нефти и выветренных образцах нефтяного разлива привели к получению аналогичной картины, и позволили идентифицировать источник загрязнения путем сравнения его материального состава с составом выветренных образцов нефтяного загрязнения.

## Possibilities of Bioethanol Production from Brown Seaweeds

D.V. Shushpanova

*RUDN University, Miklukho-Maklay str. 6, Moscow, 117198, Russia*

Marine seaweeds are attracting great attention all over the world as the main source of 3rd generation biofuels. One of the sources of bioethanol production (the most widely used biofuel in the world — in 2017 its production amounted to 106 billion liters) can be brown seaweeds [1].

To date, research on the production of bioethanol from brown seaweeds is being carried out in the USA, Norway, the Republic of Korea, Ireland, etc. Russia also has a high potential for the production of biofuel from brown seaweeds. The most common type of brown seaweeds in the Russian seas is kelp, the commercial stock of which can exceed 2 million tons [2].

The aim of the work is to analyze the possibilities of producing bioethanol from brown seaweeds from the point of view of feedstocks preliminary processing, technological scheme, the use of strains of microorganisms for the fermentation process, identifying the advantages and disadvantages of the obtained bioethanol and assessing the global warming potential.

It was revealed that the technological scheme for the production of bioethanol from brown seaweeds is similar to the production of bioethanol from lignocellulosic biomass with the difference that instead of lignocellulose, seaweeds contain alginate, mannitol, fucoidan and laminarin. Alginates can account for up to 50 % of the carbohydrate fraction in brown seaweeds and are considered essential for maximum bioethanol recovery during yeast fermentation [3].

The most commonly used hydrolysis method is thermal hydrolysis using dilute acids, the most effective is enzymatic. However, each of these methods has serious drawbacks that do not allow the methods to be used together to increase the yield of bioethanol.

For fermentation of sugars of brown seaweeds, it is preferable to use strains of microorganisms *Saccharomyces cerevisiae* or *Escherichia coli*. These organisms are widespread, they have a low cost, and the bioethanol yield of kelp is practically the same as for terrestrial biomass. Thus, the mass yield of bioethanol during fermentation of *S. cerevisiae* was 0.42 g of ethanol per 1 g of reducing sugar, for corn, the yield of bioethanol is 0.48 g [4], and for waste paper — 0.39 g per 1 g of reducing sugar [5]. The yield of bioethanol with *E. coli* was 0.4 g per 1 reducing sugar. However, the possibility of using marine microorganisms, as having a common developmental environment with seaweeds, is being considered and, probably, they will allow the

release of a larger amount of bioethanol than terrestrial strains of microorganisms.

Potential difficulties for the production of bioethanol from brown seaweeds can be collection of seaweeds (both manual and mechanical), transportation of seaweeds to the processing plant, preliminary seaweeds preparation for the production process (drying, grinding), energy costs and materials to maintain the desired level of the process. Another problem is the uneconomical collection of seaweeds 1–3 months a year (in Russia, the collection occurs from May to October [2]) and the distillation of ethanol from the fermentation broth.

The main advantages derived from the use of seaweed compared to terrestrial lignocellulosic biomass (2nd generation) include the lack of agricultural land use and the lack of resources such as fertilizers, pesticides and water. CO<sub>2</sub> between the production and combustion of bioethanol from seaweeds and the absorption of CO<sub>2</sub> by seaweeds during photosynthesis. It is known that seaweeds have a much higher photosynthetic efficiency (6–8 %) than land biomass (2 %) [6].

Bioethanol derived from brown seaweeds and land-based feedstocks can have significantly different global warming potentials (GWPs), since the GWP of bioethanol is significantly influenced by biomass cultivation and bioethanol production. Bioethanol from seaweed has no carbon debt as no crop area is used for its production. At the same time, the GWP of bioethanol from brown seaweeds is 396 kg CO<sub>2</sub>-eq / year, which is less than the GWP of bioethanol from corn grain (421 kg CO<sub>2</sub>-eq / year), corn hay (307 kg CO<sub>2</sub>-eq / year) or millet (236 kg CO<sub>2</sub>-eq / year) [7].

Considering all the difficulties and potentials of bioethanol production from brown seaweeds, over time, it is possible to transfer research from laboratories to industry and further construction of the first seaweed enterprises producing bioethanol.

### **References**

1. REN21. Advancing the Global Renewable Energy Transition. Renewables 2018 Global Status Report 2018 in Perspective. 2018. URL: [http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2018/06/GSR\\_2018\\_Highlights\\_final.pdf](http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2018/06/GSR_2018_Highlights_final.pdf) (date of access: 18.01.2021).
2. Shushpanova D.V., Kapralova D.O. 2021. IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. Vol. 1079. 072023.
3. Cho Y., Kim H., Kim S.K. Bioethanol production from brown seaweed, *Undaria pinnatifida*, using NaCl acclimated yeast // Bioprocess Biosyst. Eng. 2013. Vol. 36. P. 713–719.

4. Lamb J.J., Sarker S., Hjelme D.R., Lien K.M. Fermentative bioethanol production using enzymatically hydrolysed *Saccharina latissima* // *Advances in Microbiology*. 2018. Vol. 8(05). P. 378.
5. Lee O.K., Lee E.Y. Sustainable production of bioethanol from renewable brown algae biomass // *Biomass and Bioenergy*. 2016. Vol. 92. P. 70–75.
6. Xu X., Kim J.Y., Oh Y.R., Park J.M. Production of biodiesel from carbon sources of macroalgae, *Laminaria japonica* // *Bioresource technology*. 2014. Vol. 169. P. 455–461.
7. Jung K.A., Lim S.-R., Kim Y., Park J.M. Opportunity and challenge of seaweed bioethanol based on life cycle CO<sub>2</sub> assessment // *Environmental Progress & Sustainable Energy*. 2016. Vol. 36(1). P. 200–207.

## **Section 7**

Sustainable Cold Chains

## **Секция 7**

Устойчивые холодильные цепи

## Mathematical modeling of the transfer of pollutant pollutants into the environment

G.D. Kogai<sup>1</sup>, A.L. Those<sup>2</sup>, V.G. Drozd<sup>3</sup>, V.L. Ivanov<sup>4</sup>, T.L. Ten<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Karaganda Technical University, RK, Karaganda

<sup>2</sup> Almaty Academy of Economics and Statistics, RK, Almaty

<sup>3</sup> Karaganda Economic University, Kazpotrebsoyuz, RK, Karaganda

<sup>4</sup> ITMO University, RF, Saint Petersburg

The atmosphere, as the gaseous envelope of the planet, is a particularly complex turbulent and dynamic system in which various dynamic and physicochemical processes are constantly taking place. Mathematical modeling of the nonstationarity and constant variability of both the gaseous and aerosol composition of the atmosphere, as well as the assessment of the impact of atmospheric impurities on the environment, become problematic issues when describing the transport of harmful impurities in the atmosphere.

The turbulent motion of the atmosphere is characterized by characteristic random and chaotic pulsations of the velocity vector at all points of the flow and in all directions, which impart a stochastic character of changes for all ongoing processes. The formation of specific turbulent diffusion and random intensive mixing are a direct consequence of chaotic pulsation movements, which to a greater extent exceed the molecular turbulent viscosity of the gas and a more uniform flow, in comparison with laminar flow, a distribution of the average velocity occurs and even its sharp decrease in the region of the wall, and also a large increase in friction losses [1–8].

*Purpose of work:* For this purpose, it is required to develop models for the dynamic variability of the composition of the atmosphere. At the same time, the applied statistical theory will require preliminary data on the turbulent characteristics of the air flow. Proceeding from this, the most widespread in theory and practice began to receive statistical and phenomenological theories of turbulent transfer, which characterize themselves by scale and intensity, or otherwise, by the kinetic energy of pulsating motion and the rate of transition to energy of disordered processes. Along with the system of equations for the averaged turbulent flow, to describe the processes of turbulent transfer, the system of equations for the balance of pulsation energy is also involved, and additional hypotheses are also accepted to ensure the closure of all equations of the system.

*Main results.* Most often, it is assumed that stochastic motion can be determined only by the turbulence of the flow, and the mutual influence of their particles can be neglected. At the same time, to determine the diffusion behavior and the coefficient of turbulent diffusion of particles, due to the complex turbulent structure of the flow, depending on the parameters of this

flow and the characteristics of its particles, significant simplifying assumptions are made.

The main disadvantage for all diffusion models is the assumption of the homogeneity of the existing field of turbulent pulsations acting in all directions; moreover, the current character of the dispersed phase movement in the investigated turbulent flow is probable stochastic in nature, and all attempts to describe it by deterministic dependencies will significantly reduce the qualitative capabilities of the analysis and the effectiveness of managerial decision-making.

The conducted studies have shown that the use of even a simplified method of probabilistic-stochastic modeling provides good opportunities to build effective numerical algorithms for calculation, thereby significantly reducing the amount of calculations without losing their accuracy.

### **References**

1. Lapin Yu.V., Strelets M.Kh. Internal flows of gas mixtures. M: Science. 1989. 368 p.
2. Belov I.A., Isaev S.A. Modeling turbulent flows. Tutorial. SPb: Publishing house of BSTU. 2001. 108 p.
3. Volkov K.N., Emelyanov V.N. Modeling large eddies in turbulent flow calculations. M.: Fizmatlit. 2008. 368 p.
4. Loitsianskiy LG Mechanics of liquid and gas. M.: Nauka. 1987. 840 p.
5. Monin A.S., Yaglom A.M. Statistical fluid mechanics. The theory of turbulence. Volume 1. SPb.: Gidrometeoizdat. 1992. 694 p.
6. Modeling transport processes in turbulent flows. Textbook / B.B. Ilyushin. Novosibirsk: Novosib. state un-t. Part I. 1999. 155 p.
7. Varaksin A.Yu. Turbulent gas flows with solid particles. Moscow: Fizmatlit. 2003. 192 p.
8. Varaksin A.Yu. Collisions in gas streams with solid particles. Moscow: Fizmatlit. 2008. 312 p.

## **Адаптивное управление — один из важных элементов в повышении энергоэффективности, надежности и снижении энергопотребления объектами ТЭК и ЖКХ**

А.М. Гримитлин, Р.Г. Крумер

Переход на цифровые технологии в управлении государством, объектами промышленности, ТЭК, ЖКХ, сельским хозяйством и т. п., во многом упростит многие процедуры, но, если не исключить возможность несанкционированного доступа в процессы управления и получения конфиденциальной информации, может иметь и ряд негативных последствий. Подобными апокалиптическими примерами кишат многие фильмы-катастрофы.

Как представляется кроме разработки и внедрения отечественного оборудования, программного обеспечения и прочих традиционных мер защиты информационно-вычислительных систем (ИВС), дополнительным средством повышения надежности ИВС может служить переход на децентрализованную распределенную систему управления технологическими объектами.

Разумеется при этом резко возрастают требования к полевым средствам управления (контроллерам) находящимися (как правило) непосредственно у объекта и осуществляющее управление этим объектом в полном объеме, передавая на верхний уровень информацию о ходе технологического процесса и состоянии объекта управления (ОУ). Причем некорректные команды поступающие с верхнего уровня АСУ контроллером должны отклоняться.

По мере роста аппаратных и программных возможностей контроллеров все чаще начинают применять способы адаптивного управления технологическими объектами и интеллектуальной диагностики в различных отраслях промышленности, ЖКХ и, в том числе, для управления оборудованием систем теплогазоснабжения.

Адаптивное управление обеспечивает оптимальное управление объектами во всех режимах его работы, что и обеспечивает повышение энергоэффективности работы этих технологических объектов.

Кроме того адаптивное управление позволяет значительно снизить затраты на наладку объектов управления (ОУ). Например, использование этого способа для управления котлом позволит практически исключить такую трудоемкую и затратную процедуру как теплотехническая наладка.

Существует различные способы методы адаптивного регулирования, когда тем или иным способом определяются коэффициенты ПИД-

закона регулирования, которые в процессе работы объекта могут корректироваться.

Для ряда ОУ, например, в автоматизированных системах теплофикации, теплоснабжения и отопления, «применение традиционных ПИД-регуляторов в цифровых системах управления не очень удобно, так как оптимизация по критерию качества не обеспечивает устойчивость, в связи с чем необходимо использовать оптимизацию с ограничениями, вытекающими из условий устойчивости» [1].

Классические подходы к управлению, например, [2, 3], строятся на том предположении, что можно получить пусть сложную, но точную аналитически заданную форму функциональной зависимости входных и выходных сигналов системы управления с последующим уточнением значений входящих в нее коэффициентов.

При использовании подобных методов, кроме их относительной сложности математического описания и, соответственно, программирования, существует вероятность выхода за пределы допустимых значений параметров объекта управления, из-за отсутствия ограничений, необходимых для обеспечения устойчивости.

Кроме того эти методы не применимы в тех случаях, когда отсутствует математическая модель объекта управления, т. е. к плохо формализуемым объектам.

В [4] предлагается способ адаптивного управления по прецедентам, при котором составляются классы состояний объектов управления с известной реакцией объекта каждого класса. Достижение цели за конечное число управляющих воздействий достигается за счет использование информации о поведении аналогичных объектов управления.

Такой способ требует большой библиотеки прецедентов, кроме того существует большое количество однотипных объектов управления, параметры которых и реакция на внешние воздействия отличаются друг от друга.

Например, параметры котлов изготовленных по одним и тем же чертежам отличаются. К таким объектам можно отнести и различные здания, построенные по одному проекту и имеющие различные характеристики.

Для адаптивного управления плохо формализуемыми объектами имеющими значительную инерционность, т. е. скорость изменения выходного параметра при изменении управляющего воздействия много больше времени обработки (измерения) входных сигналов контроллера и формирования им управляющего воздействия, предлагаются способы адаптивного управление [5] и [6].

### Список литературы

1. Чистович С.А, Харитонов В.Б. Автоматизированные системы теплофикации, теплоснабжения и отопления. СПб.: АВОК Северо-Запад. 2008.
2. Я.З. Цыпкин. Адаптация и обучение в автоматических системах. Москва: Наука. 1968.
3. Н.Г. Загоруйко. Прикладные методы анализа данных и знаний. Новосибирск: ИМ СО РАН. 1999.
4. Л.Е. Карпов, В.Н. Юдин. Адаптивное управление по прецедентам, основанное на классификации состояний управляемых объектов. Труды Института системного программирования РАН. 2007.
5. Крумер Р.Г., Гримитлин А.М., Крумер Л.Р. Патент РФ на изобретение № 2667408 «Способ адаптивного регулирования теплопотребления здания», 27.09.2018.
6. Крумер Р.Г., Гримитлин А.М., Крумер Л.Р. Патент РФ на изобретение № 2612084 «Способ адаптивного управления плохо формализуемым объектом», 24.03.2016.

## **Особенности национального энергосбережения**

А.М. Гримитлин, Р.Г. Крумер

Начиная с середины прошлого века в СССР, а затем и в Российской Федерации, неоднократно на разных уровнях принимались программы по энергосбережению и повышению энергоэффективности в различных областях отечественной экономики. Тем не менее, по сообщениям ряда экспертов, удельное потребление энергии на единицу продукции попрежнему в разы больше, чем в развитых странах, хотя задачи, поставленные в программах, судя по отчетам, в основном выполнены.

Как представляется причин сохранения такого «отставания» несколько [1–2].

Во-первых в отечественной промышленности велика доля добывающих предприятий и предприятия «первого передела»: металлургические, обогатительные и т. п. Около 25 % производимой электроэнергии потребляется предприятиями добычи полезных ископаемых и их переработки.

Мы добываем огромное количество природного газа. По мнению некоторых экспертов около 15 % от добываемого объема газа затрачивается на обеспечение его транспортировки. Нефть тоже транспортируют по нефтепроводам и, соответственно часть добытой нефти расходуется на доставку продукта к потребителю.

Очевидно, что если сравнивать энергоёмкость валового продукта различных государств, то получить объективные результаты можно только это осуществлять с учетом особенностей экономики сопоставляемых стран.

Во-вторых, определенную роль в результатах сравнения энергоёмкости валового продукта играет методика приведения различных энергоносителей к условному топливу (у.т.), принятая Госкомстатом.

Постановлением Госкомстата №46 от 23.06.1999 г. и действующего в настоящее время установлены коэффициенты пересчета топлива и энергии в килограммы условного топлива, приведенные в столбце 3 таблицы 1.

При этом переводной коэффициент для электроэнергии установлен с учетом КПД тепловой электростанции. Причем такой же коэффициент сохраняется и для АЭС и ГЭС.

В столбце 4 приведены переводные коэффициенты согласно существующих систем единиц, в том числе согласно международной системе единиц — СИ.

Таблица 1

Топливо, энергия	ед. изм.	Коэффициенты пересчета в килограммы условного топлива	
		Постановление Госкомстата	теплота сгорания 7000 ккал/кг.
		3	4
1	2	3	4
Газ горючий природный (естественный)	м <sup>3</sup>	1,154	1,170
Мазут топочный	кг	1,370	1,370
Топливо дизельное	кг	1,450	1,450
Электроэнергия	кВт·ч	0,344	0,123
Теплоэнергия	Гкал	148,6	143,0
Гидроэнергия	кВт·ч	0,344	0,123
Атомная энергия	кВт·ч	0,344	0,123

Согласно [3], ключевые методологические отличия построения энергобалансов в российской и международной практике заключаются в том, что МЭА, ООН, Евростат используют метод запаса физической энергии — по нормальному значению физической энергии в первичной форме (столбец 4 таблицы 1), а Госкомстат — метод частичного замещения энергии: по гипотетическому количеству горючего топлива для выработки электроэнергии на ТЭС.

Представляется, что методика, используемая международными организациями справедлива, хотя бы с точки зрения закона сохранения энергии.

Действительно, например, газотурбинная ТЭС с КПД 45 % потребив 100 000 м<sup>3</sup> природного газа (или 117 т.у.т.) выработает 427,95 МВт·ч (или 52,6 т.у.т по системе СИ, или 147,2 т.у.т. согласно постановлению Госкомстата). Таким образом, используя переводные коэффициенты из столбца 3 таблицы 1 получаем, что, сжигая 117 т.у.т получим 147,2 т.у.т., то есть КПД такого преобразования —  $\approx 126\%$  — типичный вечный двигатель. Если рассматривать обычную ТЭС, то ее КПД, при таких переводных коэффициентах  $\approx 100\%$  — тоже новое слово в энергетике.

Причем переводной коэффициент для электроэнергии, произведенной на АЭС и ГЭС, на которых в России вырабатывается порядка 33 % электроэнергии, такой же, как и для ТЭС.

Представьте ситуацию, при которой в России и, например, в Финляндии потребитель получил от возобновляемых источников электроэнергии одинаковое количество МВт. Но при переводе МВт в у.т. согласно методике Госкомстата у нас будет израсходовано в 2,8 раза больше. Вряд ли такое сравнение можно назвать объективным.

Таким образом, получается, что при сравнении энергоемкости валового продукта России и зарубежных стран наши данные по электроэнергии при переводе в условное топливо завываются в 2,8 раза, по тепловой в 1,04 раза.

Очевидно, что сравнивать можно только показатели, определяемые по единой методике.

В-третьих. Как известно, «теория становится материальной силой, как только она овладевает массами». Перефразируя этот афоризм классика можно сказать, что реализация программы экономии энергии и повышение энергоэффективности будет успешна, если это будет выгодно всем участникам процесса — от генерации до потребления.

Вроде бы в экономии и повышении энергоэффективности должен быть заинтересован, в первую очередь, потребитель энергоресурсов: меньше потребляешь — меньше платишь! К сожалению так бывает далеко не всегда. Генерирующие компании, пользуясь отсутствием конкуренции, часто включают в договоры на поставку штрафные санкции в случае если потребитель не выберет договорной объем энергоресурса. В результате потребитель, понеся затраты на мероприятия по повышению энергоэффективности и сэкономив энергоресурс, должен заплатить штраф. Размер штрафа может превысить даже размер экономии.

Поставщик энергоресурсов должен обеспечить договорные объемы, поэтому несет соответствующие затраты. Эти затраты необходимо компенсировать и еще получить прибыль. Если потребитель этот энергоресурс не купит, то поставщик понесет убытки. Потребитель энергоресурса не может при заключении договора на поставку точно спрогнозировать длительную потребность, так как вмешиваются неопределенные факторы: температура окружающего воздуха, потребность в выпускаемой продукции, природные катаклизмы. Сегодня добавилась еще и пандемия.

Одним из способов устранения такого противоречия между интересами потребителя и поставщика энергоресурса может стать разделения тарифа на энергоносители на две части — за присоединенную мощность и за конкретно потребленную энергию. Такой опыт есть у поставщиков электроэнергии. Кроме того участники этого рынка должны иметь возможность оперативной корректировки сведений о потребности. Что, очевидно и будет реализовано в процессе цифровизации экономики.

Представляется, что учет вышеперечисленных моментов позволит более детально сформулировать задачи энергосбережения и повышения энергоэффективности в Российской Федерации, а также разработать корректные методики их реализации.

**Список литературы**

1. Велихов Е.П. Ущербность страны «первого передела» // Экономика и жизнь. № 17 (923). 2008.
2. «Электроэнергетика России: ключевые цифры и анализ показателей функционирования за 2014 год», доклад рук. Яркин Е.В. д.э.н, профессор НИУ «Высшая школа экономики», Институт проблем ценообразования и регулирования естественных монополий.
3. «Совершенствование статистики по топливноэнергетическим балансам в соответствии с методологией Евростата», С.Н. Слободяник, к.э.н., НИУ ВШЭ, 2018 г. URL:  
[https://rosstat.gov.ru/storage/subblock/subblock\\_document/2018-06/28/prez\\_slobodnjak.pdf](https://rosstat.gov.ru/storage/subblock/subblock_document/2018-06/28/prez_slobodnjak.pdf)

## **Оценки возможности и масштабов увеличения эффективных теплофизических свойств неоднородных систем с фазовыми переходами жидкость — твёрдое тело**

А.Ю. Горбунова, Ю.П. Заричняк, В.Ю. Захарова, В.А. Кораблёв,  
Д.П. Волков, Н.В. Пилипенко

*Национальный исследовательский университет ИТМО,  
Россия, 197101, Санкт-Петербург, Кронверкский пр., 49*

**Ключевые слова:** неоднородные системы с фазовыми переходами, теплофизические свойства теплоёмкость, теплопроводность, теплопроводность.

Снижение количества потребляемой для производства продуктов и жизнеобеспечения граждан энергии является важной задачей для стран мира. Россия входит в тройку стран с наиболее затратным энергопотреблением. Энергоемкость ВВП в три раза выше, чем у мировых лидеров из стран G7. В стратегии развития РФ (и федеральном законе) по повышению энергетической эффективности экономики, необходимо снижать энергоемкость валового внутреннего продукта не менее, чем на 1,5 % в год [1], в том числе за счёт повышения эффективности систем аккумулирования и отдачи тепловой энергии.

Данная работа посвящена оценкам возможности и масштабов повышения энергоэффективности систем с фазовыми переходами жидкость-твёрдое тело. В качестве накопителей энергии предлагается использовать неоднородные системы вида парафин + высокотеплопроводный порошковый наполнитель либо пенокаркас из высокотеплопроводного металла с сообщающимися порами, заполненными парафином. Выбор вида наполнителя и его объёмной доли  $V_2$  зависят от оптимальной величины комплексного параметра температуропроводности  $a_{ef} = \lambda_{ef}/(c_{ef}, \rho_{ef})$ , определяемого соотношением эффективной теплопроводности  $\lambda_{ef} = f(\lambda_1, \lambda_2, v_2)$  матрицы с наполнителем, свойств матричного компонента парафина (удельной теплоёмкости  $C_1$ , теплопроводности  $\lambda_1$  и плотности  $\rho_1$ ) и высокотеплопроводного наполнителя ( $C_2, \lambda_2, \rho_2$ ).

Для определения комплексного параметра температуропроводности  $a_{ef}$  необходимо проанализировать процесс накопления-отдачи тепла в неоднородной системе парафиновая матрица с порошковым наполнителем, представив её в виде неоднородной системы определенной структуры [2, 3]. Рассмотрены три модели структуры неоднородных систем с частицами высокотеплопроводного наполнителя: модель с неконтактирующими частицами, модель

свободной засыпки частиц наполнителя, модель полимерного компаунда. Четвёртая модель описывает пенокаркас из высокотеплопроводного металла с сообщающимися порами, заполненными парафином [3].

Оценив диапазон возможного изменения теплофизических свойств  $\lambda_{ef}$ ,  $c_{ef}$ ,  $\rho_{ef}$ ,  $a_{ef}$  [4] можно выбрать оптимальные значения параметров в необходимом температурном диапазоне эксплуатации, разработать оптимальную программу экспериментальной проверки аналитических оценок и рекомендации к практическому использованию результатов исследований

*Работа выполнена при поддержке гранта Университета ИТМО №620150.*

#### **Список литературы**

1. Сайт правительства РФ. Основные документы по энергосбережению и энергоэффективности [Электронный ресурс]. URL: <http://government.ru/docs/32368/>.
2. Bondareva N.S., Buonomo B., Manca O., Sheremet M.A. // Applied Thermal Engineering. 2018. Vol. 144. P. 972–981.
3. Xiao X., Zhang P., Li M. // International Journal of Thermal Sciences. 2014. Vol. 81. P. 94–105.
4. Pietrak K., Wisniewski T. // Journ. of Power Technologies. 2015. Vol. 95. P. 14–24.

## **Исследование эффективности теплоаккумулирующей системы на основе веществ с фазовым переходом для космической техники**

М.И. Волкович, В.Ю. Захарова, В.А. Кораблев

*Национальный исследовательский университет ИТМО,  
Россия, 197101, Санкт-Петербург, Кронверкский пр., 49*

**Ключевые слова:** энергоэффективность, тепловой аккумулятор, вещества с фазовым переходом, космический аппарат.

Надежность и устойчивость энергоснабжения — важнейшие показатели современных энергетических систем. Необходимость повышения этих параметров — актуальная задача, которую необходимо решать с учетом непрерывного мирового роста потребления энергии, ограниченности ресурсов и перехода к возобновляемой энергетике. В последние годы быстрыми темпами растут инженерные и научные исследования в области разработки технологий накопления энергии [1]. Один из перспективных способов хранения энергии — применение аккумуляторов теплоты на основе различных веществ с фазовыми переходами (ВФП) [2, 3].

В работе описывается экспериментальное и расчетное исследование эффективности теплоаккумулирующей системы термостабилизации космической техники посредством применения веществ с фазовым переходом «твердое тело-жидкость». Аккумулятивование тепловой энергии позволяет стабилизировать температуру прибора в периоды максимального тепловыделения, а также предотвратить переохлаждение конструкции за счет скрытой теплоты плавления данного класса веществ [4]. В связи с непрерывно меняющимися энергетическими параметрами тепловой режим космической установки не является стационарным.

Выбор правильного теплоаккумулирующего материала жизненно важен, так как он напрямую влияет на тепловые характеристики теплоаккумулирующих устройств. В качестве вещества с фазовым переходом рассматривается стеариновая кислота ( $C_{18}H_{36}O_2$ ), характеризующаяся химической стойкостью и экономической доступностью [5].

В качестве теплоносителя выступает вода ( $H_2O$ ). Устройство теплового аккумулятора представляет собой систему тонких трубок цилиндрической формы, пронизывающих весь объем плавящегося вещества. Проведен ряд вычислительных экспериментов по моделированию работы испытательного стенда, исходя из которых, получена удобная для

инженерного прогнозирования протекания процесса зависимость, определяющая распределение температуры теплоносителя  $t_1$  по времени. Также математическая модель позволяет определить приращение радиуса границы фазового перехода  $r_2$  в плавящемся веществе по мере увеличения температуры жидкости.

Анализ соотношения экспериментальных и расчетных данных позволяет оценить пригодность математической модели для расширения диапазона рабочих температур исследуемых веществ, а также определить величину нестационарного теплового потока.

#### **Список литературы**

1. Кубарьков Ю.П., Мурзакова И.М., Кулагина Т.А., Анисимов А.И. // *Инновационные процессы в науке и образовании*. 2019. Т. 1. С. 92–95.
2. Nazir H., Batoool M., Bolivar Osorio F.J., Isaza-Ruiz M., Xu X., Vignarooban K., Phelan P., Inamuddin, Kannanai A.M. // *International journal of Heat Mass Transfer*. 2019. Vol. 129. P. 491–523.
3. Бараненко А.В., Кузнецов П.А., Захарова В.Ю., Цой А.П. // *Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики*. 2018. Т. 18. № 6. С. 990–1000.
4. Zeinelabdein R., Omer S., Gan G. // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2018. Vol. 82. P. 2843–2868.
5. Cabeza L.F., Castell A., Barreneche C., De Gracia A., Fernández AI. // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2011. Vol. 15, Issue 3. P. 1675–1695.

## **Global allergens and refrigeration alarmism**

O.B. Tsvetkov, V.V. Mitropov, Yu.A. Laptev,  
I.V. Baranov, M.A. Kustikova

*ITMO University, Kronverksky Pr. 49, bldg. A,  
Saint Petersburg, 197101, Russia*

The refrigeration, air-conditioning and heat pumping industries are essential sectors of the world economy. The list of the major synthetic refrigerants characterized by the nonflammability, low toxicity, good thermophysical properties and stability are reviewed. The HCFCs and fully halogenated CFCs refrigerants are responsible for the destruction of stratospheric ozone. The conversion from the CFCs and HCFCs has been considered as an opportunity to develop the chlorine free working fluids — hydrofluorocarbons (HFCs).

A set of hydrogen — containing fluorocarbons with the zero ozone depletion are currently the focus of efforts by the chemical producers. The paper details the effects of two allergens — the global climate change and the depletion of stratospheric ozone due to chlorofluorocarbons and hydrofluorocarbons. This situation has been estimated as sufficient to cause alarm. The urgent task today is to develop harmless refrigerants with zero ozone depletion potential and a minimal greenhouse effect potentials. Between candidates for the replacement of CFCs, HCFCs and HFCs has been estimated hydrofluoroolefins (HFOs) which have an short atmospheric lifetime and the ultra low global warming potentials. The idea to synthesize the ideal working fluid as shown in this paper after about hundred years of the experience seems not realistic. On the other hand between the natural refrigerants the excellent working fluid is ammonia. The paper details hydrocarbons such as propane, isobutene, suggested as refrigerants. The carbon dioxide can be used to expand a potentially limited set of natural working fluids. The natural compounds are excellent refrigerants but the toxicity, flammability, high pressure limited their more large commercial realization. It's shown that it has crucial for refrigeration industry to design and manufacture more intensive refrigeration equipment with natural refrigerants to meet endless mandatory regulation and deadlines.

## Обоснование радиуса конкурентного применения сжиженного природного газа

О.Н. Медведева, С.Д. Первалов

*Саратовский государственный технический университет  
имени Ю.А. Гагарина, г. Саратов*

Экономическая эффективность функционирования системы снабжения альтернативным топливом, в качестве которого рассматривается сжиженный природный газ (СПГ), определяется оптимальным планированием процесса доставки до конечных потребителей, удаленных от магистральных газопроводов, в соответствии с графиком поставок. Масштабы использования сжиженных природных газов специфичны для конкретного региона потребления. Как известно, наиболее эффективным средством доставки газа в сжиженном виде является использование контейнер-цистерн, отличающихся как объемами перевозимого СПГ, так и типами транспортных средств, обеспечивающих его транспортировку по дорогам с различным покрытием. Цистерны-транспортники, представляющие собой, как правило, двустенные резервуары с вакуумированным кольцевым пространством, полностью или частично заполнены изоляционным материалом, что позволяет сократить потери продукта. По исследованиям авторов, улучшить эксплуатационные возможности цистерн и уменьшить теплопередачу к перевозимому газу возможно при использовании объема сосуда для перевозки сжиженного природного газа и транспортировки хладоносителей, используемых в цикле сжижения (патент №115309) [1].

Транспортировка природного газа в сжиженном состоянии значительно более экономична по сравнению с трубопроводным транспортом. Это относится как к перевозкам больших объемов газа на дальние расстояния различными видами транспорта, так и при доставке малых объемов СПГ на небольшие расстояния. При этом преимущество крупнотоннажной транспортировки газа в сжиженном виде начинается с расстояний до потребителей свыше 2500–3000 км. Основная доля затрат приходится на погрузочно-разгрузочные работы, кроме этого СПГ требует более значительных капитальных вложений в инфраструктуру на начальном этапе. Создание инфраструктуры СПГ при малотоннажной транспортировке будет выгодно в тех случаях, когда строительство газопровода экономически невыгодно (из-за сложного рельефа местности, значительной удаленности потребителя от источника, потребителю требуется газ в небольших объемах и др. обоснованных причин). Выбор варианта доставки газа в каждом конкретном случае проводится путем сравнительного технико-экономического анализа [2, 3].

В качестве основы для эффективного решения поставленной задачи выступает разработка оптимальных моделей построения транспортно-обслуживания, которые позволят сформировать рациональные маршруты и графики перевозки сжиженного газа, и обеспечить, в конечном итоге, повышение производительности и снижение объема транспортного ресурса.

Количество газа, перевозимого в течение года одной автомашиной, определяется следующими факторами: грузоподъемностью автомашины; радиусом перевозок; организацией труда; принятой схемой распределения газа.

В соответствии с этим в работе рассматриваются следующие возможные варианты:

а) межгородской транспорт газа, когда завод по производству СПГ и потребители находятся в разных населенных пунктах;

б) внутригородской транспорт газа, когда завод и потребители газа находятся в одном и то же городе;

в) одно и двухсменная работа;

г) возможность продолжительности рейса для условий межгородского транспорта газа в течение 16, 24 и 32 часов, т. е. соответственно 2, 3, 4 дня;

д) работа автотранспорта при лучших (когда слив газа из автоцистерны производится полностью в одну подземную емкость) и худших (когда из автоцистерны производится слив части газа) условиях слива.

В работе предложено решение частной задачи по снабжению потребителей сжиженным природным газом, разработана логистическая модель оптимального функционирования системы по комплексу: завод по производству СПГ — потребитель. По результатам расчетов предложены рекомендации по оптимальному радиусу до-ставки газа и оптимизации транспортной составляющей.

### **Список литературы**

1. Цистерна для транспортировки сжиженного природного газа. Пат. RU 115309 U1: МПК В60Р 3/22 / Медведева О.Н., Фролов В.О.; заявитель и патентообладатель СГТУ. № 2011130459/11; заявл. 21.07.2011; опубл. 27.04.2012, Бюл. № 12. 15 с.
2. Рачевский Б.С. Нетрадиционный способ газификации // Газовая промышленность. 1999. № 6. С. 55–56.
3. Ишмуратова М. Российский мало- и среднетоннажный СПГ. Региональная серия: Кузбасс, Якутия, Дальний Восток, Сахалин, Черное море. Москва: Центр энергетики Московской школы управления СКОЛКОВО. 2019. 56 с.

## Features of the conditions for the use of refrigeration units on carbon dioxide

A. Khrekin, I. Baranov

*ITMO University, Kronverksky Pr. 49, bldg. A,  
Saint Petersburg, 197101, Russia*

Due to the significant role in the destruction of the ozone layer, the previously widely used refrigerants (chlorofluorocarbon CFCs) were mostly replaced by hydrofluorocarbons and hydrochlorofluorocarbon refrigerants (HFCs and HCFCs) [1–4]. However, they have also recently come under regulation due to their high global warming potential (GWP). For example, the previously widely used R-134a refrigerant (CFC) has a GWP value of 1300, which means that kg of R-134a is equivalent to 1300 kg of CO<sub>2</sub> when viewed its contribution to global warming. Based on this, the possibility of using other refrigerants with a low GWP value was studied. Two suitable candidates are propane and CO<sub>2</sub>. Using CO<sub>2</sub> is potentially attractive because it is toxic and combustible. However, its use requires a higher value of the working pressure than HCFCs, which toughens the requirements for materials that are used as gaskets and seals.

Speaking about the cost of refrigerants, which are currently actively used in industry, namely HFCs, it is much higher in comparison with natural ones. Moreover, there is an increase in the cost of artificial refrigerants, which makes their use less appropriate. Indicators of ozone-depleting potential and global warming potential under the current provisions of the Montreal Protocol is one of the keys, since these values govern the possibility of using refrigerants in the Russian Federation, which has assumed the obligations of this protocol. Thus, for a natural CO<sub>2</sub> refrigerant, two of these indicators are equal: ODP = 0; GWP = 1. Natural refrigerants are also explosion-proof and are characterized by relative non-toxicity. However, it is worth noting that the operating pressures in systems where CO<sub>2</sub> is used are higher than those of plants operating on HFCs and HCFCs. This fact requires a special approach to the design of these systems and special training of personnel who will maintain and operate these installations. This means that in order to change the pressure per unit of the measured value, it is necessary to change the temperature by a lower value, in contrast to artificial refrigerants. As a result, minor pressure losses are less pronounced and acceptable with respect to concerning CO<sub>2</sub> than in other refrigerants.

### References

1. Adoption of the Paris agreement United Nations Conference of the Parties / Twentyfirst session, Paris, 30 November to 11 December 2015. 32 p.

2. Pròtocol de Kyoto // Bull. IIF. 1998. Vol. 78. № 2. P. 6–13.
3. EN 378 European Standard «Refrigeration systems and heat pumps. Safety and environmental requirements». 2012.
4. Molina M.J., Rowland F.S. Stratospheric sink for chlorofluoromethanes; chlorine atoms catalyzed destruction of ozone // Nature. 1974. Vol. 249. P. 810–814.

## **Эффективность и дальнейшие перспективы развития спирального компрессора в аспекте решения вопросов экологической безопасности**

В.А. Пронин, А.В. Кованов, Д.В. Жигновская, В.А. Цветков

*Национальный исследовательский университет ИТМО,  
Россия, 197101, Санкт-Петербург, Кронверкский пр., 49*

Сегодня спиральная технология успешно используется в компрессорах, детандерах и вакуумной технике. Особо широкое распространение получил спиральный холодильный компрессор (СПК). Благодаря преимуществам он не только упрочил свои позиции, среди винтовых и поршневых компрессоров, в холодильных машинах (ХМ) средней производительности, но и потеснил их в этом сегменте. При лучших массогабаритных характеристиках превосходство холодильного коэффициента СПК достигается с уменьшением разности температур конденсации и кипения. Т. е. его применение наиболее выигрышно в средне-температурных и особенно в высокотемпературных ХМ. Объяснить преимущества СПК можно, сравнивая термогазодинамические процессы рабочего цикла машин объёмного принципа действия [1–5].

Между тем сегодня некоторые положения вещей на рынке компрессорного оборудования могут измениться, это связано с регулированием применения хладагентов, согласно принятой Кигалийской поправки. Т. е. возникают новые условия к дальнейшей эксплуатации и особенно к проектированию холодильного оборудования. Уже с 1 января 2021 года Кигалийская поправка, вступила в силу в Российской Федерации (РФ), согласно которой сокращение использования HFC (ГФУ) должно произойти в нашей стране в течение следующих 14 лет. При чём есть основания полагать, что рентабельность их использования снизится гораздо раньше.

Таким образом, можно выделить ближайшую краткосрочную и долгосрочную перспективы развития спирального компрессора, как и другого холодильного оборудования.

Так в настоящее время мы вынуждены решать вопрос замены R22, который ещё остаётся во многих холодильных установках, при этом оборудование с применением натуральных хладагентов, только проходит «полевые» испытания. В это время стоимость широко используемых HFC (ГФУ) хладагентов, по данным статистик, имеет тенденцию к росту, а сама разница в цене хладагентов сокращается. При этом, анализируя ситуацию и взвешивая нормы европейского регулирования «F-газ», нормы Ростехнадзора, можно предположить, некое перераспределение приоритетов использования HFC (ГФУ)

хладагентов в ближайшей краткосрочной перспективе. Например, R410A может быть востребован в РФ, не только в высокотемпературных системах, но и в среднетемпературных холодильных установках. R410A имеет сравнительно не высокий GWP (ПП), высокую удельную холодопроизводительность, не горюч, не взрывоопасен, что при сопоставимости цен, расширяет границы его использования в сегменте ХМ средней производительности, где широко применяется СПК. Учитывая это, компании производители идут по пути инноваций в отношении спирального компрессора для его работы применительно на R410A. Однако следует принимать во внимание и вероятность использования ретрофитов.

В более долгосрочной перспективе развитие и использование спирального компрессора, в частности, зависит от возможности применения с новыми хладагентами, которые придут на смену HFC (ГФУ). Так уже сегодня на примере компании Copeland можно увидеть наиболее вероятную перспективу работы СПК на R744 (CO<sub>2</sub>) средней производительности и на R290 (пропан) в холодильных машинах малой производительности. Развитие этого направления потребует новых проектных решений и взаимодействия между производителями и исследователями. Актуальность самих исследований может быть выражена в области совершенствования методик расчёта направленных на повышение объёмных и энергетических характеристик спирального компрессора.

### **Список литературы**

1. Пронин В.А. // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Холодильная техника и кондиционирование. 2014. № 1(14). С. 9.
2. Ефремов С.Н., Мальчиков А.И., Андриец А.Г., Аблаев А.Р. // Вісник СевНТУ. Серія: Механіка, енергетика, екологія. 2014. Вип. 147. С. 124–127.
3. Данфосс // Холодильная техника. 2018. №4. С. 6–7.
4. Битзер [Электронный ресурс]. URL: [http://bitzer.ru/novaya\\_seriya\\_spiralnih\\_kompressorov\\_bitzer\\_ORBIT\\_8](http://bitzer.ru/novaya_seriya_spiralnih_kompressorov_bitzer_ORBIT_8) (дата обращения: 15.02.2021).
5. Copeland [Электронный ресурс]. URL: <http://www.copeland.com.ua/pdf/instruction-manual-zo-co2.pdf> (дата обращения: 15.02.2021).

## **New thermal comfort indices based on iso-comfort arrays**

A.B. Sulin, T.V. Ryabova, I.N. Sankina, A.A. Nikitin, S.S. Muraveinikov

*ITMO University, Kronverksky Pr. 49, bldg. A,  
Saint Petersburg, 197101, Russia*

Due to the increasing demands for thermal comfort in the world, there is an increase in energy consumption by heating, ventilation and air conditioning (HVAC) systems. Therefore, an urgent task is to find such combinations of microclimate parameters that lead to the minimum energy consumption of HVAC systems [1–3].

The ISO 7730 standard proposes PMV-PPD indices for assessing thermal comfort. On the basis of this standard, we have developed the iso-comfort parameters arrays, which are tables of the comfortable room air temperature as a function of the average radiation temperature and air velocity. The arrays are designed for rooms of various comfort classes, metabolic levels and thermal resistance of clothing.

On the basis of the iso-comfort parameters arrays and the empirical expression for an equivalent temperature corresponding to the same heat sensations, we have proposed a new thermal comfort index "equivalent comfortable temperature". This index is approximated as a function of metabolism and thermal resistance of clothing for rooms of three comfort classes (patent RU 2 682 872).

On the basis of the iso-comfort parameters arrays the weight coefficients have been adjusted to calculate the operating room temperature as a function of the air temperature and the average radiation temperature. The functional dependences are obtained for calculating the operational temperature with a higher accuracy than according to the methodology given in GOST 30494 and ANSI/ASHRAE Standard.

Calculations of the energy indicators of HVAC systems using the proposed indices confirmed the possibility of increasing efficiency the systems and, at the same time, increasing thermal comfort.

### **References**

1. ANSI/ASHRAE Standard 55-1992, Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy, Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating, and Air conditioning Engineers, Inc.
2. State Standard R ISO 7730–2009. Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal criteria of comfort. Moscow: Standartinform. 2011. 38 p. (in Russian).
3. Menchaca-Brandan M.A., Espinosa F.A. D., Glicksman L.R. // Energy and buildings. 2017. Vol. 138. C. 530–538.

## **Analysis of the heat recovery potential in the classroom**

A.A. Nikitin, V.A. Nikitina, A.B. Sulin, T.V. Ryabova

*ITMO University, Kronverksky Pr. 49, bldg. A,  
Saint Petersburg, 197101, Russia*

Buildings consume huge amounts of energy, especially the heating systems. Usually the heated exhaust air from the premises is simply thrown out into the external environment, onto the street. In this work, such air is considered as a secondary energy resource formed from the internal loads of the room. The study of the dynamics of changes in the power of internal loads and their influence on the operation of the heat exchanger installed on the exhaust was carried out using the Energy Plus software package. The simulation result showed the utilization capacity of the heat of the exhaust air as an energy resource. The recovered heat from the exhaust air can be used to partially reduce the energy consumption by the heating system [1].

The purpose of this work is to study the connection between the internal loads of the building and the capacity of the installed heat exchanger at the exhaust.

An example of heat recovery is Stockholm Central Station [2], where about 250,000 people pass through every day, and the energy generated from them is used to heat a 17-story office building. The created system converts excess body heat into hot water through heat exchangers in the ventilation system. And then the heated water is supplied to the heating system of the office building. Presented heat recovery system cannot fully heat the building, but it helps to reduce the energy consumption of the building by 10 % [2].

The Energy Plus software package was used to analyze the heat recovery process. For the calculation, 2 rooms were chosen, the Daikin laboratory and the classroom 4212, which are located on the 2nd floor of one of the buildings of ITMO University. Program uses the heat-transfer properties of the building envelope, solar radiation, indoor air conditions, as well as infiltration through window area. To analyze the behavior of thermal energy, the heat exchanger was built into the model, which cools the exhaust air to 5 °C. Heat capacity that can be extract from the exhaust ventilation system depends on the number of people, equipment, lighting, solar radiation and infiltration. The values of these parameters are changing dynamically. To analyze the heat rate, it is necessary to use energy modeling methods using the Energy Plus software package. Using the constructed mathematical model, the maximum power of the heat recovery system in the classroom was calculated equal to 4 840 W, and 4 630 W in the laboratory during the day. And for a whole month, we can get 80,546 kW of heat [3–4].

The interaction between the power of the heat exchanger and the dynamically changing loads inside the building spaces were analyzed. The obtained results showed the potential of heat recovery, which is often not used in the development and design of engineering systems of buildings and structures. It was found that at a relative humidity in the range from 10 to 40 %, from 3,500 W to 5,000 W of heat is generated. Such heat generation refers to the winter period of the year, as well as the inter-season. And in this exact time of the year that heat recovery is needed, which will be aimed at reducing energy consumption by the building heating system.

### References

1. Abergel T., Dean B., Dulac J. Towards a zero-emission, efficient, and resilient buildings and construction sector: Global Status Report 2017. UN Environment and International Energy Agency: Paris, France. 2017. Vol. 22.
2. Chermaine Lee. From a stuffy metro station in Paris, to a large shopping mall in the United States, human body heat is helping to lessen the need to burn fossil fuels for warmth [Electronic resource]. Available at: <https://www.bbc.com/future/article/20200908-the-buildings-warmed-by-the-human-body>.
3. Documentation E. Engineering reference — EnergyPlus 8.5. The Reference to EnergyPlus Calculation. 2019.
4. Sherman M.H., Grimsrud D.T. Infiltration-pressurization correlation: Simplified physical modeling. 1980.

## **Application of multivariate analysis in technical systems**

N.E. Shishova, I.A. Arkharov, E.S. Navasardyan

*Bauman Moscow State Technical University (National Research University), 2-nd Baumanskaya Str. 5, Moscow, 105005, Russia*

Prediction of reliability and determination of the most probable causes behind the component's failures in a technical system is carried out at the stage of designing and improving models in order to further optimize structural elements. We have proposed a rotary type microcryocooler as a technically complex system.

The review part of the report considers methods for predicting the lifetime of rotary type microcryocoolers at the stage of testing and improving models of various manufacturers: Thales LAS (France) and Ricor (Israel), BAE Systems (Great Britain) [1–4].

The main part presents the provisions of the use of multivariate analysis for the calculation, design and optimization of structural elements of the developed technical system with a simultaneous assessment of the reliability of units and parts included in the assembly. This analysis is based on finding the most loaded components of the technical system, determination of the degree of influence of various multidirectional factors that have the greatest impact on the efficiency indicator (reliability, life time and other factors), and further optimizing the components of the system [5].

A quantitative and qualitative assessment of the degree of influence of various independent factors on the selected performance indicator is carried out using the statistical method of multivariate analysis of variance ANOVA (Analysis of Variations). This allows to determine the factors that have the greatest impact on a frequent cause of failure under given operating conditions [6].

This report presents the application of multivariate analysis to determine the degree of influence of independent factors on the life time of the rotary the microcryocooler with the aim of further optimizing the most loaded unit. The analysis includes the formation of a block of initial data for multivariate ANOVA based on testing of microcryocooler's samples by four independent factors (rotor speed, ambient temperature, filling pressure, the size of the radial gap in the piston-cylinder pair of the discharge cavity).

In the conclusion of the report, the authors conclude that it is advisable to use multivariate analysis.

In the end of the report, the authors conclude that it is advisable to use multivariate analysis to predict the resource of technical systems. The application of this analysis makes it possible to identify the factors that have the

greatest impact on the efficiency indicator, the reliability of the technical system and enable to design technical systems for the given operating conditions at the design stage.

### References

1. Vainshtein I., Baruch S., Regev I., Segal V., Filis F., Riabzev S. // Proceeding of the SPIE, Tri-Technology Device Refrigeration (TTDR) III. Vol. 10626. 2018. <https://doi.org/10.1117/12.2309549>.
2. Cauquil J.M., Seguineau C., Vasse C., Raynal G., Benschop T. // Proceedings of SPIE, Tri-Technology Device Refrigeration (TTDR) III. Vol. 10626. 2018. DOI: 10.1117/12.2309792.
3. Van de Groep W., Van der Weijden H., Van Leeuwen R., et al. // Proceedings of the SPIE, Infrared Technology and Applications XXXVIII. Vol. 8353.2012. DOI: 10.1117/12.918245.
4. Kuo D.T., Loc A.S., Lody T.D., Yuan S.W.K. // Advances of Cryogenic Engineering. 1999. Vol. 45. P. 267–273.
5. Navasardyan E.S. Dis. ... dr. Sciences: 05.04.03. M.: Bauman Moscow State Technical University. 2018. 288 p.
6. Arkharov I.A., Navasardyan E.S., Shishova N.E. Chemical and Petroleum Engineering. Vol. 56. 2020. P. 638–645. URL: <https://doi.org/10.1007/s10556-020-00821-9>.

## **Analysis of heat losses during heat supply of an urban-type settlement using a heat pump**

A.A. Nikitin, O.E. Konicheva, S.S. Muraveinikov, T.V. Ryabova

*ITMO University, Kronverksky Pr. 49, bldg. A,  
Saint Petersburg, 197101, Russia*

Centralized heat supply systems include a network of pipelines connecting buildings and structures in such a way that entire districts and quarters are supplied with heat carrier from a single boiler plant. District heating is a well-studied part of the energy system. Despite this, low temperature district heating is still underdeveloped, although it is one of the key technologies for energy efficient urban heating.

Low-temperature heat supply systems are the basis of 4th generation district heating systems, since they can significantly reduce heat losses during transportation of the heat carrier to the heat energy consumer and allow the use of heat from renewable sources, for example, heat pumps [1].

The article presents a model of a low-temperature district heating system in the Oktyabrsky village of the Ryazan region. A heat pump is used as a boiler unit. A heat pump is a device for transferring heat energy from a source to a consumer, which is advisable to use for individual heat supply. However, as part of the development of the idea of 4th generation heat supply systems, modeling and analysis of a district heating system using a heat pump station is being carried out. In this case, its application solves two problems: ensuring proper cooling of circulating water at the enterprise and supplying heat to the entire settlement [2].

The study focuses on analyzing the heat loss of a district heating system by comparing simulation results at a standard flow temperature and at a temperature typical of the 4th generation heat supply schedule. On the basis of the created model, the calculation of heat and hydraulic losses of the low-temperature district heating system was carried out, as well as a comparative analysis in comparison with the standard heat supply system.

### **References**

1. Li H., Norda N. // Transition to the 4th generation district heating — possibilities, bottlenecks, and challenges.
2. Kauko H., Kvalsvik K., Rohde D., Nord N. // Dynamic modeling of local district heating grids with prosumers: A case study for Norway.

## **Исследование процессов тепломассообмена при пленочном обтекании ледовых поверхностей с фазовым переходом для создания нового поколения льдоаккумуляторов**

Г.Ю. Гончарова<sup>1,2</sup>, В.П. Пытченко<sup>1</sup>, С.С. Борзов<sup>1</sup>, Г.В. Борщев<sup>1</sup>

*<sup>1</sup> Всероссийский научно-исследовательский институт холодильной промышленности — филиал ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем*

*им. В.М. Горбатова» РАН, Москва, 127422, Россия*

*<sup>2</sup> МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия*

Большое число объектов пищевой промышленности характеризуется высокой степенью неравномерности распределения тепловой нагрузки, как в течение суток, так и по сезонам. Это обуславливает целесообразность применения в системах охлаждения аккумуляции холода и льдоаккумуляторов, в частности [1]. Традиционно выпускаемые льдоаккумуляторы с плавлением льда в объеме жидкости обладают весьма низкой интенсивностью плавления даже при наличии механических мешалок, что приводит к быстрому повышению температуры воды в процессе их разрядки. В этом плане большую перспективу имеет применение пленочного обтекания плавящихся поверхностей, позволяющего существенно интенсифицировать процесс теплообмена между замороженным льдом и охлаждаемой водой [2–3]. Однако аналитического описания и экспериментальных исследований процессов тепломассообмена при пленочном обтекании ледовых структур с фазовым переходом на границе раздела в открытых источниках не обнаружено.

Цель настоящей работы — исследование процессов тепломассообмена при пленочном обтекании ледовых структур с фазовым переходом для создания теплообменных аппаратов нового поколения с высокой интенсивностью теплоотвода, сопрягаемой с графиком действующей тепловой нагрузки. Был спроектирован и создан многофункциональный стенд, позволяющий проводить эксперименты при объемном плавлении и при пленочном орошении плавящихся поверхностей для корректного сравнения их эффективности. Были разработаны и испытаны две конструкции льдоаккумулятора: с плоскими змеевиками и с коаксиальным расположением трубных цилиндров.

Эксперименты проводились на трёх температурных уровнях подаваемой воды (20, 40 и 60 °С) и в диапазоне объёмных плотностей орошения от  $0,1 \cdot 10^{-4}$  до  $1,5 \cdot 10^{-4}$  м<sup>2</sup>/с. На разных уровнях были установлены датчики температуры, позволившие построить зависимости распределения тепловой нагрузки между трубами льдоаккумулятора по

мере прохождения охлаждаемой воды и суммарную тепловую нагрузку для каждого исследованного режима.

Экспериментально подтверждено, что при оптимальном расположении трубных секций интенсивность плавления льда в аппарате с пленочным режимом течения существенно выше, чем в объёмном режиме: так при температуре подачи воды 60 °С температура воды на выходе поддерживается на уровне 2–5 °С до расплавления ~ 70 % замороженного льда. Впервые показано, что локальные коэффициенты теплоотдачи при плёночном течении в отличие от теплообменных аппаратов с неизменным расходом охлаждаемой среды опосредованно (через критерий Рейнольдса, увеличивающийся по мере плавления льда) зависят от градиента температур между водой и плавящимся льдом. При температуре подачи воды 60 °С локальные значения коэффициента теплоотдачи достигали ~ 7000 Вт/(м<sup>2</sup> °С), а при плавлении в объёме жидкости не превышали ~ 300–500 Вт/(м<sup>2</sup> °С). В этом режиме при значениях объёмной плотности орошения выше  $1,0 \cdot 10^{-4}$  м<sup>2</sup>/с значение удельной тепловой нагрузки, отнесенной к квадратному метру теплообменной поверхности труб льдоаккумулятора, достигает 320 000 Вт/м<sup>2</sup> и значительно превосходит аналогичный показатель современных пластинчатых аппаратов известных производителей (от 12 000 до 65 000 Вт/м<sup>2</sup> по каталогам).

Обобщение результатов показало крайне высокую перспективность применения льдоаккумуляторов с пленочным механизмом теплообмена для объектов пищевой промышленности с неравномерным распределением тепловой нагрузки, требующих прецизионного поддержания температуры охлаждаемых продуктов. Кроме этого, они могут эффективно применяться в системах с импульсным характером тепловыделений (охлаждение лазеров и др.), а также в качестве суточных накопителей в совокупности с «зелёными» системами энергоснабжения, использующими энергию солнца и ветра.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-08-00120.*

### **Список литературы**

1. Гончарова Г.Ю. // Системы хладоснабжения с аккумуляторами холода: сборник научных трудов. Москва: Агрохолдпром. 1988. С. 3–14.
2. Воронцов Е.Г., Тананайко Ю.М. Теплообмен в жидкостных пленках. Киев: Техника. 1972. 196 с.
3. Семилет З.В. Оросительные теплообменники химических производств. Киев: Машгиз. 1961. 112 с.

## Математическая модель колеса гидропривода погружного насоса для выдачи СПГ

М.И. Давыденко, А.Ю. Баранов

*Национальный исследовательский университет ИТМО,  
Россия, 197101, Санкт-Петербург, Кронверкский пр., 49*

Для вытеснения СПГ из хранилища используют погружные центробежные насосы с электроприводом, способные преодолеть гидростатическое давление столба криопродукта в линии выдачи (до 0,25 МПа) [1–3]. Из-за специфических условий эксплуатации насосы сжиженного природного газа (ПНСПГ) являются наиболее критичным узлом технологического блока накопления-выдачи СПГ. Повышенные эксплуатационные риски связаны с использованием электродвигателя для привода ПНСПГ:

- смазка трущихся частей;
- подача электрической мощности (до 350 кВт на один ПНСПГ) сквозь слой криогенной жидкости глубиной до 50 метров;
- низкой устойчивости лакокрасочного покрытия проводов к динамическим нагрузкам при криогенных температурам и т. д.

Более эффективным источником энергии для выдачи СПГ представляется объемный гидропривод. Технологическая схема производства СПГ содержит скрытый источник потенциальной энергии, который можно использовать для привода ПНСПГ. Поток СПГ с давлением 6,5 МПа направляют в гидротурбину («жидкостной детандер»), которая преобразует потенциальную энергию электрическую и снижает давление потока СПГ до уровня близкого к атмосферному. До гидротурбины СПГ находится в недогретом состоянии, а его свойства сходны со свойствами любой традиционной жидкости. Если направить часть этого потока на гидротурбину, соосно размещённую с рабочим колесом ПНСПГ, энергия жидкостного потока преобразуется в энергию вращения рабочего колеса турбины и будет затрачена на вращение рабочего колеса насоса.

Использование СПГ в качестве источника механической энергии значительно упрощает конструкцию ПНСПГ. Устраняются проблемы уплотнения подшипников, так как переток жидкости из турбины в рабочее колесо не влияет на производительность насоса.

Для оценки работоспособности агрегата ПНСПГ с приводом от гидротурбины необходимо составить математическую модель работы рабочего колеса гидротурбины в условия отгрузки СПГ из крупнотоннажной накопительной емкости.

Энергия затрачиваемая на вытеснение единицы массы СПГ за пределы хранилища зависит от наполненности резервуара. Уровень СПГ в хранилище является функцией времени.

Процесс отгрузки СПГ из накопительной емкости может осуществляться двумя способами:

При постоянном расходе СПГ высокого давления на рабочем колесе гидротурбины и переменном расходе в линии выдачи;

При постоянном расходе в линии выдачи и переменном расходе СПГ высокого давления на турбине.

В случае постоянного расхода СПГ высокого давления на турбине полная мощность турбины зависит исключительно от уровня СПГ в накопителе в данный момент времени. Приращение мощности турбины определяется приращением разности уровней СПГ «до» и «после» перемещения массы СПГ в линию выдачи. Изменения уровня СПГ одинаково влияет на изменение как мощности турбины, так и мощности насоса. При этом, полная мощность насоса зависит от величины расхода на выдаче в заданный момент времени.

В случае использования режима эксплуатации насосного агрегата с переменным расходом потока высокого давления на турбине, линия выдачи СПГ работает в номинальном режиме при постоянном режиме. Мощность, развиваемая насосом в процессе работы, является функцией уровня СПГ в накопительной емкости.

На основании описанных зависимостей составлены системы уравнений, описывающие работу ПНСПГ с приводом от гидротурбины для двух вариантов эксплуатации. С помощью полученных систем уравнений представляется возможным расчет основных характеристик двух режимов работы модернизированного насосного агрегата в процессе отгрузки СПГ из накопителя.

После верификации предполагается усложнить математическое описание процессов протекающих в ПНСПГ и перейти к исследованию работы гидропривода с переменным расходом СПГ высокого давления.

### **Список литературы**

1. Teregulov R.K. Perfection of technologies for production and storage of liquefied natural gas: Candidate thesis (engineering) // Ufa State Petroleum Technological University. 2009.
2. Ковалев Н.Н. Гидротурбины: конструкции и вопросы проектирования // СПб: Машиностроение. 2017. 584 с.
3. Zhu B., Wang X., Tan L. Optimization design of a reversible pump–turbine runner with high efficiency and stability // *Renew. Energy*. 2015. P. 366–376.

## **Анализ структуры потерь СПГ в трубопроводах подачи в заправочный терминал**

А.М. Андреев, А.Ю. Баранов, Е.В. Соколова

*Национальный исследовательский университет ИТМО,  
Россия, 197101, Санкт-Петербург, Кронверкский пр., 49*

Величина технологических потерь энергии в процессе производства, транспортирования и хранения СПГ, все больше приобретает новое, экологическое значение. Затраты энергии на ожижение природного газа являются объектом активной критики представителей «зеленой энергетики». Основной причиной значительных потерь готовой продукции является разность температур внешней среды и потока, подаваемого в танкер-газовоз, усугубляет ситуацию то, что данные трубопроводы имеют значительную протяженность (до нескольких километров) обусловленную особенностями местоположения заправочного терминала, как итог такая конструкция имеет большую площадь теплопередачи, также существуют такие источники подвода теплоты как теплота от работы криогенных электронасосов. Необходимо разрабатывать и популяризировать технологические решения, направленные на снижение потерь продукции в процессе заправки, а также связанного с повторным ожижением косвенного экологического вреда. Исключить полностью потери продукта невозможно поэтому следует выбрать наиболее эффективный и с экономической и с энергетической точки зрения способ утилизации выпаренного продукта избегая сжигание на свече. Полезно демонстрировать готовность специалистов газовой отрасли учитывать современные социальные тенденции. В статье представлен численный анализ энергоэффективности одного из технологических этапов крупнотоннажного производства СПГ — перемещения жидкого газа из накопительной ёмкости в танкер-газовоз по криогенному трубопроводу. Подобные трубопроводы по своим размерам, протяженности и режимам эксплуатации принципиально отличаются от традиционных жидкостных систем, что служит источником проблем при их проектировании и изготовлении. Рассмотрена математическая модель теплового ограждения трубопровода, выполнена оценка потерь СПГ под влиянием тепловой инерции материалов трубопровода. Получены зависимости времени выхода трубопровода на рабочий температурный уровень от толщины газонаполненной изоляции, оценив график интенсивность теплового потока, сделан вывод что график зависимости приобретает стабильный вид спустя 10 часов для разных толщин изоляции что говорит о том, что заправку танкера-газового следует предварять захолаживанием трубопровода подачи не менее чем за 10 часов.

Дана оценка работоспособности известных вариантов утилизации паров СПГ [1–6].

### **Список литературы**

1. Исаченко В.А., Осипова А.С., Сукомел А.С. Теплопередача // Москва: Энергоиздат. 1981. 416 с.
2. Турчак Л.И. Основы численных методов. Москва: Наука. 1987. 319 с.
3. Jaleel V. Valappil, John Y. Mak, Saeid Mokhatab, David A. Wood. Handbook of Liquefied Natural Gas // Gulf Professional Publishing. 2013. 589 p.
4. Pellegrinia L.A., Moiolia S., Brignolia F. LNG Technology: The Weathering in Above-Ground Storage Tanks // Industrial & Engineering Chemistry Research. 2014. DOI:10.1021/ie404128d.
5. He T., Karimi I.A., Ju Y. Review on the Design and Optimization of Natural Gas Liquefaction Processes for Onshore and Offshore Applications January 2018. Chemical Engineering Research and Design 132:89-114 Follow journal. DOI: 10.1016/j.cherd.2018.01.002
6. Баранов А.Ю., Василенок А.В., Соколова Е.В., Шестакова О.А. Теплофизические основы производства эффективной аппаратуры для общего криотерапевтического воздействия // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2018. № 3(45). С. 39–57.

## **Комплексные решения повышения эффективности работы инженерного оборудования объектов коммерческого холода**

С.Ю. Плешанов

*ООО «УК «ЛЭНД», Санкт-Петербург, Воскресенская наб., 4*

С недавних пор крупные федеральные сети ввели в процедуру выбора Поставщика холодильного оборудования показатель ТСО (Total Cost of Ownership), таким образом, энергопотребление и холодопотребление становятся ключевым фактором при выборе Поставщика оборудования. Согласно данной процедуре, производится сравнение не только цены, но и энергопотребления за период эксплуатации. Это позволяет адекватно сравнить капитальные и эксплуатационные затраты Компании покупателя.

Все большую актуальность приобретают технические решения, позволяющие снизить расходы на эксплуатацию холодильного оборудования магазина, поскольку на него приходится более 50 % всех затрат магазина.

В докладе рассмотрен комплексный подход к снижению энергопотребления на объектах коммерческого холода, приведены данные по снижению эксплуатационных затрат и сроки окупаемости. Самой эффективной технологией на сегодняшний момент, можно считать установку закрытий на стеллажные витрины (горки). Использование стеклопакета как закрытия стеллажных витрин позволяет снизить холодопотребление от 50 до 70 %, а значит существенно снизить мощность холодильного агрегата, конденсатора и объем монтажных материалов.

Дефицит электрических мощностей и отсутствие доступного источника тепла является наиболее часто встречающимся препятствием для принятия положительного решения об открытии магазина. Рассматривается холодильная машина с интегрированным тепловым насосом воздух/воздух, работающая на холодильном агенте R404A, как альтернативный способ отопления, а также перспективы использования R410.

Наиболее эффективной и экологически чистой альтернативой повсеместно применяемым холодильным агентам является диоксид углерода (CO<sub>2</sub>). На примере оснащения распределительного центра холодильной мощностью 2,2 МВт, рассматривается холодильная установка на природном холодильном агенте (R744) с функцией рекуперации тепла и рядом энергосберегающих опций.

Общим решением рассматривается концепция «Умный магазин» — глобальная автоматизация инженерных систем магазина с целью оптимизации их работы.

### **Холодильная машина с интегрированным тепловым насосом воздух/воздух**

Реализована опытная модель, которая позволяет автоматически распределять холодильную и тепловую мощность установки в зависимости от текущей потребности.

Применение холодильного агента R410A позволяет получить дополнительный тепловой потенциал и снизить энергопотребление, затрачиваемое на охлаждение хранимой продукции.

### **Стеклопакеты для холодильных витрин на основе стеклопакета**

Уникальное изделие, поставляемое компанией «ЛЭНД» совместно с холодильными витринами, позволяет снизить мощности холодильных машин до 70 %. Представлены результаты тестирования, проведенные в испытательной лаборатории, в соответствии с стандартом ISO 23953 — ГОСТ 32560.2. Рассмотрен эффект при расчете совокупной стоимости владения оборудованием (ТСО).

### **Холодильная установка на природном холодильном агенте (R744)**

Решение на холодильном агенте R744 исключает влияние на окружающую среду в части выбросов рабочего вещества в атмосферу.

Энергосберегающие функции, такие как:

- Жидкостной эжектор
- Оттаивание за счет тепла от холодильной машины
- Обогрев грунта за счет тепла от холодильной машины
- Обогрев помещений за счет тепла от холодильной машины

Позволяют снизить потребление электрической энергии на 15–25 %.

### **Система комплексной автоматизации инженерных систем**

Для управления отоплением, кондиционерами, системой вентиляции, наружным и внутренним освещением применяется программируемый логический контроллер. Алгоритм контроллера позволяет адаптировать работу систем к изменяющимся внешним условиям, а также исключить человеческий фактор. На основании расчетных данных система управления позволяет достичь снижения энергопотребления на 20–25 %. Максимальной экономии, в случае магазина малого формата можно достичь, при применении системы охлаждения с интегрированным тепловым насосом.

## **Improving performance of cascade refrigeration system using low GWP refrigerants for some cities in Russia**

Mahdi Deymi-Dashtebayaz<sup>1</sup>, A. Nikitin<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Center of Computational Energy, Department of Mechanical Engineering, Hakim Sabzevari University, Sabzevar, Iran*

<sup>2</sup>*Faculty of Cryogenic Engineering, ITMO University, Kronverksky Pr. 49, bldg. A, Saint Petersburg, 197101, Russia*

### **Abstract**

Due to the reduction of greenhouse gas and their effects on the ozone layer, using pair refrigerants by low global warming potential (GWP) and zero ozone depletion potential (ODP) in cascade refrigeration system (CRS) has been investigated. In this paper, optimization of CRS to reach the best value of the coefficient of performance (COP), exergy efficiency and total cost rate for some cities of Russia such as Moscow, Saint Petersburg, Sochi, Nizhny Novgorod, and Yekaterinburg is studied. Energy-Exergy economic analysis to evaluate total cost rate is done for R41-R161 as pair refrigerant. Temperature variations of condenser, evaporator and cascade heat exchanger in CRS are optimized using Pareto method. Results show that decreasing evaporator temperature increases COP and exergy efficiency and decreases total cost rate. Finally, the best values of condenser and evaporator temperature are determined based on the highest efficiency and lowest total cost rate [1–2].

### **References**

1. Boahen S., Kwaku Ankab S., Ho Lee K., Min Choi J. // *Renewable Energy*. 2021. Vol. 163. P. 1001–1011.
2. Yerdasha Y., Abdulina Z., Aliulya A., Belyayeva Ye., Mohanraj M., Kaltayev A. // *Renewable Energy*. 2020. Vol. 145. P. 1222–1232.

## «Comfort» for Vaccines

A.P. Bruk<sup>1</sup>, A.A. Nikitin<sup>2</sup>, S.S. Muraveinikov<sup>2</sup>,  
V.V. Mitropov<sup>2</sup>, I.V. Baranov<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *OOO CAREL RUS Office 314, Radischeva str. 39-D, 191123,  
Saint Petersburg, Russia*

<sup>2</sup> *ITMO University, Kronverksky Pr. 49, bldg. A,  
Saint Petersburg, 197101, Russia*

In 2019 the Public Health system in all Countries and Nations faced with the most hard problem after the “Spanish flu” 100 years ago — COVID-19 pandemic. It was (and unfortunately remains) the serious challenge for all aspects of the Public Health system, like:

- urgent development of medical treatment methods,
- construction or refurbishing of infection hospitals,
- “vaccine race”,
- booming demand for individual protection (masks, gloves),
- medical logistic and many others...

CAREL INDUSTRIES S.p.A — Italian company operating in HVAC/R industry since 1973 — is fully involved in these processes worldwide. CAREL is supplying steam humidifiers for hospitals, temperature and humidity controls for air handling systems, cold rooms, refrigerators and freezers for medical applications. CAREL also provides remote control and monitoring systems for all sorts of Food, Industrial and Medical applications.

COVID-19 pandemic brought a lot of attention to the vaccination process starting from vaccine’ development up to its delivery to a patient. In general, it is not limited by COVID-19 case, but covers all aspects of vaccination as a medical treatment process. From HVAC/R point of view the goal is to provide the temperature/humidity conditions required for vaccines during production, storage, transportation and usage at each stage of the cooling chain.

Starting from 70<sup>th</sup> of XX century “de-facto” standard storage conditions for most of vaccines are:

- +2—+8 °C temperature range.
- No freezing allowed.
- Dry (no condensate) and dark place.

These requirements are approved by The World Health Organization as a common standard for the whole lifespan of the vaccines starting from the manufacturing in the factory up to the moment of usage.

Why we are talking on Vaccine separately from other medical therapeutic media? It is because vaccination has **no feedback** to a patient unlike to medical therapy applying to a sick patient. Neither patient nor doctor knows

if the vaccination was successful with immunity or not. It is very essential point, differentiating storage of vaccines from another medical stuff. Moreover, the storage of the vaccine in the proper temperature condition is a key factor to the success.

CAREL in cooperation with ITMO University created energy saving medical refrigerator equipped with the most advanced refrigeration circuit called HEEZ. Energy saving of 2.5 times comparing to the same standard refrigerator was registered [1]. Also the refrigerator is equipped with CAREL BOSS monitoring system collecting operation data like internal temperature, energy consumption etc. Then the refrigerator (together with a couple of standard ones) has been installed in a big clinic in St-Petersburg for the pilot project of the monitoring of temperature storage conditions during typical operative process of the clinic.

The monitoring of the temperature inside medical refrigerator is the most important because now the “last mile” of the cold chain is not monitored at all, except of manual temperature observation in refrigerators twice a day. Pilot project made by Russian office of CAREL in St-Petersburg in one big medical center shown that a few cases with breaking of temperature storage conditions. However, thanks to monitoring system installed in 4 medical refrigerators it was possible to prevent the usage of overheated media.

Temperature monitoring is the only way that guarantees storage continuous both from technical and administrative point of views. All medical refrigerators in hospitals, clinics, ambulances, drugstores and other similar places have to be connected to centralized monitoring system operated by corresponding Governmental institution in order to provide good and safe application of all sorts of vaccines.

### References

1. Tatarenko J.V., Mitropov V.V., Nikitin A.A., Ryabova T.V., Muraveinikov S.S. Comparative operation of pharmaceutical refrigerator cabinets // *Vestnik Mezhdunarodnoi akademii kholoda*. 2020. No 1. P. 12–21.

## **Section 8**

Food Biotechnology for Human Health

## **Секция 8**

Пищевые биотехнологии для  
здоровья человека

## Functional nutrition development for active and healthy longevity

A. Pavlova, E. Bendenko, M. Daniliuk, V. Savoskula, M. Hashim

*ITMO University, Kronverksky Pr. 49, bldg. A,  
Saint Petersburg, 197101, Russia*

Citizens of the older generation are the bearers of knowledge and experience, make a significant contribution to the total intellectual potential, to the socio-economic development of the Russian Federation, aspire to work, are creators of a significant part of material goods, actively participate in the processes of social development, preserve and multiply the wealth of the country's culture and pass it to younger generations, act as guardians of essential spiritual and moral values and ensure connection and solidarity of generations [1].

According to the Strategy for Action for the Elderly Citizens in the Russian Federation until 2025 it is necessary to focus on the creation of society for all ages, including the formation of conditions for the use of knowledge, experience, potential of senior citizens, care for such citizens and providing them with necessary assistance.

The following tasks are defined in the framework of the Strategy:

- Elaboration of proposals for a list of functional dietary products for senior citizens;
- producing multicomponent functional dietary foods for senior citizens [2];
- providing the needy citizens of the older generation with a balanced diet of high quality, taking into account the rational norms of food consumption;
- ensuring the availability of quality food products to senior citizens, contributing to the preservation and promotion of health;
- providing an accessible information environment for the preparation of personalized diets and the selection of food recipes using traditional foods and enriched high-protein mixtures for home food preparation.

Given the above, the need to create and provide the older generation with a high quality balanced diet, taking into account the rational norms of food consumption, as well as taking into account the physiological characteristics of the target group becomes apparent [2–4].

The aim of the paper is to present the results of the research project, which deals with the developing and scientifically substantiating a line of functional foods for the prevention of alimentary-dependent diseases (cardiovascular disease, diabetes, obesity, osteoporosis, some malignant neoplasms, sarcopenia, etc.) the formation of a healthy lifestyle in the elderly

citizens by providing an opportunity to optimize the structure of nutrition and use functional foods, as well as, to meet the needs of the elderly in the consumption of a daily norm of high-quality protein without increasing the proportion of simple carbohydrates in the diet [5–6].

### **References**

1. National Security Strategy of the Russian Federation. (Development of the Security Council of the Russian Federation approved by the Decree of the President of the Russian Federation. 31.12.2015. № 683).
2. Therapeutic and nutritional products / John A. Thomas. Biotechnology and safety assessment. August 2019. P. 283–300.
3. Methodological recommendations MR 2.3.1.2432-08 "Norms of physiological requirements for energy, nutrients for different groups of the population of the Russian Federation" // Moscow: Federal Center for Hygiene and Epidemiology Rospotrebnadzor. 2009. P. 36.
4. Milk Proteins From Expression to Food Book // Elsevier, Third Edition. 2020. Editors Boland M., Singh H.P. 748 p.
5. Isidoro C. Nutraceuticals and diet in human health and disease. The special issue at a glance // Journal of Traditional and Complementary Medicine. 2020. Vol. 10. P. 175–179.
6. Schwingshackl L., Bogensberger B., Hoffmann G. Diet Quality as Assessed by the Healthy Eating Index, Alternate Healthy Eating Index, Dietary Approaches to Stop Hypertension Score, and Health Outcomes: An Updated Systematic Review and Meta-Analysis of Cohort Studies // Journal of the academy of nutrition and dietetics. 2018. Vol. 118. № 1. P. 74–111.

## **Biotesting method for assessing changes in the quality of goat milk during pasteurization**

K.Yu. Sirotina, Yu.V. Shcherbakova, K.A. Nasrulina, V.F. Sharafutdinov,  
A.A. Eremin, F.Yu. Akhmadullina

*Kazan National Research Technological University, 68 K. Marksa Str.,  
Kazan, Republic of Tatarstan, Russian Federation, 420015*

In recent years, there has been a tendency towards an increase in the number and capacity of farms engaged in breeding goats. Moreover, this is due not only to the economic effect, but also to a new assessment of the nutritional value of goat milk, which has unique metabolic and physiological characteristics. In addition, goat milk has a powerful antioxidant system, which determines its therapeutic and prophylactic properties [1–3].

Since milk is a perishable product in the dairy industry, heat treatment is an obligatory technological operation in the production of all dairy and milk-containing products — mainly pasteurization and sterilization. However, heat treatment of milk leads to changes in its components, and, accordingly, the biological value and antioxidant activity.

Therefore, an adequate, accessible for mass use and express method for testing milk and dairy products is necessary, informative in determining the suitability of milk for obtaining fermented milk products for therapeutic and prophylactic purposes. The most acceptable at present is the use of test bio-systems for these purposes, which are distinguished by high sensitivity, low cost of work, and, most importantly, providing an integral assessment of the object under study.

In this regard, the purpose of this work is to study the change in the quality of goat milk during pasteurization by the biotesting method.

The subject of the study was the quality of goat milk under various heat treatment modes (65 °C for 30 minutes; 76 °C for 5 minutes; 90 °C for 20 seconds; 95 °C for 5 minutes) and its effect on the stress resistance of *Paramecium caudatum* ciliates. In the work, the ciliates were cultivated for 3 days on the Lozin-Lozinsky medium with the addition of goat milk samples processed under various pasteurization modes. On the 3rd day, the stress resistance of the test object was determined. The time of paramecium immobilization under the influence of a stressor — 1.5 % hydrogen peroxide — was recorded as the main parameter of the study.

According to our research: 1. The high sensitivity of the selected test-object to changes in the antioxidant properties of goat milk processed under various pasteurization modes has been established; 2. It was shown that the stress resistance of the ciliates *Paramecium caudatum* increased when native goat milk was added to the nutritional mixture compared to the control;

3. The identified modes of heat treatment were revealed that ensure the greatest preservation of the antioxidant activity of goat's milk and, accordingly, a higher stress resistance of the ciliates *Paramecium caudatum*: 76 °C for 5 minutes and 90 °C for 20 seconds.

### **References**

1. Menshchikova E.B., Zenkov N.K., Lankin V.Z. etc. Oxidative stress: pathological conditions and diseases. Novosibirsk: ARTA. 2008. 284 p.
2. Lazareva O.N. PhD-thesis. Omsk. 2008.
3. Balakireva Yu.V., Akhmadullina F. Yu., Lapin A.A. // Vestnik. 2009. № 1. P. 56–59.

## **О разработке типовых реестров идентифицированных опасностей (на примере аппаратчика пастеризации и охлаждения молока)**

Б.В. Севастьянов, Р.О. Шадрин, А.В. Шаламова, Н.В. Селюнина

*ФГБОУ ВО «Ижевский государственный технический университет  
имени М.Т. Калашникова», г. Ижевск*

Согласно статье 209 [1] управление профессиональными рисками это — комплекс взаимосвязанных мероприятий, являющихся элементами системы управления охраной труда и включающих в себя меры по выявлению, оценке и снижению уровней профессиональных рисков.

Управление профессиональными рисками рассматривается как непрерывный процесс последовательно осуществляемых стадий. В первую очередь, это идентификация факторов риска, оценка параметров условий труда, формирование задач и собственно управление рисками.

Первым этапом в управлении профессиональными рисками является идентификация опасностей. Процедура идентификации опасностей содержится в [2]. Идентификация опасностей — это процедура обнаружения (выявления и распознавания) и описания опасностей. Цель идентификации — выявить все опасности, исходящие от технологического процесса, опасных веществ, выполняемых работ, оборудования и инструмента, участвующего в технологическом процессе.

Для аппаратчика пастеризации и охлаждения молока типовые опасности можно идентифицировать, опираясь на пункт 35 [3] и содержание чек листов, относящихся к профессиям молочного производства [4].

Идентифицированные опасности можно разделить на группы:

- механические опасности;
- электрические опасности;
- термические опасности;
- опасности, связанные с воздействием микроклимата;
- опасности, связанные с воздействием микроклимата;
- опасности, связанные с воздействием аэрозолей преимущественно фиброгенного действия;
- опасности, связанные с воздействием биологического фактора;
- опасности, связанные с воздействием тяжести и напряженности трудового процесса;
- опасности, связанные с воздействием шума;
- опасности, связанные с воздействием вибрации;
- опасности, связанные с воздействием световой среды;

- опасности, связанные с воздействием неионизирующих излучений;
- опасности, связанные с воздействием насекомых;
- опасности утонуть;
- опасности, связанные с организационными недостатками;
- опасности пожара;
- опасности транспорта;
- опасности взрыва;
- опасности, связанные с применением средств индивидуальной защиты.

По каждой группе опасностей необходимо указать конкретные опасности, механизм их реализации, описать мероприятия по устранению.

Разработка и утверждение типовых реестров идентифицированных опасностей для работников рабочих профессий позволят сократить временные затраты на их разработку каждым специалистом в области охраны труда на предприятии. Специалисты в области охраны труда способны самостоятельно редактировать содержание реестра в соответствии с характеристикой рабочего места и условиями труда определенного работника.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке ИжГТУ имени М.Т. Калашникова в рамках научного проекта № ШПО/20-86-11.*

#### **Список литературы**

1. "Трудовой кодекс Российской Федерации" от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 09.11.2020).
2. ГОСТ 12.0.230.4-2018. Система стандартов безопасности труда. Системы управления охраной труда. Методы идентификации опасностей на различных этапах выполнения работ.
3. Приказ Минтруда России от 19.08.2016 N 438н "Об утверждении Типового положения о системе управления охраной труда".
4. Приказ Федеральной службы по труду и занятости от 10.11.2017 г. №655 «Об утверждении проверочных листов (списков контрольных вопросов) для осуществления федерального государственного надзора за соблюдением трудового законодательства и иных нормативных правовых актов, содержащих нормы трудового права».

## Digital solutions to develop the personalized nutrition

*M.A. Daniliuk, A.S. Andreeva, E.V. Lobova, A.S. Pavlova*

*ITMO University, Kronverksky Pr. 49, bldg. A,  
Saint Petersburg, 197101, Russia*

Nutrition of the population is the most important social issue in modern society. The development of a new generation of personalized nutrition is an innovative direction in the food industry and Foodnet market, these is extremely practical importance and social effectiveness. Actually, the right nutrition that can help in the prevention of nutritional-dependent diseases. Currently, there is a need for society to develop personalized nutrition for those groups of consumers whose health status needs to be corrected in daily nutrition [1].

Taking into account the increasing number of diseases, stress factors, malnutrition of the population, one of the most important problems is the selection of proper nutrition, considering the characteristics of a particular person. In accordance with the recommendations of nutritionists, the development of new products should be aimed at reducing the calorie content of food, reducing the content of sugar, salt, cholesterol in products, enriching products with animal and vegetable proteins, vitamins, dietary fiber, micro- and macroelements. To solve this problem, one of the solutions can be a mobile application.

In our world of rapidly developing technologies, gadgets, devices and, of course, mobile applications for health and nutrition are taking an increasing place. According to statistics, more than 59 % of the adult population use smartphones. The World Health Organization estimates that more than 20 % of people using phones are constantly using apps for health and healthy food [2].

The Russian Federation has adopted a policy in the field of healthy nutrition of the population [3]. The goals of the state policy in the field of healthy nutrition are the preservation and strengthening of the health of the population, the prevention of diseases caused by inadequate and unbalanced nutrition. One of the methods of helping the population to switch to a balanced diet is a well-thought-out mobile application.

There is an increasing interest and demand for digital nutrition programs, and the more personalized the program can offer, the better. There is a tendency among the population to resume proper nutrition and a healthy lifestyle, in which well-thought-out mobile applications can play an important role. At the moment, there are a large number of modern information technologies, applications and gadgets that track health status and give recommendations. One of such popular information technologies is mobile applications.

Global trends show us that there are more and more companies and services specializing in personalized nutrition. Some of them are based on blood tests, others on DNA tests, and still others on the analysis of the human intestinal microbiome. Most of them refer to fictitious developments not available to Russian citizens, as well as preliminary studies that are very expensive [4].

Most mobile nutrition apps offer menus and diets based on height, weight, age and do not take into account many other factors, such as individual daily loads, region of residence, rhythm of life, and the presence of nutritional diseases of the body.

This project is a part of Functional nutrition for active and healthy longevity project. The mobile application is developed for maintaining healthy nutrition, which will take into account lifestyle, physical activity, climate, region of living and many other factors in order to form and offer balanced and functional nutrition for a specific person to maintain health and activity throughout his life. This application will be based on the analysis of big data, a neural network. This mobile application will allow promoting personalized nutrition among the population.

### **References**

1. Sychev O.V., Sychev O.V. Conditions for transition to personalized nutrition // Journal of Technologies of the food and processing industry of aic — healthy food products. 2020. №1. P. 8–14.
2. World Health Organization [Electronic resource]. URL: <https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets> (date of access: 18.01.2021).
3. Order of the Government of the Russian Federation of 25.10.2010 № 1873-r «On the fundamentals of the state policy of the Russian Federation in the field of healthy nutrition of the population for the period until 2020» [Electronic resource]. URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/12079847/> (date of access: 18.01.2021).
4. J’son&Partners Management Consulting. Research of the Russian and world foodTech market: key trends, limitations and prospects [Electronic resource]. URL: [https://json.tv/ict\\_telecom\\_analytics](https://json.tv/ict_telecom_analytics) (date of access: 18.01.2021).

## Life cycle assessment of the functional nutrition in the context of the circular economy

V.A. Savoskula, A.S. Pavlova, K.G. Kuznetsova, P.A. Plotnikova

*ITMO University, Kronverksky Pr. 49, bldg. A,  
Saint Petersburg, 197101, Russia*

In the dairy industry, when cheese, cottage cheese or casein is produced, whey is produced, the yield of which is approximately 90 % of all milk used for the production of these products. In the Russian Federation, only 30 % of whey is processed industrially, versus 80 % of whey obtained in Western Europe [1, 2]. For a long time, the discharge of whey with industrial waters was considered one of the relatively safe options for its disposal and was widely used in dairy enterprises. But research has shown that this way of solving the problem has a negative impact on the environment. To reduce the environmental impact of dairy production, it is necessary to analyze the possibility of its processing and the demand for the obtained raw materials on the food market. This approach to the issue of waste disposal is within the framework of the circular economy approach [3].

The circular economy is a model of production and consumption products as long as possible. In this way, the life cycle of products is extended. Unlike the traditional linear economic model based on a «take-make-consume-throw away» pattern, a circular economy is based on the notion that all waste can be considered as valuable resources in an almost closed loop, where products and the materials they contain are highly valued [4]. In practice, it implies reducing waste to a minimum. The main objective of this study is to analyze the reduction of the environmental impact of the dairy industry in order to use the by-product for the development of functional nutrition.

To achieve the goal of the study, the following tasks were set:

1. Analyze the specialized food market.
2. Investigate the functional and technological properties of raw materials — secondary milk processing products.
3. Conduct a life cycle environmental assessment of food [5, 6].

It is known that the growing up of an organism is characterized by a gradual decrease in the intensity of metabolic processes that underlie the vital activity of the organism. Often, most diseases of the elderly are associated with protein-energy malnutrition. Nutrition is the main factor in maintaining normal physiological condition and performance. Whey contains a large amount of whey proteins. Their biological value exceeds the value of all food proteins known in nature. Thus, whey is an excellent base for creating functional food products [7].

Today, there are a number of brands that produce protein-fortified foods. These nutritional supplements are made from whey powder. Currently, proteins are supplied to the Russian market from Lithuania, Australia and New Zealand. The transport of this ingredient makes a significant contribution to the environmental impact. The assessment of the life cycle as part of the creation of an environmental product declaration shows the need for the development of import substitution in this area and the development of technology for producing protein at domestic enterprises.

### **References**

1. Analytical Center «Milknews». Raw milk production increased by 4 %. Available at: <https://milknews.ru/analitika-rinka-moloka/rinok-moloka-v-Rossii/syroe-moloko-maj.html> (Accessed: 10.03.2021).
2. In January-May, milk production in the world increased by 1.1 %. Available at: <https://www.dairynews.ru/news/v-yanvare-mae-proizvodstvo-moloka-v-mire-vyroslo-n.html> (Accessed: 10.03.2021).
3. Dudnik D.V., Sher M.L., Opryshko E.L., Mironov L.V. Environmental and ecological risks, review and management in modern conditions // International journal of Professional Science. 2017. №4. P. 22–38.
4. Sustainable Development Goals. Available at: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/ru/sustainable-developme> (Accessed: 10.03.2021).
5. GOST R ISO 14024-2000. Environmental labels and declarations. Type I environmental labelling. Principles and procedures. Introduced: 01.07.2001. National Standard of the Russian Federation. 2001.
6. Global Ecolabelling Network. Available at: <https://globalecolabelling.net> (Accessed: 10.03.2021).
7. GOST R 54059-2010. Functional foods. Functional food ingredients. Classification and general requirements. Introduced: 01.01.2012. National Standard of the Russian Federation. 2012.

## Кинетика реакций гидролиза и окисления триацилглицеридов оливкового масла при длительном хранении

М. Алнакуд, В.С. Колодязная, Е.И. Кипрушкина,  
О.Н. Румянцева, И.А. Шестопалова

*Национальный исследовательский университет ИТМО,  
Россия, 197101, Санкт-Петербург, Кронверкский пр., 49*

### Аннотация

Оливковое масло отличается высокой биологической ценностью. Основной причиной ухудшения качества масла, снижения пищевой и биологической ценности в процессе хранения является гидролиз триацилглицеридов (ТАГ). Актуальным является применение антиоксидантов различной структуры в сочетании с температурой хранения, позволяющим замедлить процессы гидролиза ТАГ. Объектом исследования выбрано оливковое масло первого холодного отжима, полученное из оливок, выращенных в почвенно-климатических условиях Сирии. В качестве природного антиоксиданта использовали бета-каротин, фирмы «Экоресурс» г. Санкт-Петербург. Кинетику реакции гидролиза ТАГ оценивали по изменению содержания насыщенных и ненасыщенных жирных кислот, и титруемой кислотности в процессе хранения контрольных образцов масла (без добавления антиоксиданта) и с добавлением бета-каротина. Выявлено, что в процессе хранения опытных образцов масла значительно замедляются гидролитические и окислительные процессы ТАГ при добавлении антиоксиданта бета-каротина. Установлены сроки годности масла при разных температурах и с применением антиоксидантов.

**Ключевые слова:** оливковое масло, гидролиз триацилглицеридов, антиоксиданты, холодильное хранение, бета-каротин.

Оливковое масло отличается высокой биологической ценностью, содержит моно- и полиненасыщенные жирные кислоты, фенольные соединения, токоферолы и фитостерины.

Основной причиной ухудшения качества масла, снижения пищевой и биологической ценности в процессе хранения является гидролиз триацилглицеридов (ТАГ) с образованием свободных жирных кислот (СЖК), моно- ди глицеридов и глицерина, что приводит к увеличению кислотности и образованию продуктов окисления жирных кислот, особенно ненасыщенных.

В решении проблемы максимально возможного сохранения качества, пищевой и биологической ценности оливкового масла в процессе хранения

актуальным и перспективным направлением исследований является применение антиоксидантов различной структуры в сочетании с температурой хранения, позволяющим замедлить процессы гидролиза ТАГ и окисления жирных кислот при пролонгированных сроках годности.

В научной литературе высказываются противоречивые мнения по поводу применения природных и синтетических антиоксидантов для замедления скорости окисления жирных кислот в зависимости от сорта масла, технологии его получения и температуры хранения [1–3].

Цель исследования — изучить влияние температуры хранения оливкового масла и дозы бета-каротина на кинетику реакций гидролиза ТАГ и окисления жирных кислот; обосновать сроки его годности.

Объектом исследования выбрано оливковое масло первого холодного отжима, полученное из оливок, выращенных в почвенно-климатических условиях Сирии по общепринятой технологии. Урожай оливок собран в августе 2019 г. В качестве природного антиоксиданта использовали бета-каротин, фирмы «Экоресурс» г. Санкт-Петербург.

Кинетику реакции гидролиза ТАГ оценивали по изменению содержания насыщенных и ненасыщенных жирных кислот, и титруемой кислотности в процессе хранения контрольных образцов масла (без добавления антиоксиданта) и с добавлением бета-каротина в концентрациях от 200 до 600 мг/л. Эти образцы хранили при температуре 18 °С. Кроме того, образцы оливкового масла без добавления бета-каротина хранили при 4 °С.

При поступлении на хранение и в течение этого процесса в исследуемых образцах периодически определяли кислотное число титрометрическим методом, перекисное число, содержание насыщенных и ненасыщенных жирных кислот методом газовой хроматографии на хроматографе LC-20 Shimadzu и органолептические показатели качества по пятибалльной шкале [4]. По результатам проведенного исследования рассчитаны константы скорости реакций (псевдопервого порядка) гидролиза ТАГ и окисления СЖК.

На основании проведенных исследований показано, что оливковое масло первого холодного отжима, полученное из оливок, выращенных в почвенно-климатических условиях Сирии, содержит 97.6 % ТАГ, отличается высоким содержанием ненасыщенных жирных кислот, особенно олеиновой (68.6 %), линоленовой (12.7 %), из насыщенных преобладает пальмитиновая (13.7 %) и стеариновая (9.6 %).

Установлено, что скорость реакций гидролиза ТАГ и окисления насыщенных и ненасыщенных жирных кислот оливкового масла зависит от дозы антиоксиданта и температуры хранения. Составлены математические модели, характеризующие зависимости изменения кислотного числа от продолжительности хранения при температуре +18 °С

контрольных образцов оливкового масла, а также образцов, содержащих антиоксидант бета-каротин в различных концентрациях. Определены константы скорости реакций псевдопервого порядка гидролиза и окисления СЖК.

Выявлено, что в процессе хранения опытных образцов масла значительно замедляются гидролитические и окислительные процессы ТАГ при добавлении антиоксиданта бета-каротина. Показано, что минимальные изменения содержания продуктов гидролиза ТАГ и окисления СЖК в процессе хранения оливкового масла при температуре +18 °С характерны для образцов, содержащих 400 мг/л бета-каротина и для образцов масла, хранящихся при температуре +4 °С без добавления антиоксиданта.

Установлено, что в процессе хранения оливкового масла количество насыщенных и ненасыщенных жирных кислот, особенно олеиновой, уменьшается, что объясняется окислением свободных жирных кислот масла. Минимальная скорость окисления свободных жирных кислот, в том числе олеиновой и линоленовой отмечена при добавлении 400 мг /л бета-каротина, а также при температуре хранения контрольных образцов масла +4 °С.

По комплексу органолептических и физико-химических показателей качества оливкового масла рекомендуются следующие сроки годности при температуре хранения +18 °С: масло без добавления антиоксиданта — 5 мес., с добавлением 400 мг/л бета-каротина — 7 мес. В процессе хранения оливкового масла при температуре +4 °С без добавления антиоксиданта — 12 месяцев.

### Список литературы

1. M. Abenzoa, R. Benito, R. Oria. Effect of low-temperature storage under optimal conditions on olive oil quality and its nutritional parameters // Rivista Italiana Delle Sostanze Grasse. 2015. № 7. P. 243–251.
2. R. Korifi, J. Plard, Y. LeDr'eau, R'ebufa C., D. Rutledge, N. Dupuy. Highlighting metabolic indicators of olive oil during storage by the AComDim method // Food Chemistry. 2016. Vol. 203. P. 104–116.
3. E. Stefanoudaki, M. Williams, J. Harwood, Changes in virgin olive oil characteristics during different storage conditions // European Journal of Lipid Science and Technology. 2010. № 112 (8). P. 906–914.
4. В.С. Колодязная, Е.И. Кипрушкина, И.А. Шестопалова. Методы определения показателей качества пищевых продуктов. СПб.: Университет ИТМО. 2018. 73 с.

## **The effectiveness of using ultradisperse humic sapropel suspension in the food industry: a review**

D. Nsengumuremyi<sup>1</sup>, N.V. Barakova<sup>1</sup>, A.V. Mityukov<sup>2</sup>

*<sup>1</sup>Faculty of Biotechnologies, ITMO University,  
Kronverksky Pr. 49, bldg. A, Saint Petersburg, 197101, Russia*

*<sup>2</sup>Institute of Limnology Russian Academy of Science, Syevast'yanova str. 9,  
Saint Petersburg, 196105, Russia*

Sapropel is organic-rich sediments deposited under highly anoxic conditions where deep water ventilation is absent. These dark, fine-grained, and unconsolidated sediments are from freshwater, including the lakes and oceans. It finds wide use in agricultural production as fertilizer and remediation of soils. Besides, it plays a role in animal feed production, medicine, balneology, etc. [1, 2]. Recently, research has revealed that sapropel can be used as raw material for obtaining sapropel extract. The latter is used to prepare pharmaceuticals and promote new exportable products and services [3].

The ultrasound treatment can be used to disintegrate sapropel, followed by chemical extraction to derive humic substances. Using the technology developed at the Institute of Lake Science of the Russian Academy of Sciences (RAS) in Saint Petersburg, the ultradisperse humic sapropel suspension (UDHSS) is extracted using alkaline extraction from sapropel under ultrasonic cavitation. This sapropel suspension is composed of sugars, lipids, humic substances, trace metals, and nanoparticles of size 86–89 nm [4]. This suspension's composition and properties have attracted much attention from researchers, and they have started researching this suspension and applying it in the food industry.

This review discusses the effectiveness of using ultradisperse humic sapropel suspension in the food industry. The article covers the application of UDHSS in cereal grains and feedstuff, ethanol production, mycotoxins fighting.

Sapropel suspension is used to fight microorganisms present in cereal grains and animal feed. According to previous studies, UDHSS has shown antimicrobial properties. Experiments conducted using this suspension on barley grains and distillers' grain proved a decrease in fungi and bacteria concentration. In these experiments, barley grains were treated using UDHSS with different dry matter concentrations and humic substance content [4, 5].

Ultradisperse humic Sapropel suspension can be applied in ethanol production. For evaluating the prospects of using UDHSS in ethanol preparation, pilot batches of ethanol were produced by fermenting wort obtained from

barley treated with UDHSS. The latter influenced the fermentation process parameters: the ethanol concentration, the soluble unfermented sugars, the total soluble sugars, and the undissolved starch in the mash. In the research carried out, the results indicated that a distillate as a byproduct of ethanol obtained from UDHSS treated barley contains less methanol, one of the most toxic congeners, and less 2-propanol. The future application of saporpel extract as an alternative to antibiotics was suggested [5, 6].

The study on humic substances carried out by [7] has shown that the soil humic substances affect soil enzymes' activity and stability (lysozyme and urease). The main components of UDHSS are humic substances (HSs), compounds that arise from the decomposition and transformation of plant, animal, and microbial residues. However, the research on the activity of humic substances (HSs) presented in UDHSS enzymes' activity is lacking. The research on the application of UDHSS on enzymes applied in the production of fermented alcoholic drinks is crucial.

Due to the high concentration of humic substances and the antimicrobial properties of UDHSS, the suspension can be used as a mycotoxins' adsorbent agent. A promising extract to fight against mycotoxins is an ultradisperse humic-saporpel suspension containing humic substances. The targeted mycotoxins may be Aflatoxins, Ochratoxin A (OTA), Fumonisin, Zearalenone (ZEA), and Deoxynivalenol (DON). These are the most common ones that pose a threat to human and animal health. Researchers will establish the adsorbing role of ultradisperse humic-saporpel suspensions. The researchers should also identify its ability to detoxify various mycotoxins without useful binding mineral and vitamin complexes [8].

### References

1. Stankevica K. // *Agronomy Research*. 2016. Vol. 14. № 3. P. 929–947.
2. Murunga S. // *Advances in Agriculture*. 2020. Vol. 2020. P. 1–7.
3. Pavlovska I. // *Scientific Reports*. 2020. Vol. 10. P. 21527.
4. Barakova N.Y. // *Agronomy Research*. 2017. Vol. 15. № 3. P. 639–648.
5. Nsengumuremyi D. // *Fermentation*. 2019. Vol. 5. P. 24.
6. Nsengumuremyi D. PhD-thesis. St. Petersburg: National Research ITMO University. 2020. 63 p.
7. Li Y. // *Environmental Science & Technology*. 2013. Vol. 47. P. 5050–5056.
8. Mityukov A. // *Genetics and breeding of animals*. 2020. Vol. 2. P. 63–69.

## **Биологический метод формирования газовых сред при холодильном хранении плодов с применением трековых мембран**

В.А. Костюк, В.С. Колодязная, О.Н. Румянцева,  
Е.И. Кипрушкина, И.А. Шестопалова

*Национальный исследовательский университет ИТМО,  
Россия, 197101, Санкт-Петербург, Кронверкский пр., 49*

**Аннотация.** По изменению интенсивности дыхания, содержания аскорбиновой кислоты, моно- и дисахаридов, сумме свободных органических кислот, а также органолептическим показателям качества и микробиологическим показателям безопасности плодов в процессе хранения выявлены преимущества холодильного хранения яблок в контролируемой атмосфере (газовый состав: концентрация кислорода —  $(5,2 \pm 0,1 \%)$ , диоксида углерода —  $(3,6 \pm 0,1 \%)$ ), создаваемой с помощью газоселективной композиционной мембраны площадью  $(18–22) \text{ см}^2/\text{кг}$ , состоящей из подложки на основе трековой мембраны из полиэтилентерефталата и селективного слоя на основе кремний органического блок-сополимера концентрацией 2,2 % с диаметром пор  $d = 0,2 \text{ мкм}$ .

В решении проблемы длительного хранения плодов с минимальными потерями важное значение имеет применение искусственного холода и дополнительных к холоду средств, в частности: модифицированной газовой среды с пониженным содержанием кислорода и повышенным диоксида углерода [3].

Для создания модифицированной газовой среды предлагается биологический метод, основанный на использовании газоселективных трековых мембран с учетом интенсивности дыхания плодов и овощей.

В настоящее время в литературе для хранения свежей плодовой продукции предлагают использовать различные мембраны, изготовленные на основе полимерных или тканевых материалов. Они отличаются коэффициентами вариации, адгезионными свойствами, проницаемостью, эксплуатационными характеристиками, селективностью и прочностью [1, 5].

Цель работы — исследовать и обосновать формирование газового состава в зависимости от интенсивности дыхания плодов и селективности трековых мембран при холодильном хранении яблок осенних сортов.

Объектами исследования выбраны яблоки осенних сортов: Грушовка Юдичева, Кордоновка и Пепин Шафранный.

Сорта яблок выращены в коллекционном саду Павловской опытной станции Всероссийского научно-исследовательского Института Растениеводства им. Н.И. Вавилова (ВНИИР)

В лабораториях ВНИИСК им С.В. Лебедева и Физико-технического института им А.Ф. Иоффе РАН изготовлены трековые мембраны из полиэтилентерефталата, обладающие высокой адгезией к газоселективному полимеру. Получение наноразмерных пор в полимерных материалах осуществлялось с помощью ионных пучков.

Для создания контролируемой газовой среды использовали композиционные газоселективные мембраны, состоящие из подложки на основе трековых мембран из полиэтилентерефталата и селективного слоя на основе кремнийорганического блок-сополимера; селективность 4–5; диаметр пор — 0,2 мкм.

Контролируемая атмосфера создавалась и регулировалась за счет дыхания плодов, помещенных в герметично закрытые полимерные контейнеры, имеющие газоселективную мембрану. Контрольные образцы яблок хранили в обычной атмосфере в контейнерах без крышек; опытные образцы — в контейнерах с герметично закрытыми крышками, оснащённые газо-селективными трековыми мембранами, площадь которых варьировали в интервале от 14 до 22 см<sup>2</sup>/кг. Контрольные и опытные образцы яблок хранили при температуре (3±1) °С в течение 70–100 сут.

Эффективность состава газовой среды оценивали по кинетике реакции окисления восстановленной формы аскорбиновой кислоты, моно- и дисахаридов, сумме свободных органических кислот, органолептическим показателям качества и микробиологическим показателям безопасности плодов в процессе хранения.

Интенсивность дыхания плодов определяли титриметрическим методом по выделению диоксида углерода и поглощению его раствором гидроксидом калия; содержание аскорбиновой кислоты методом Тильманса; моно- и дисахаридов — цианидным методом; органических кислот — титриметрическим методом в пересчете на яблочную кислоту [2, 4].

Загрузку и площадь мембран, концентрации кислорода и диоксида углерода рассчитывали по формулам:

$$\mu = \left( \frac{C_{O_2}^H}{C_{O_2}^K} - 1 \right) \mu_0, \quad (1)$$

где  $C_{O_2}^H$  — начальная концентрация кислорода, 21 %;  $C_{O_2}^K$  — рекомендуемый режим хранения по содержанию кислорода в контролируемой атмосфере, %;

$$\mu_0 = \frac{p \cdot P}{J}, \quad (2)$$

где  $P$  — проницаемость мембраны по кислороду,  $[2,0 \cdot 10^9 \text{ м}^3/(\text{с Н})]$ ;  $p$  — парциальное давление кислорода в атмосфере,  $(2,1 \cdot 10^4 \text{ Па})$ ;  $J$  — интенсивность дыхания плодов,  $\text{м}^3/(\text{кг с})$ ;

$$C_{\text{CO}_2} = \frac{\delta}{\sigma} (C_{\text{O}_2}^{\text{H}} - C_{\text{O}_2}^{\text{K}}), \quad (3)$$

где  $C_{\text{CO}_2}$  — концентрация  $\text{CO}_2$  в стационарном режиме, %;  $\delta$  — дыхательный коэффициент (1,1);  $\sigma$  — селективность мембраны;

$$S = \frac{m}{\mu}, \quad (4)$$

где  $S$  — площадь мембраны,  $\text{м}^2$ ;  $\mu$  — загрузка мембраны,  $\text{кг}/\text{м}^2$ .

Получены кинетические кривые изменения содержания моно- и дисахаридов, аскорбиновой и органических кислот в осенних сортах яблок в зависимости от газового состава по содержанию кислорода и диоксида углерода, а также продолжительности хранения плодов с применением трековых мембран.

Показано, что для максимального сохранения качества, пищевой и биологической ценности исследуемых сортов яблок при  $t=(3\pm 1)^\circ\text{C}$  рекомендуется контролируемая газовая среда следующего состава: концентрация кислорода —  $(5,2\pm 0,1 \%)$ , диоксида углерода —  $(3,6\pm 0,1 \%)$ , создаваемая с помощью газоселективной композиционной мембраны площадью от  $14\text{--}22 \text{ см}^2/\text{кг}$  в зависимости от сорта и интенсивности дыхания [6].

### Список литературы

1. Бабакин Б.С., Воронин М.И. Энергосберегающие холодильные технологии транспортировки, хранения и дозаривания фруктов. Москва: ДеЛи плюс. 2013. 190 с.
2. Базарнова Ю.Г. Методы исследования свойств сырья и пищевых продуктов. СПб: Университет ИТМО. 2012. 76 с.
3. Кипрушкина Е.И., Колодязная В.С., Чеботарь В.К. // Пищевая промышленность. 2013. № 2. С. 4–7.
4. Колодяжная В.С., Данина М.М., Коидов Ш.М. // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Процессы и аппараты пищевых производств. 2015. № 2. С. 53–60.
5. Колодяжная В.С., Коидов Ш.М. // Вестник Международной академии холода. 2015. № 1. С. 29–31.
6. Костюк В.А., Колодяжная В.С. // Неделя науки СПбПУ : материалы научной конференции с международным участием, Институт биомедицинских систем и биотехнологий. В 2 частях, Санкт-Петербург, 18–23 ноября 2019 года. – Санкт-Петербург: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого", 2019. С. 71–73.

## Селективная среда для культивирования бактерий рода *Pseudomonas* на основе жира личинок *Hermetia illucens*

И.Н. Зубков, С.М. Шишлянников, В.Ю. Ситнов

ВНИИПД — Филиал ФГБНУ «ФНЦ Пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН, Санкт-Петербург, Литейный проспект, 55

Личинки чёрной львинки *Hermetia illucens* всё чаще используются в качестве сырья для производства белковых добавок к корму сельскохозяйственных животных. Однако их жир, составляющий до 20 % массы насекомого, пока не находит никакого применения в производстве. Большой частью он состоит из триацилглицеридов, которые могут быть преобразованы в свободные жирные кислоты и глицерин путём гидролиза. Продукты гидролиза легко усваиваются бактериями рода *Pseudomonas*, которые служат продуцентом большого спектра дорогостоящих веществ, таких как биопластик (полигидроксиалканаты), рамнолипиды (моющие средства нового поколения) и производные феназина, обладающие выраженным антимикробным действием.

Условия полного щелочного гидролиза оптимизированы путём проведения экспериментов в присутствии избытка гидроксида натрия. Количество щёлочи, необходимое для полного гидролиза жира личинок *Hermetia illucens*, рассчитано исходя из данных титрования остаточного гидроксида натрия и составляет  $0,48 \pm 0,02$  г NaOH на 1 г жира. Доверительный интервал рассчитан с использованием t-критерия.

Методом газовой хроматографии/масс-спектрометрии изучен жирнокислотный состав образца жира личинок. Методика включает в себя метанолиз находящихся в образце производных жирных кислот, их экстракцию хлористым метиленом и последующий анализ методом ГХ/МС. В качестве внутреннего стандарта использовалась каприловая кислота. Показано, что жир личинок *Hermetia illucens* содержит 57 % непредельных жирных кислот, в том числе 2 % линоленовой кислоты. Образец жира характеризуется значительной неоднородностью содержания производных жирных кислот.

Среда М9 с добавкой 1 % гидролизата исследуемого жира в качестве источника углерода использовалась для культивирования изолята *Pseudomonas helmanticensis*. Культура эффективно метаболизирует субстрат, демонстрируя значительный рост биомассы. Предположительно, разработанная среда может использоваться в качестве субстрата для получения биологически-активных веществ путём биосинтеза.

## **The efficiency of using new brands silica gel for colloidal stabilization of beer**

T.V. Meledina, R. Harbah, R.A. Zotov

*ITMO University, Kronverksky Pr. 49, bldg. A,  
Saint Petersburg, 197101, Russia*

Colloidal stability is still to be one of the critical challenges facing the brewing industry. In brewing, chemical, physicochemical, enzymatic and mechanical methods are widely used to increase the colloidal stability of beer [1]. The physicochemical method is based on the use of stabilizers to remove colloids such as proteins and polyphenols that enter the beer from raw materials such as malt, unmalted grains and hops [2]. The most widely used products today are silica gel for protein stabilization and polyvinyl pyrrolidone (PVP) for polyphenol stabilization [3]. In Russia, the silica gel of foreign brands is widely used in brewing as an adsorbent for proteins (30–50 g / hl), which leads to a rise in production costs. Since any company strives to produce quality products at lower production costs, the ability to use domestic products in production that allows achieving the desired goal, rather than foreign (imported) products, is considered one of the preferred ways to reduce costs. In this regard, the aim of the study is to investigate the adsorption capacity of some brands of silica gel produced in Russia and their effectiveness in increasing the colloidal stability of beer. For the study, 4 samples of silica gel were proposed: three samples of domestic and one of a foreign brand "Stabifix". Samples of Russian-made silica gel corresponded to GOST 3956-76 "Technical silica gel. Technical conditions".

Beer was stabilized with silica gel of different samples at the rate of 30 g / hl of beer calculated on ADB. The efficiency of the process of removing protein colloids was assessed by the turbidity of the beer and the indicator "limit of protein precipitation by ammonium sulfate". It was found that all samples have practically the same sorption capacity.

The best results were obtained in the beer treated with silica gel of the "Stabifix" brand ( $H_{90} = 0.133$  EBC units) and "xerogel" of domestic production ( $H_{90} = 0.137$  EBC units). All beer samples treated with silica gel had a high protein precipitation limit of  $26 \pm 1$  ml, which corresponds to shelf life of at least 3 months. This conclusion is confirmed by the results obtained during the artificial ageing of beer. The method used assumes alternating temperatures of 60 °C and 0 °C. At each of these temperatures, the beer is thermostated for 24 hours. The turbidity of the beer is measured after each cooling operation. Measurements are carried out until the turbidity value reaches 2 EBC units. One day of ageing at 60 °C corresponds to one month of storage of beer without the appearance of turbidity. It was found that all beer samples

subjected to artificial ageing after 3 cycles of temperature alternation of 60 °C / 0 °C had practically the same turbidity, the value of which ranged from 2.29 to 2.41 EBC units in the experimental samples and 2.49 in a control sample of beer with silica gel “Stabifix”. On the basis of laboratory studies, the promise of using silica gel “xerogel” of domestic brands, which in their adsorption properties are not inferior to foreign ones, have been proved.

### **References**

1. Meledina T.V., Dedegkaeva A.T. Colloidal stability of beer. Saint Petersburg: ITMO University. 2014. 19 p.
2. Mastanjević K., Krstanović V., Lukinac J., Jukić M., Vulin Z. // Fermentation. 2018. Vol. 4. № 4. P. 91.
3. Wannemacher J., Gastl M., Becker. T. // Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. 2018. Vol. 17. № 4. P. 953–988.

## **Влияние ферментных препаратов на выход каротиноидов из растительного сырья**

А.С. Басковцева, У.С. Кыздарбек, Н.В. Баракова

*Национальный исследовательский университет ИТМО,  
Россия, 197101, Санкт-Петербург, Кронверкский пр., 49*

Каротиноиды — это пигменты, продуцируемые фотосинтезирующими организмами и некоторыми нефотосинтезирующими бактериями и грибами. Каротиноиды не синтезируются человеком, но необходимы для нормального функционирования организма, поэтому они должны поступать с пищей. Основным источником каротиноидов являются растения, в основном корни, цветы, фрукты и семена.

Пищевые каротиноиды, в частности  $\beta$ -каротин, обеспечивают организм провитамином А и обладают антиоксидантными свойствами, в связи с чем высказано предположение о влиянии каротиноидов на функции, связанные со старением, например, когнитивные функции и мышечную силу. Кроме этого механизм действия каротиноидов включает противовоспалительную активность, улучшение иммунного ответа и предотвращение хронических заболеваний, рака и глазных болезней по мере старения организма [2].

Лучшими источниками  $\beta$ -каротина являются: красная морковь, ягоды рябины, морозика, зелень петрушки, сельдерея, зеленый лук шпинат, облепиха, красный перец, тыква, помидоры, шиповник, абрикос, хурма, спаржа [3].

Сложность извлечения пигментов из растительного сырья заключается в том, что они локализованы в особых внутриклеточных образованиях — пластидах в виде глобул, кристаллов и белково-каротиноидных комплексов, соединенных с различными биополимерами — белками, пектинами и т. д. Клеточная стенка моркови, состоящая из пектина, целлюлозы, лигнина и гемицеллюлозы, также усложняет процесс экстракции. Но существуют активные ферменты, которые разрушают клеточную оболочку и тем самым освобождают каротиноиды для экстракции [1].

Поскольку получение  $\beta$ -каротина из растительного сырья является дорогим и энергозатратным процессом, цель исследования — получить наибольший выход данного вещества из моркови с помощью комплексных ферментных препаратов. Для этого было произведено сравнение двух ферментных препаратов: Фруктоцим МА и Фруктоцим БЕ производства «ERBSLÖH» Geisenheim (Германия). В состав препаратов входят следующие ферменты:  $\alpha$ -амилаза, экзо- $\beta$ -глюканаза, пектиназа, эндо-полигалактуроназа, ксиланаза и целлюлаза. В обоих

препаратах преобладают ферменты эндо-полигалактуроназа — разжижающий пектолитический фермент эндодействия, содержащийся в количестве 212 ПкС/мл и 87 ПкС/мл соответственно и катализирующий гидролиз пектовой кислоты.

Выдерживание ферментных препаратов производилось на водяной бане при температуре 50 °С в течение двух часов. В качестве экстрагента использовался гексан. Количественное содержание β-каротина в полученном экстракте определялось спектрофотометрическим методом [3].

По результатам первого эксперимента имеются следующие показатели β-каротина: 5,01±0,002 мг/100 г для образца моркови, натертой на мелкой терке и 2,85±0,009 мг/100 г для моркови, натертой на крупной терке. Данные цифры доказывают, что степень деструкции продукта значительно повлияла на выход β-каротина. Дальнейшие эксперименты проводились только с морковью, натертой на мелкой терке.

Второй эксперимент проводился для выбора более эффективного ферментного препарата. Имеется следующий результат по выходу β-каротина: 6,23±0,002 мг/100 г для мелкой моркови, обработанной ферментным препаратом Фруктоцим МА (дозировка 0,03 %) и 5,29±0,0001 мг/100 г для мелкой моркови, обработанной препаратом Фруктоцим БЕ (0,03 %). Фруктоцим МА показал более высокий результат, что может быть связано с наличием фермента экзо-β-глюканазы, которая отсутствует в препарате Фруктоцим БЕ и наличием большего количества эндо-полигалактуроназы.

Следующий эксперимент производился для определения оптимальной дозы препарата Фруктоцим МА. Результат был следующий: 1) дозировка 0,01 %: 6,00±0,061 мг/100 г; 2) дозировка 0,03 %: 6,23±0,002 мг/100 г; 3) дозировка 0,05 %: 7,91±0,212 мг/100 г. В данном опыте самый высокий результат показала дозировка ферментного препарата в количестве 0,05 %. При данной дозировке выход каротиноидов увеличился на 58 % по сравнению с контрольным образцом (морковь, натертая на мелкой терке).

#### **Список литературы**

1. Adadi P., Barakova N.V., Krivoshapkina E.F. // Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2018. № 66. P. 5925–5947.
2. Galanakis C.M. Carotenoids: Properties, Processing, and Applications. Academic Press. 2020. 385 p.
3. Базарнова Ю.Г. Методы исследования сырья и готовой продукции: Учеб.-метод. пособие. СПб.: НИУ ИТМО, ИХиБТ. 2013. 76 с.

## **Влияние режимов пастеризации функционального напитка адаптогенного действия на содержание антоцианов**

А.Р. Хасанов, Н.В. Баракова

*Национальный исследовательский университет ИТМО,  
Россия, 197101, Санкт-Петербург, Кронверкский пр., 49*

Проведено исследование влияния температурных режимов пастеризации на содержание антоцианов в функциональном напитке, приготовленном из черного и зеленого чая и натуральных соков винограда, яблок, киви, моркови, черники.

Для разработки рецептуры функционального напитка на основании сенсорной оценки выбрали оптимальные соотношения соков (винограда, киви, яблок, моркови и черники), зеленого и черного чая. Оценка проводилась дегустационной комиссией по 5 критериям: сладкий вкус; кислый вкус; гармоничность аромата; послевкусие; терпкость.

Функциональные напитки адаптогенного действия — это продукты, пригодные для систематического употребления и обладающие научно подтвержденными профилактическими свойствами. Адаптогенные напитки снижают риск развития заболеваний лимбической и нервной системы, защищают от интеллектуальных и физических нагрузок, а также адаптируют организм к стрессу путем улучшения нейрометаболизма, защите структур мозга, его сердечно-сосудистой системы и анксиолитическому (противотревожному) действию на центральную нервную систему. Благодаря антоцианам адаптогены стимулируют нервную деятельность, повышают работоспособность и когнитивные функции мозга [1].

При изготовлении функциональных напитков, обогащенных антоцианами, как и других напитков, необходимо проводить пастеризацию для обеспечения микробиологической стабильности [2]. В проектировании данной технологической стадии необходимо учитывать влияние повышенных температур на концентрацию антоцианов и подбирать такие режимы пастеризации, при которых будет сохранено максимальное количество антоцианов.

Для выбора оптимальных условий проводили эксперимент, в котором напиток с содержанием антоцианов  $548,0 \text{ мг/дм}^3$  пастеризовали по трем режимам: температура  $62^\circ\text{C}$  в течение 50 минут,  $72^\circ\text{C}$  в течение 25 минут и  $82^\circ\text{C}$  в течение 5 минут [3].

Во время пастеризации через определенные промежутки времени отбирали пробы, в которых определяли концентрацию антоцианов фотокolorиметрическим методом, основанным на стабилизации антоцианов напитка подкисленным до pH 1–2 этиловым спиртом, определении оптической плотности пробы и пересчете последней на содержание одного из антоцианов, мальвидина, с помощью множителя  $K = 1056,7$ .

Интервалы замера концентрации антоцианов были следующими:

1. во время пастеризации при 62 и 72 °C — каждые 5 минут;
2. во время пастеризации при 82 °C — каждую минуту.

В результате были получены зависимости концентрации антоцианов в напитке  $C_a$  от времени выдержки  $\tau$  (рисунки 1, 2).

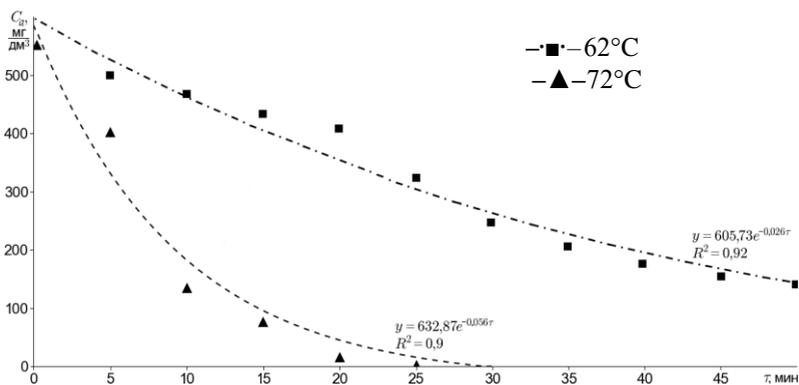


Рис. 1. График снижения концентрации антоцианов во время пастеризации при 62 и 72 °C

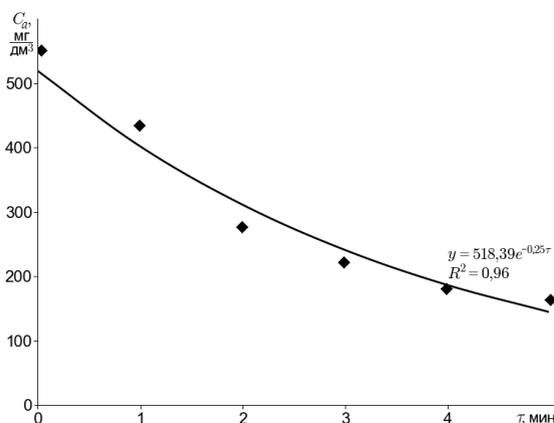


Рис. 2. График снижения концентрации антоцианов во время пастеризации при 82 °C

Из графиков видно, что подверженность антоцианов деградации в различных режимах отличалась: при 62 °С концентрация антоцианов снизилась на 78 % в течение 50 минут; при 82 °С — на 67 % за 5 минут; при 72 °С — упала до нуля в течение 25 минут. Во всех случаях общее микробное число (КМаФАнМ) было в пределах норм, установленных ТР ТС 201/2011 «О безопасности пищевой промышленности», а дрожжи и плесени отсутствовали.

Таким образом, оптимальными режимами пастеризации функционального напитка адаптогенного действия с точки зрения сохранения максимального количества антоцианов является короткая пастеризация при 82 °С в течение 5 минут. Но так, как на деградацию антоцианов помимо температуры влияет длительность пастеризации, поэтому рациональным решением явилось использование рекомендованного времени выдержки 2 минуты так как это является экономически целесообразным, и также обеспечивает

Полученные результаты позволяют выбрать режим пастеризации функционального напитка — 2 минуты при 82 °С, — позволяющий сохранить максимальное количество антоцианов и обеспечить микробиологическую стабильность.

### **Список литературы**

1. Тараховский Ю.С., Ким Ю.А., Абдрасилов Б.С., Музафаров Е.Н. Флавоноиды: биохимия, биофизика, медицина. Пушино: Synchronobook. 2013. 310 с.
2. Матвеева Н.А., Хасанов А.Р., Торопова А.В., Божко К.А., Ереско С.О., Айрапетов М.И. Разработка рецептуры функционального напитка с использованием растительного экстракта *Hoodia gordonii*. Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Процессы и аппараты пищевых производств. 2019. № 1(39). С. 37–46.
3. Функциональные напитки и напитки специального назначения. Поль Пакен. Санкт-Петербург: Профессия. 2010. 495 с.

## Разработка кексов функционального назначения

Б.А. Джамалдинова, И.У. Ушаева, А.Р. Ахмедова

*Грозненский государственный нефтяной технический университет  
им. ак. Д.М. Миллионщикова, г. Грозный*

### Аннотация

Тенденция «оздоровления» продуктов питания требует широкого развития производства продуктов функционального назначения. Для решения поставленной задачи представляется перспективным разработка мучных кондитерских изделий с добавлением муки из термически обработанного зерна кукурузы (ТОЗ). Было установлено, что ТОЗ обладает высокой пищевой и биологической ценностью, помимо этого придает изделиям привлекательные органолептические показатели качества. Исследование разработанных кексов из пшеничной муки с внесением кукурузной муки из термически обработанного зерна (ТОЗ) в различных дозировках показало, что наиболее оптимальным является образец с добавлением 20 % муки из (ТОЗ), так как именно этот образец соответствует требованиям стандарта и обладает приятным сладким вкусом и запахом «каленого ореха».

**Ключевые слова:** мука из термически обработанного зерна кукурузы (ТОЗ), микронутриенты, функциональная добавка, сахаросемкость, запах «каленого ореха».

Рынок мучных кондитерских изделий (МКИ) в большинстве стран динамично развивается, характеризуется сильной конкуренцией и требует новых продуктов высокой пищевой и биологической ценности [1].

Одним из перспективных направлений решения этой задачи-обогащение МКИ дефицитными микронутриентами путем внесения функциональных добавок натурального происхождения в продукты широкого потребления.

Тенденция «оздоровления» продуктов питания требует широкого развития производства продуктов функционального назначения, которые благодаря наличию в своем составе биоактивных компонентов, способны улучшать многие физиологические процессы в организме человека, повысить его сопротивляемость заболеваниям, стимулировать активный образ жизни.

Изменение химического состава изделий возможно за счет использования нового функционального сырья, что требует глубоких исследований для получения высококачественной конкурентоспособной продукции [2].

Для решения поставленной задачи представляется перспективным разработка мучных кондитерских изделий с добавлением кукурузной муки.

Кукурузная мука на 56,3 % состоит из углеводов. 22 % составляют пищевые волокна, доля бексов — 8,78 %, 2,31 % приходится на жиры, 0,55 % — вода. В состав входят жизненно важные органические соединения: ретинол (А); каротины; ряд витаминов группы В (В<sub>1</sub>, В<sub>2</sub>, В<sub>5</sub>, В<sub>6</sub>, В<sub>9</sub>, В<sub>12</sub>); холин; аскорбиновая кислота (С); токоферол (Е); витамины групп К; никотиновая кислота (РР). Содержатся 11 элементов таблицы Менделеева: металлы, даже такие редкие, как селен. Их полезные свойства неопределимы для здоровья человека. Благодаря более низкой калорийности кукурузная мука полезнее пшеничной. Она улучшает работу кишечника, уменьшает брожение. Укрепляет сосуды, делает их более эластичными. Противостоит скоплению холестерина. Укрепляет иммунную систему. Железо стимулирует воспроизводство кровяных клеток и доставку к ним кислорода. Содержащийся в растении фтор укрепляет кости. Зубы становятся прочнее. Магний улучшает память. Витамины омолаживают клетки кожи. Белок поддерживает мышечный тонус [3–5].

Ранее нами была проведена работа по получению кукурузной муки из термически обработанного зерна и исследованию его химического состава и органолептических показателей [6]. Было установлено и доложено в печати, что мука из термически обработанного зерна кукурузы обладает высокой пищевой и биологической ценностью, обладает специфическими органолептическими показателями и технологическими свойствами привлекательными для производства мучных кондитерских изделий.

Исходя из вышеизложенного были разработаны кексы из пшеничной муки с внесением кукурузной муки из термически обработанного зерна (ТОЗ) в различных дозировках.

Для исследования влияния кукурузной муки (ТОЗ) на свойства кондитерского теста и показатели качества кексов, нами было замешано тесто с дозировкой 10, 20, 30, 50 % к общей массе сырья со снижением дозировки сахара на 20 %.

В качестве контрольного выбран образец, приготовленный традиционным способом по рецептуре кекса «Столичный» с использованием химического разрыхлителя. Образцы теста дозировали в формы и выпекали в лабораторной печи при температуре 150 °С в течение 15 мин. Готовые изделия оценивали по органолептическим и физико-химическим показателям (табл. 1, 2).

Таблица 1. Органолептические показатели качества кексов

Наименование показателя	Контрольный образец	Дозировка припаса из мушмулы, %			
		10	20	30	50
Вкус и запах	Со сладким вкусом и характерным ароматом	Вкус и запах невыраженные,	Вкус с приятной сладостью, характерный запах «каленого ореха»	Вкус свойственный, запах интенсивно выраженный	
Вид в изломе	С равномерной пористостью, без следов непромеса	С равномерной пористостью, без следов непромеса и закала			Пористость не развитая
Структура	Мягкая, разрыхленная, без пустот и уплотнений	Мягкая, разрыхленная, без пустот и уплотнений			Уплотненная, сухая с крупными порами
Форма	Правильная, с выпуклой поверхностью	Правильная, с выпуклой поверхностью			Правильная, с плоской поверхностью

Таблица 2. Физико-химические показатели качества кексов

Наименование показателя	Контрольный образец	Образец с дозировкой припаса муки из термически обработанного зерна 25 %
Массовая доля влаги, %	17,0	16,5
Массовая доля общего сахара, %	35,1	24,8
Щелочность (общая кислотность), град	2,0	2,0

Исследование свойств теста показало, что внесение муки из (ТОЗ) в дозировке 50 % приводила к ухудшению структурно-механических свойств по сравнению с контролем, что связано с тем, что термически обработанная мука больше поглощает влаги, поэтому мякиш сухой, уплотненный. Запах «каленого ореха», характерный для муки из (ТОЗ) при дозировке до 50 % придает изделия слишком интенсивный характер.

Образец кекса с добавлением 50 % муки из (ТОЗ) не соответствует требованиям ГОСТ 15952-2014 по органолептическим показателям, образец с добавлением 10 % припаса без выраженного вкуса и запаха.

Наиболее оптимальным является образец с добавлением 20 % муки из (ТОЗ), так как соответствует требованиям стандарта и обладает приятным сладким вкусом и «каленого ореха». Уменьшение дозировки сахара в этом образце на 20 % от контрольного образца обеспечивает снижение сахароемкости изделия при достаточно приятной сладости.

Исследования по данному направлению на кафедре ТПП и БП проводятся, в связи с чем для возможности рекомендации разработанного образца в пищевом рационе диабетиков планируется продолжить исследование с заменой сахара на фруктозу, которая не противопоказана при сахарном диабете.

В целях подтверждения высокой пищевой ценности разработанного образца кекса с добавлением муки из (ТОЗ) необходимо провести лабораторные испытания на содержание важнейших микронутриентов в готовой продукции.

#### **Список литературы**

1. Магомедов Г.О., Олейникова А.Я, Шевякова Т.А. Технология кондитерских изделий. Москва: ДеЛи принт. 2009. 290 с.
2. Магомедов Г.О., Лукина С.И., Израилова Х.А. Технология мучных кондитерских изделий функционального назначения. Воронеж: ВГУИТ. 2016. 135 с.
3. Матвеева Т.В., Корячкина С.Я. Физиологически функциональные пищевые ингредиенты для хлебобулочных и кондитерских изделий: монография. Орел: ФГБОУ ВПО «Госуниверситет — УНПК». 2012. 947 с.
4. Мэнли Д. Мучные кондитерские изделия / Мэнли Д.: пер. с англ. В.Е. Ашкинази; науч.ред. И.В. Матвеева. СПб: Профессии. 2005. 558 с., ил. (Серия: Научные основы и технологии).
5. Джамалдинова Б.А. Материал канд. диссер. Получение и применение полуфабрикатов дикорастущих плодов для обогащения кондитерских изделий. Воронежю 2007.
6. Трубина И.А., Скорбина Е.А. // Современная наука и инновационные образовательные технологии: Материалы V Международной научно-практической конференции профессорско-преподавательского состава и магистрантов Ставропольского института кооперации (филиала) БУКЭП, Ставрополь, 29–30 октября 2019 года / Под общей редакцией В.Н. Глаза, В.И. Бережного. – Ставрополь: Общество с ограниченной ответственностью "Издательско-информационный центр "Фабула", 2019. С. 257–259.

## Расширение линейки рецептур бараночных изделий

А.В. Тихий, Н.В. Баракова, Е.С. Сергачева

*Национальный исследовательский университет ИТМО,  
Россия, 197101, Санкт-Петербург, Кронверкский пр., 49*

На сегодняшний день перспективным способом расширения ассортимента, рациона и улучшения качества питания населения одновременно с повышением потребительских свойств изделий является использование продукции, обогащенной видами растительного сырья. Среди продуктов ежедневного потребления особое место занимают хлебобулочные изделия, большую долю которых составляют изделия с пониженной влажностью — баранки. Анализ рынка бараночных изделий в России и мире показывает устойчивую тенденцию роста [1, 2].

В исследованиях в качестве функциональных добавок использовали сухой порошок свеклы и моркови компании ООО «Витбиокор», республика Беларусь. Свекольный и пшеничный порошки добавляли в пшеничную муку высшего сорта. После предварительных пробных замесов была установлена доза внесения сухой свеклы и сушеной моркови в количестве 6 % от массы пшеничной муки [3].

Красная свёкла относится к овощной культуре, которая широко распространена по Российской Федерации. Столовая свёкла богата сахарозой, пектином, целлюлозой. Основными углеводами являются сахараиды, а также пищевые волокна, к которым относятся пектины, гемицеллюлозы и целлюлозы [4].

Внесение сушеной моркови обогатило продукт таким важным компонентом, как бета-каротином, который является не только пигментом, красителем, но и обладает провитаминой активностью и онкопротекторными свойствами.

Определение основных качественных показателей сырья, полуфабрикатов и готовой продукции проводили согласно ГОСТ 32124-13 Изделия хлебобулочные бараночные. Общие технические условия. Для определения физико-химических показателей полуфабрикатов использовали следующие методики: температуру теста определяли электронным термометром с точностью определения 0,1 °С. Массовую долю влаги в полуфабрикате измеряли на приборе "ЭЛЕКС-7" и выражали в процентах к массе полуфабриката. Кислотность полуфабрикатов определяли титрометрическим методом.

В результате опытов была отработана рецептура баранки сдобной. В основе которой лежит рецептура, из сборника рецептур [5]. Перед замесом теста готовилась опара из 20,0 кг муки, 0,4 кг дрожжей, 10,0 кг

воды. После брожения опары, замешивалось тесто из всей опары — 30,4 кг, муки пшеничной в/с 80,0 кг, масло подсолнечное 8,0 кг, сахар песок 9,0 кг, соли 1,5 кг, воды 28,5 кг. Были подобраны технологические параметры.

По физико-химическим показателям: для опары — время замеса составляет 6,0 мин, влажность 41,4 %, кислотность 3,6 град, температура начальная 33,4 °С, время брожения 180 мин. Для теста показатели были следующими: время замеса 8 мин, влажность теста 31,6 %, кислотность конечная 2,8 град, температура конечная 31,6 °С, время брожения 10 мин.

По технологическим параметрам: влажность в расстоечном шкафу 80–84 %, температура расстоечного шкафа 35–36 °С, продолжительность расстойки 55–60 мин, давление пара в камере ошпарки 0,015–0,018 МПа, время выпечки 12 мин, температура по зонам 230–250 °С.

Внесение свеклы позволило получить баранки с розовым оттенком поверхности и мякиша. По вкусовым характеристикам баранки со свеклой обладали более выраженным сладким оттенком, в сравнении с контрольным образцом. Мякиш и поверхность баранки с морковью были с желтым оттенком, по сравнению с контрольным образцом. На вкусовые характеристики внесение порошка моркови оказало незначительное влияние.

В результате проведенных экспериментов были получены бараночные изделия с высокими органолептическими показателями, обогащенные биологически активными веществами и сокращенным временем расстойки.

### **Список литературы**

1. Ямбулатова М.А. // Материалы международной научно-практической конференции. 2011. С. 74–76.
2. Сулима Я.В. // Вестник КрасГАУ. 2011. № 4. С. 190–193.
3. Широкова Л.А. // Хлебопродукты. 2009. № 11. С. 45–49.
4. Блинова О.А., Праздничкова Н.В., Троц А.П. // Сборник научных трудов международной научно-практической конференции. 2019. С. 481–484.
5. Кузьминский Р.В., Патт В.А., Казанская Л.Н., Поладова Р.Д. Сборник технологических инструкций для производства хлебобулочных изделий. М: Прейскурант. 1989. 495 с.

## **Culture of green algae *Ulva rigida* C. Ag.: producing germ plants**

O. Bityutskaya, L. Bulli, N. Mazalova, S. Seryogin

*Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education  
«KerchStateMaritimeTechnological University», 82 Ordzhonikidze Str.,  
Kerch, 298309, Russia*

Biological features of growth and high specific production, rich in carbohydrate component, availability of essential macro- and microelements, average calorie content make *Ulva rigida* C. Ag. an attractive target species of marine aquaculture in the Azov-Black Sea area. It allows in the future to consider this species as an accessible resource [1, 2].

In the course of experiments on obtaining and growing ulva germ plants, cultivation modes were worked out: in the first version, the ulva thallus were grown under conditions of increasing salinity from 22 to 29 ‰, in the second, the salinity was maintained in the range of 18–22 ‰. Ulva was cultured in aquariums with constant aeration and water circulation.

The water temperature in all aquariums was the same and, depending on weather conditions, varied from 18 to 22.6 °C, the average temperature was (20.9 ± 0.2) °C. The light intensity was slightly different – in the first version it varied within 640–4500 lux, in the second – 570–3800 lux. More intense fruiting was observed in the first variant of the experiment, which is probably associated with an increase in light intensity up to 3.5–4.7 thousand lux and salinity up to 26–29 ‰ on certain days.

Under the experimental conditions, the frequency of production of ulva spores was observed, as evidenced by the presence of peaks on the variation curves of the distribution of the length of the longest ray of germ plants and an increase in heterogeneity. According to A.A. Kalugina-Gutnik [3], in the Black Sea, the maturation of zoospores and ulva gametes and their release are associated with the phases of the moon and occur every 12 days in the full moon and new moon, with the destruction and dying off of the fertile part of the thallus lamina.

The abundant number of germ plants was obtained at the end of January, the length of the most developed ray of the germ plants reached 420 µm, the width was 21 µm, the number of rays was recorded from 3 to 8. With further germination of embryos, a single-row filament is well differentiated, consisting of primary adherent cells and rhizoidal cell extensions in the lower region of the filament. The division of cells along the longitudinal axis leads to the development of a tubular monostomatous sprout.

Under the experimental conditions, the formation of creeping filaments was observed, arranged in the form of a disk, from the cells of which one or more vertical single-row filaments grew later.

The filamentous form of ulva ("slender") is also found in nature and is also used in cooking. Some authors believe that the appearance of this form is due to a change in some environmental factors, in particular, the microbiological component [4]. It is believed that macroalgae can create a favorable environment around themselves, forming and controlling the species composition of organisms [5, 6]. For green algae *r. Ulva*, bacterial effects on morphogenesis were noted [7–9]. Over time, the tubular monostomatous sprout, like slender, can transform into a dystromaticlamina.

Thus, the processes of sporogenesis and gametogenesis in green algae depend on many factors, to a large extent on light intensity, length of daylight hours, salinity and temperature. An increase in salinity above 26 ‰ and illumination exceeding 3–4 thousand lux, intensifies the fruiting of ulva, significantly reducing the growth of the biomass of the sporophyte alga. During the period of active release of spores, the growth of the ulva biomass decreases, the average daily increment is only 0.03–0.04 %. The maximum vegetative growth of algae 4.0–4.5 % per day is observed during periods of absence of intensive fruiting. Ulva sprouts develop rather quickly and grow well under laboratory conditions, withstanding significant fluctuations in environmental parameters (salinity and light intensity), reaching a marketable size (weight) in 6–8 months of cultivation. By adjusting the environmental conditions, it is quite possible to adjust the intensity of biomass growth and fruiting, obtaining not only a significant increase in algae thalli, but also young lamellar or filamentous forms of ulva from germ plants.

### References

1. Titlyanov E.A., Titlyanova T.V. Marine plants of Asian-Pacific Region, their use and cultivation. Vladivostok: Dalnauka. 2012. 377 p.
2. Bitutskaya O.E., Bulli L.I., Donchenko L.V. // *Rybnoe hozyajstvo*. 2020. № 4. P. 94–100.
3. Kalugina-Gutnik A.A. Phytobenthos of the Black Sea. Kiev: Nauk. Dumka. 1975. 247 p.
4. Antica M., Marcenko E. // *Acta Bot. Croat.* 1984. № 43. P. 43–48.
5. Voskoboinikov G.M. PhD-thesis. Murmansk: MMBI. 2006. 46 p.
6. Pugovkin D.V. PhD-thesis. Murmansk: MMBI. 2016. 146 p.
7. Provasoli L., Pintner I.J. // *J. Phycol.* 1980. Vol. 16. P. 196–200.
8. Tujula N.A. PhD-thesis. New South Wales: University of New South Wales. 2006. P. 178.
9. Singh R.P., Reddy C.R.K. // *FEMS Microbiol. Ecol.* 2014. Vol. 88. P. 213–230.

## Эколого-экономические аспекты применения биологических средств защиты при производстве сельхозкультур на примере картофеля

Е.И. Кипрушкина, О.И. Сергиенко, В.С. Колодязная, О.Н. Румянцева

*Национальный исследовательский университет ИТМО,  
Россия, 197101, Санкт-Петербург, Кронверкский пр., 49*

### Аннотация

Экологизация сельскохозяйственного производства и постурожайных технологий хранения растительной продукции является актуальной с точки зрения реализации принципов устойчивого развития. В работе рассматривалось применение биопрепаратов на основе бактерий-антагонистов родов *Pseudomonas*, *Bacillus* в полном жизненном цикле производства картофеля, включая аграрные технологии, технологии производства, длительного холодильного хранения и потребления. Показано, что бактерии-антагонисты проявляют свойства элиситоров защитных реакций растительных тканей. Интенсифицируются адаптационные защитные реакции инокулированных клубней картофеля с образованием стрессовых метаболитов — фитоалексинов, суберина, происходит активизация реакций репарации поврежденных тканей, фенольного метаболизма и окислительных ферментов, клубни отличаются повышенным содержанием аскорбиновой кислоты, изменяется фитогормональный статус клубней. Снижается количество инфицированных клубней в урожае на 17 %, повышается массовая доля сухих веществ в среднем по сортам на 2,27 %, количество ни тратов снижалось до 23,9 %. Проведена эколого-экономическая оценка применения биопрепаратов.

**Ключевые слова:** постурожайные технологии, картофель, бактерии-антагонисты, жизненный цикл, нитраты, пищевая ценность, органическое земледелие.

В настоящее время растет потенциал различных составляющих биотехнологий для достижения устойчивых результатов в агробизнесе, а также для развития органического земледелия в России и в мире [1–5].

Актуальной является задача экологизация сельскохозяйственного производства и постурожайных технологий хранения растительной продукции, восстановление плодородия почв при минимальном применении экологически опасных химикатов. Частичное или полное замещение химикатов препаратами симбиотических микроорганизмов позволяют внедрять интегрированные системы защиты растений.

Цель исследования — изучить эколого-экономические аспекты применения биологических средств защиты при производстве сельскохозяйств на примере картофеля.

Объекты и методы исследования- картофель сортов Луговской. Сорта Невский, Пушкинец, Сантэ, Елизавета. Помимо изучения количественных потерь урожая при применении биологических средств исследовалось влияние условий биообработок при производстве картофеля на изменение показателей качества и безопасности клубней.

Установлено, что обработка клубней картофеля перед закладкой на длительное хранение суспензией культуральной жидкости (КЖ) бактерий рода *Mycobacterium* наиболее эффективна и снижает заболеваемость клубней фузариозом и фитофторозом в 2–3 раза.

Показана целесообразность проведения лечебного периода для клубней с глубокими механическими повреждениями с применением бактерий-антагонистов. Рекомендовано исключить лечебный период клубней с незначительными механическими повреждениями, но обработанными суспензией КЖ микобактерий [3].

Обработка картофеля перед посадкой КЖ бактерий-антагонистов исследуемых штаммов снижает количество инфицированных клубней в урожае на 17 %.

На основании анализа полученных данных было установлено, что применение бактериальной инокуляции при обработке посадочного материала и вегетирующих растений оказывает влияние на пищевую ценность клубней нового урожая. Микробиологические препараты, интенсифицируя синтетические процессы и регулируя поступление питательных элементов в клубни при вегетации, ускоряют созревание и улучшают качество картофеля.

Результаты изучения содержания общей массы сухих веществ показывают, что пищевая ценность продовольственного картофеля в опытных вариантах за счет увеличения массовой доли сухих веществ выше в среднем по сортам на 2,27 % относительно контроля.

Значительное влияние на накопление сухих веществ оказывает применение бактериальной инокуляции *B.subtilis* Ч13, особенно в варианте КМУ+ *B.subtilis* Ч13.

Необходимо отметить уменьшение содержания нитратов в растительных тканях при биологизации картофеля. Активизация биохимических реакций в клубнях картофеля при бактериальной инокуляции, стимулирующая трансформацию нитратов в необходимые азотсодержащие вещества, обуславливает снижение содержания нитратов в среднем по сортам и вариантам опытов на 5,95 мг/кг.

В присутствии *B.subtilis* Ч13, *B.species* 083, *Ps.sp.115* количество нитратов заметно снижалось. Особенно чётко эта тенденция проявилась

при совместной инокуляции *B.subtilis* Ч13 с обработкой КМУ. Так, количество нитратов в клубнях сорта Луговской в данном варианте опыта сразу после сбора урожая снизилось на 23,9 % по сравнению с контролем, а в варианте, где была использована только бактериальная инокуляция *B.subtilis* Ч13 снижение составило относительно контроля 17,7 %.

При оценке результатов снижения количества нитратов необходимо учитывать наличие прямой зависимости между содержанием нитратов в клубнях и пораженностью растений инфекционными заболеваниями.

В работе проведена оценка влияния биобработки на жизненный цикл производства корнеплодов картофеля.

### Список литературы

1. S. Compant, B. Duffy, J. Nowak et al. Use of PGPB for biological control of plant diseases: principles, mechanisms of action and future prospects // Appl. Environ. Microbiol. 2005. Vol. 71. №9. P. 4951–4959.
2. J.M. Whipps, B Gerhardson. Biological pesticides for control of seed- and soil-borne plant pathogens. In: Van Elsas JD, Jansson JD, Trevors JT, editors. Modern Soil Microbiology. 2nd Edition. CRC Press; FL: 2007. P. 479–501.
3. В.С. Колодязная., Е.И. Кипрушкина, И.А. Шестопалова, С.С. Мишин. Биопрепаративное сопровождение постурожайных технологий // Актуальная биотехнология. 2019. № 3 (30). С. 82–84.
4. И.А. Тихонович, Н.А. Проворов, Сельскохозяйственная микробиология как основа экологически устойчивого агропроизводства: фундаментальные и прикладные аспекты // Сельскохозяйственная биология. 2011. № 3. С. 3–9.
5. Щербаков А.В., Щербакова Е.Н., Мулина С.А., Роц П.Ю., Дарью Р.Ф., Кипрушкина Е.И., Гончар Л.Н., Чеботарь В.К. Психрофильные псевдомонады-эндофиты как потенциальные агенты в биоконтроле фитопатогенных и гнилостных микроорганизмов при холодильном хранении картофеля // Сельскохозяйственная биология. 2017. Т. 52. № 1. С. 116–128.

## **Ресурсосберегающая технология функциональных продуктов питания на основе биомодифицированного мясного сырья страуса**

Е.А. Рогозина, В.С. Колодязная, И.А.Шестопалова, Е.И. Кипрушкина,  
О.Н. Румянцева, Ю.В. Бройко

*Национальный исследовательский университет ИТМО,  
Россия, 197101, Санкт-Петербург, Кронверкский пр., 49*

Структура питания большинства населения Российской Федерации не соответствует концепции сбалансированного питания, о чем свидетельствуют систематические исследования, проводимые институтом питания РАМН. В связи этим целесообразным является разработка функциональных пищевых продуктов массового потребления на основе нетрадиционных источников мясного сырья отечественного производства, в том числе мяса страуса, обладающего высокой пищевой и биологической ценностью.

Российское фермерское страусоводство является относительно молодой и динамично развивающейся отраслью сельского хозяйства. Большой интерес к выращиванию страусов обусловлен их высокой продуктивностью в сравнении с другими сельскохозяйственными животными. Следует отметить, что мясо страуса является диетическим, не имеет религиозных и национальных ограничений.

По органолептическим показателям качества и химическому составу оно не уступает, а по некоторым показателям превышает традиционные виды мясного сырья. Мясо страуса отличается низким содержанием холестерина, высоким содержанием белка — до 21 %, благоприятным для усвоения организмом человека жирнокислотным составом и низкой калорийностью. Кроме того, оно является источником витаминов РР, Е, группы В, минеральных элементов железа, селена, кальция, фосфора, калия.

Однако, мясо страуса отличается высоким содержанием соединительной ткани и не полноценного белка коллагена, что придает ему жесткость и снижает усвояемость белков.

Отечественный и мировой опыт свидетельствуют о целесообразности применения ферментных препаратов для биомодификации свойств низкосортного сырья в мясной отрасли, и его использования в технологии функциональных продуктов целевого назначения.

Цель исследования — разработать рецептуры и ресурсосберегающую технологию полуфабрикатов функционального назначения на

основе ферментированного мясного сырья страуса с добавлением ингредиентов растительного происхождения.

Объектом исследования выбрано мясо бедренной части мяса страуса, выращенной на территории Ленинградской области (пос. Белоостров). В качестве растительных ингредиентов выбраны топинамбур, сельдерей, корнеплоды, льняное масло и пряности.

Для биомодификации свойств мяса использован ферментный препарат коллагеназы (ТУ 9154-032-11734126-10), полученный из гепатопанкреаса камчатского краба с протеолитической активностью 130 ПЕ / мг препарата, РН = 6,5.

Коллагеназа — протеолитический фермент, который эффективно разрушает пептидные связи в природном коллагене, ингибирует синтез металлопротеаз и предотвращает разрушение протеогликанов, а также коллагена хрящевой ткани.

Для оптимизации технологических параметров ферментирования фарша с применением коллагеназы использовали метод дробных реплик при изучении влияния на функции отклика трех факторов: массовой доли коллагеназы ( $C$ , кодированная переменная  $X_1$ ), продолжительности ( $t$ , кодированная переменная  $X_2$ ) и температуры выдержки фарша ( $\tau$ , кодированная переменная  $X_3$ ). Функциями отклика выбраны значения влагоудерживающей способности ( $Y_1$ ) и содержание аминного азота ( $Y_2$ ). Параметры ферментирования фарша на основном уровне и интервал варьирования приняты следующие:  $C_0 = 0,04 \%$ ,  $\Delta C = 0,02 \%$ ;  $t_0 = 4$  ч,  $\Delta t = 2$  ч;  $\tau_0 = 12$  °С,  $\Delta \tau = 7$  °С.

Физико-химические и органолептические показатели качества полуфабрикатов на основе ферментированного мяса страуса определяли стандартными методами.

Составлены матрицы планирования эксперимента и уравнения регрессии, адекватно описывающие изучаемый процесс. Предложены оптимальные технологические параметры ферментирования фарша на основе мяса страуса с применением коллагеназы: массовая доля коллагеназы 0,05 %, продолжительность выдержки фарша 4,5 ч при  $t = 13$  °С, позволяющие получить фарш с высокими органолептическими показателями и функционально-технологическими свойствами, по сравнению с контрольным образцом.

Показано, что применение коллагеназы, обладающей протеолитической активностью и субстратной специфичностью к расщеплению коллагена соединительной ткани значительно улучшает функционально-технологические свойства и повышает выход готового продукта за счет конверсии структуры белков и трансформации свойств. Кроме того, применение коллагеназы для обработки сырья с повышенным содержанием соединительной ткани увеличивает содержание свободных

аминокислот и небелковых азотистых соединений, которые при тепловой обработке превращаются в летучие соединения, участвующие в формировании мясного вкуса и аромата.

Основываясь на теоретических положениях пищевой комбинаторики и МР 2.3.1.2432-08 разработаны рецептуры фаршевых полуфабрикатов функционального назначения, компонентами которых выбраны: ферментированное мясо страуса, топинамбур, сельдерей, морковь, казеинат натрия, масло льняное и пряности.

Составленные рецептурные композиции полуфабрикатов отличаются высоким содержанием полноценного белка, обогащены железом, селеном, пищевыми волокнами, витаминами, имеют высокие показатели биологической и пищевой ценности и отвечают требованиям функционального питания.

Разработана ресурсосберегающая технология мясорастительных полуфабрикатов, предназначенных для хранения в охлажденном состоянии.

По комплексу органолептических и физико-химических показателей качества и микробиологическим показателям безопасности обоснован срок годности мясорастительных полуфабрикатов, равный с учетом коэффициента резерва 6 сут при температуре хранения  $(4\pm 1)^\circ\text{C}$ .

Ферментированное мясо страуса, полученное при выбранных режимах биомодификации, рекомендуется использовать в технологии различных деликатесных, колбасных изделий, мясорастительных полуфабрикатов, консервах и других продуктов питания с целью повышения усвояемости белков соединительной ткани и профилактики алиментарно-зависимых заболеваний людей с пониженной активностью протеолитических ферментов желудочно-кишечного тракта.

# Содержание

## Section 1. Energy Saving and Energy Efficiency

### Секция 1. Энергосбережение и повышение энергетической эффективности

#### Mathematical methods for solving problems of electrostatics in a layered environment

*G.D. Kogai, A.L. Those, V.G. Drozd, V.L. Ivanov, T.L. Ten*..... 4

#### Mathematical model and analysis of hybrid solar hot-water systems for northern territories of Russia

*N.A. Tsvetkov, S. Boldyryev, Yu.O. Krivoshein, A.V. Tolstykh, A.V. Petrova*..... 6

#### Energy analysis of the heat balance of an energy efficient home on Lake Baikal

*V.Yu. Borodulin, M.I. Nizovtsev, I.A. Ogorodnikov*..... 8

#### Предотвращение отложений минеральных солей и коррозии металла в системах водопользования как способ энергосбережения

*Б.Н. Дрикер, А.А. Протазанов, Н.В. Цирульникова, Ю.И. Кузнецов*.... 10

#### Влияние условий работы алюминиевого радиатора на его тепловую мощность

*З.Г. Марьина, А.Ю. Верещагин, М.А. Комаревцев, А.В. Новожилова, К.О. Исаева* ..... 12

#### Energy efficiency improvement in geothermal hot water supply of residential buildings in Russia

*E.A. Vizoverov* ..... 16

#### Компенсация реактивной мощности и снижение потерь электроэнергии на транзит

*А.Ю. Четыркина, С.В. Голобоков, Т.Ю. Бростилова, А.А. Тихомирова* ..... 18

#### Повышение экологичности сжигания смесей в топках малого объёма за счёт включения органических компонентов

*Л.В. Кулагина, И.В. Кириллова* ..... 20

**Environmental assessment of energy efficient and energy saving technologies**

*V.A. Savoskula, A.S. Pavlova, O.I. Sergienko, I.O. Vdovina, K.A. Pichugina, L.I. Kalashnikova*..... 22

**Selection of the optimal fuel type for syngas production by the high-temperature co-electrolysis CO<sub>2</sub> and H<sub>2</sub>O**

*M.T. Kuznetsov, S. Boldyryev* ..... 24

**Design approaches for photovoltaic thermal collectors with incorporated phase change materials**

*Sandro Nižetić, Mišo Jurčević, Duje Čoko* ..... 25

**Fair profit allocation between plants in Total Site Water Integration — Game Theory approach**

*Hon Huin Chin, Xuexiu Jia, Petar Sabev Varbanov, Jiří Jaromír Klemeš*. 26

**Puffing and micro-explosion in composite droplets**

*D.V. Antonov*..... 27

**Относительные показатели энергетической утилизации высоковлажных смесей на основе отходов**

*К.Ю. Вершинина, Д.С. Романов, В.В. Дорохов*..... 28

**Анализ компонентного состава газовых продуктов термохимической конверсии биомассы**

*Д.О. Глушков, Г.С. Няшина, П.А. Стрижак*..... 30

**Исследование закономерностей процесса зажигания газовых гидратов при индукционном нагреве**

*О.С. Гайдукова, П.А. Стрижак, С.Я. Мисюра*..... 32

**Применение теплонагревательных элементов для повышения тепловых характеристик светопрозрачных ограждающих конструкций**

*К.Е. Петров, Е.В. Петров*..... 34

**Оптимизация теплопотребления здания по адресу пр. Развития, 27**

*А.У. Мусинов, А.В. Дегтяренко*..... 36

**Исследование механических свойств твердеющего цементно-песчаного раствора с различным водоцементным отношением в условиях градиента температур**

*А.И. Гныря, С.В. Коробков, А.Ю. Абзаев, А.Х. Лабазанов,  
Н.Х. Хамитов, В.С. Николенко* ..... 38

**Advantages of the single-unit apparatus for distilling miscella of vegetable oils**

*A.N. Lisitsyn, A.V. Fedorov, S.M. Volkov, A.G. Novoselov,  
A.A. Fedorov*..... 40

**Оптимизация компоновки компрессорной станции по критериям надежности и энергоэффективности**

*А.С. Мошиников, М.Д. Верницкий* ..... 42

**Моделирование начальной стадии твердения портландцемента в условиях градиентов температур**

*Ю.А. Абзаев, С.В. Коробков, А.И. Гныря*..... 44

**Применение итерационного метода расчета для определения оптимальной конфигурации объектов возобновляемой генерации**

*Я.Ю. Малькова, Р.А. Уфа, Н.Ю. Рубан*..... 46

**Эффективность системы электроснабжения с передачей пиковых нагрузок на резервные источники**

*Т.Ю. Бростилова, А.Ю. Четыркина, С.В. Голобоков, Ю.В. Терехина,  
П.С. Сипягина*..... 48

**Analytical estimation of MSW fuel calorific value**

*P. Agakhaniants, P. Barbanel*..... 50

**Experimental studies of the thermal characteristics of an electric thermal storage**

*A.V. Khimenko, D.A. Tikhomirov, S.S. Trunov, A.V. Kuzmichev*..... 52

**Предварительный электроразогрев бетонной смеси как инструмент повышения энергоэффективности производства железобетонных изделий**

*М.И. Батюк, А.И. Гныря, В.Я. Ушаков, С.В. Коробков*..... 54

**Direct electric preheating of concrete mixture as energy-efficient approach of accelerated curing**

*M.I. Batyuk, A.I. Gnyrya, V.Ya. Ushakov, S.V. Korobkov* ..... 56

<b>Экспериментальные исследования тепловых характеристик электрического теплового аккумулятора</b> <i>А.В. Хименко, Д.А. Тихомиров, С.С. Трунов, А.В. Кузьмичев</i> .....	58
<b>Evaluation of the efficiency of energy utilization of RDF-fuel obtained from municipal solid waste</b> <i>Y.A. Rakhmanov, O.I. Sergienko, A.V. Zabelina, E.A. Kuznetsova</i> .....	60
<b>Analysis of the increase in the efficiency of air-cooled heat exchangers due to the intensification of heat exchange</b> <i>D. Artemyev, A. Zaitsev</i> .....	62
<b>Physicochemical properties of n-alkane nano-sized dispersions</b> <i>V.N. Kuryakov</i> .....	64
<b>Моделирование структурных свойств гидратированного тоберморита</b> <i>Ю.А. Абзаев, С.В. Коробков, А.И. Гныря</i> .....	65
<b>Numerical simulation of processes in the latent-heat thermal energy storage tank</b> <i>R.O. Faizullin, V.Y. Zakharova, A.V. Baranenko</i> .....	67
<b>Анализ методов утилизации теплоты очистных сооружений с помощью тепловых насосов</b> <i>Е.Т. Петров, А.А. Круглов</i> .....	69
<b>Обеспечение надежности теплоснабжения активного потребителя на основе выбора оптимального соотношения мощности собственного источника тепловой энергии и параметров надежности элементов теплоснабжающих систем</b> <i>И.В. Постников</i> .....	71
<b>Reliability ensuring of heating to prosumer based on searching the optimal ratio of its own heating source capacity and reliability parameters of district heating systems components</b> <i>I.V. Postnikov</i> .....	72
<b>Определение оптимальных зон действия централизованных источников теплоснабжения</b> <i>Е.Е. Медникова, И.В. Постников</i> .....	73

**Determining of the optimal areas for heat supply of district heating sources***E.E. Mednikova, I.V. Postnikov* ..... 74**Section 2. Environmentally-Friendly Energy Conversion and Supply****Секция 2. Экоэнергетика****Optimizing cross-regional thermal energy and hot water sharing with using P-Graph tools***S.A. Tsibulskiy, M.T. Kuznetsov, S.V. Romanenko, S.A. Boldryyev* ..... 76**The complex mobile independent power station for the power supply of the facilities, located in recreational areas***A.A. Tunik, M.Y. Tolstoy, D.I. Stom, E.M. Popova* ..... 78**Математическая модель горения капли композиционного топлива на основе промышленных и коммунальных отходов***Д.В. Антонов, М.И. Глотов, Д.О. Глушков, К.К. Паушкина* ..... 81**Использование твердых бытовых отходов в качестве топлива в сфере жилищно-коммунального хозяйства***И.А. Лёсин, С.В. Голобоков, Т.Ю. Бростилова, Д.А. Буйнов* ..... 83**Применение объектов распределенной генерации для электроснабжения промышленного предприятия***К.А. Степанова* ..... 85**Адаптивная система коммутации панелей солнечных электростанций***А.А. Дивненко, С.В. Голобоков, Т.Ю. Бростилова, А.А. Лебедев, В.А. Агеев* ..... 87**Комплексное исследование эффективности производства древесных гранул***В.К. Любов, А.Н. Попов, П.Д. Алексеев* ..... 89**Reorganization of industrial territories in the context of urban development***E. Taubert, A. Pavlova* ..... 91**Математическое моделирование потока солнечной радиации, приходящей на коллектор***В.А. Хорева, С.Л. Елистратов* ..... 94

**Перспективы (особенности) использования возобновляемых источников энергии и электромобилей в России**

*R. Krumer, A. Grititlin* ..... 96

**Investigation of methods for extracting carbohydrates from microalgae biomass to produce bioethanol**

*E.M. Nikolaev, N.R. Molodkina, N.I. Maksimenko, A.I. Kochurova, V.A. Saramotina*..... 100

**Исследование физико-химических характеристик углеродного материала, полученного методом паровой газификации отходов пивной промышленности**

*К.Б. Ларионов, А.В. Зенков, А.Ж. Калтаев* ..... 102

**The complex research on the technical conditions of energy application of wood pyrolysis bio-oil**

*K.V. Slyusarskiy, K.B. Larionov, V.E. Gubin*..... 104

**Ресурсоэффективная технология газификации угля и отходов угольной промышленности с получением водородсодержащего синтез-газа и утилизацией CO<sub>2</sub>**

*Д.В. Гвоздяков, В.Е. Губин, А.С. Заворин, А.Ю. Кайдашова, А.Э. Риф, В.В. Цветкова* ..... 106

**Development of a model of the control process for the operation of a steam generator plant based on methods of fuzzy logic in conditions of uncertainty**

*Yu.A. Klimenko, A.P. Preobrazhensky*..... 109

**Performance estimation of thermoelectric generator based on state-of-art silicide thermoelectrics**

*A.A. Rakitin, I.L. Tkhorzhevskiy, G.N. Isachenko, A.V. Asach* ..... 111

**Section 3. Environmental Protection Systems**

**Секция 3. Проблемы экологической безопасности и системы защиты среды обитания**

**Техногенный галогенез нефтезагрязненных почв (Западная Сибирь)**

*М.В. Носова, В.П. Середина, Ю.М. Федорчук, А.С. Рыбин*..... 114

<b>Выбросы сажи котлоагрегатами при сжигании различных видов топлива</b> <i>В.К. Любов, А.Н. Попов, Е.И. Попова</i> .....	116
<b>Environmental risks in the development and modernization of fossil fuels deposits in the Arctic zone of the Russian Federation</b> <i>Е.А. Быковская, М.А. Кустикова, А.С. Майурова, I.V. Timofeeva, Е.Р. Турикова</i> .....	118
<b>Research of the features of measuring ozone depleting substances</b> <i>Е.Р. Турикова, М.А. Кустикова, А.С. Майурова, Е.А. Быковская, I.V. Timofeeva</i> .....	120
<b>Environmental education for sustainable development on the example of developing an educational module "Conscious Consumption" for non-core specializations</b> <i>Е.А. Быковская, I.V. Timofeeva, А.С. Майурова, М.А. Кустикова, S.A. Banar</i> .....	122
<b>Обеспечение достоверности и точности информации о содержании вредных веществ в промышленных выбросах, получаемой с помощью автоматических измерительных систем</b> <i>О.Г. Попов, Ю.А. Кустиков, А.В. Мальгинов, К.А. Заречнов, А.В. Колобова, Л.А. Конопелько</i> .....	124
<b>Assessment of environmental risks of metallurgical production unit</b> <i>М.А. Maksimova, L.I. Belykh</i> .....	126
<b>Monitoring of carcinogenic risk factors for public health (The Irkutsk region as an example)</b> <i>L.I. Belykh, М.А. Maksimova</i> .....	127
<b>Имитационная игра как средство обучения требованиям безопасности труда</b> <i>Б.В. Севастьянов, Р.О. Шадрин, А.В. Шаламова, Н.В. Селюнина</i> .....	128
<b>Фитомайнинг как технология ревитализации отработанных отвалов при дражной добыче золота</b> <i>С.С. Тимофеева, И.В. Дроздова</i> .....	130
<b>Медицинские отходы как источник загрязнения антибиотиками водных объектов</b> <i>С.С. Тимофеева, Г.М. Бодиенкова</i> .....	132

<b>Профессиональные риски на объектах нефтегазодобычи Иркутской области</b> <i>C.C. Тимофеева, Н.А. Попова</i> .....	134
<b>Investigation of the effect of pH on manganese (III) oxide compounds activity in ORR</b> <i>K.A. Dosaev</i> .....	137
<b>Mn (III) — containing spinels as ORR catalysts in an alkaline medium</b> <i>D.A. Strebkov, K.A. Dosaev, A.G. Bekenov</i> .....	139
<b>Study of <i>Elodea canadensis</i> elimination of sodium dodecyl sulphate and NH<sub>4</sub>Cl</b> <i>S.E. Sergienko, S.S. Timofeeva, A.B. Kupchinsky, D.I. Stom, G. Chaneva</i> .....	141
<b>Modeling of tailing dumps dusting at different wind speeds</b> <i>A.A. Cherentsova, L.P. Maiorova, L.T. Krupskaya, M.Yu. Filatova</i> .....	143
<b>Atmospheric air monitoring in Tomsk city: current status and proposals</b> <i>D.V. Gusak</i> .....	145
<b>Портативная станция мониторинга качества воздуха</b> <i>М.В. Петрова</i> .....	147
<b>Comparative assessment of the effectiveness of enhancing phytoextraction with heavy metals by creeping clover (Latin <i>Trifolium repens</i> L.) by introducing various drugs that stimulate plant growth and development</b> <i>A.S. Makarova, M.G. Golenko, K.V. Pishchaeva</i> .....	150
<b>Development of a method for intensive reclamation of landfills for burial of solid household waste using biological products of prolonged action based on complexones with oxyethylene diphosphonic acid and phenyldiacetic acid derivatives</b> <i>R.A. Romanova</i> .....	152
<b>Обучение работников профессий цикла добычи нефти нормам и правилам безопасности труда с использованием типовых профессиональных рисков</b> <i>Б.В. Севастьянов, Р.О. Шадрин, А.В. Шаламова, Н.В. Селюнина</i> .....	154

**Ресурсосберегающая технология ангидритовых тампонажных растворов***A.C. Рыбин, Ю.М. Федорчук, К.М. Минаев* ..... 156**The agroecological factors influence on diseases development and wheat productivity***L.E. Kolesnikov, M.I. Kremenevskaya, S.P. Melnikov, E.V. Tambulatova, B.A. Hassan, Yu.R. Kolesnikova* ..... 158**Modeling the process of biological treatment of air containing malodorous substances under laboratory conditions***E. Gordeeva, A. Tverdaya, N.V. Kurnikova, N.R. Molodkina, O.I. Sergienko* ..... 160**Особенности работы таможи при обращении с озоноразрушающими веществами***H.Г. Карпова, Е.П. Тюрикова, А.М. Хамзина, М.А. Кустикова*..... 162**Research on the condition of small rivers in the middle taiga of the northwestern federal district in areas of continuous harvesting activities***A.D. Krasilnikov* ..... 164**Accumulation of heavy metals in soils and bottom sediments in northern taiga river basins in the areas with intensive forest cuts***S.D. Chubova, N.F.J. Dinkelaker, E.N. Moiseenko, N.V. Dinkelaker, A.V. Bragin, P.A. Futoran, A.T. Zagidullina, A.E. Didikov, O.V. Medvedeva*..... 165**Ecological foundations for the formation of networks for automatic monitoring of the negative impact of forest management on the river ecosystems of the northern European taiga of Russia***N.F.J. Dinkelaker, N.V. Dinkelaker, P.F. Agahanyanz, O.I. Sergienko, N.V. Ulyanov, E.A. Ovsuk*..... 167**Исследование адсорбционных свойств и пористой структуры с получением углеродных сорбентов из отходов древесностружечных плит методом каталитического пиролиза***A.C. Атанова, И.С. Глушанкова* ..... 169

**Section 4. Clean Technologies****Секция 4. Чистые технологии****CaCl<sub>2</sub>-MIL-101(Cr) composite sorbents as adsorbents for systems for extracting water from the atmosphere***I.O. Krivosheeva, M.V. Solovyeva, L.G. Gordeeva*..... 172**Wacker-type oxidation of fatty acids and derivatives***S.I. Gustyakova, V.N. Sapunov, M.S. Voronov, I.S. Kozeeva*..... 174**Kinetic study of waste PET depolymerization by crude glycerol***G. Dzhabarov, V. Sapunov, V. Shadrina, M. Voronov, Tran Diem Nhi*.... 176**Композитные материалы для безопасности***Р.Д. Ефимов*..... 178**Influence of humates on the growth of microorganisms***O.F. Vyatchina, E.A. Karavaeva, M.Yu. Tolstoy, M.V. Atanova, S.A. Kovalenko*..... 180**Investigation of industrial catalysts of the process of fatty acid deoxygenation in order to obtain fuel composition hydrocarbons***M.S. Zolotareva, A.I. Lugansky, R.A. Kozlovsky, M.S. Voronov, O.I. Shtepa, P.A. Voropaev*..... 182**Synthesis of SrFe<sub>1-x</sub>Co<sub>x</sub>O<sub>2</sub>F and study of their electrocatalytic activity in the oxygen evolution reaction***A.D. Valueva*..... 184**The study of segregation of impurities on grain boundaries of lithium metal anodes***A.T. Guzhechenko, A.A. Rulev*..... 186**Industrial symbiosis for solving problem of organic waste generation in retail***V. Savoskula, A. Novikova, A. Yeremenko, S. Antipova, O. Sergienko*..... 187**Синтез и функциональные свойства неграфитизируемого углерода и углеродных композитов на его основе для металл-ионных аккумуляторов***Г.П. Лакиенко, З.В. Бобылёва, О.А. Дрожжин*..... 189

<b>Платиновые катализаторы на различных подложках</b> <i>О.А. Пинчук, А.Ю. Брюханов, Е.А. Ясенко, И.В. Челибанов</i> .....	191
<b>Реализация в химической промышленности тренда низкоуглеродного развития</b> <i>Е.И. Кудрявцева, А.С. Макарова</i> .....	193
<b>Использование биоэлектрохимического потенциала для оценки функционального состояния дрожжей</b> <i>С.Э. Мурик, Т.С. Лазарева, Е.В. Антонова, С.Э. Сергиенко</i> .....	195
<b>Улучшение показателей водостойкости фенолоформальдегидной смолы с использованием биофенолов полученных из жидких продуктов пиролиза древесных отходов</b> <i>А.Р. Валеева, А.И. Сабирзянова, А.Н. Грачев, С.А. Забелкин, Г.М. Бикбулатова</i> .....	198
<b>Immobilization of mercury in waste, sulfur-containing compounds, in the most safe form for humans and the environment — mercury sulfide</b> <i>A.S. Makarova, A.N. Fedoseev, A.S. Tyurina</i> .....	201
<b>Molecular-imprinted composite materials with improved optical properties for photovoltaic cells</b> <i>Yu.Yu. Petrova, E.V. Bulatova</i> .....	203
<b>Use, creation and evaluation of biodegradable materials</b> <i>A.P. Kuznetsova, M.O. Vasileva, V.A. Tereshko, N.R. Molodkina</i> .....	204
<b>Скорости испарения капель растворов: влияние примесей в воде</b> <i>Р.С. Волков, С.А. Керимбекова, П.А. Стрижак</i> .....	206
<b>Environmental and economic analysis of alternative powering options for coastal vessels with respect to future emission reduction targets</b> <i>N. Vladimir, M. Perčić, I. Jovanović, M. Koričan</i> .....	208
<b>Section 5. Clean Water</b>	
<b>Секция 5. Чистая вода</b>	
<b>Очистка природных и сточных вод с применением электростатического поля</b> <i>О.Н. Медведева, Т.Н. Сауткина</i> .....	211
<b>The primary producers of sea ecosystem under the influence of dredging</b> <i>O.A. Liashenko, A.P. Pedchenko, G.F. Liashenko</i> .....	214

**Combined toxic effect of potassium butyl xanthate and oil on duckweed  
(*Lemna minor*)***M.N. Saksonov, N.N. Khorina, A.D. Stom, G.D. Ilyin,**A.V. Mataevskaya* ..... 216**Water scarcity reduction in non-increasing water consumption  
countries: challenges and potentials***Xuexiu Jia, Hon Huin Chin, Jiří Jaromír Klemeš,**Petar Sabev Varbanov* ..... 218**The use of a complex salt of osietilidene diphosphonic acid in the  
mechanism of phytoextraction of heavy metals in water bodies***T.S. Avdeenkova, A.A. Saprodhina* ..... 219**Two-dimensional smart material with programmable ionic channels for  
water purification***A.A. Nikitina, K.G. Nikolaev, D.V. Andreeva, E.V. Skorb* ..... 221**GroundWater balance simulation for open-pit mines in the semi-arid  
areas: A Case Study of the Gantour Deposit, Morocco***Othmane Labied, Pierre Fenies* ..... 222**Study of the influence of groundwater impurities on the iron  
oxidation rate***K.I. Machekhina, E.N. Gryaznova, N.V. Pilipets, L.R. Merinova* ..... 225**Investigation of the influence of heavy metal distribution in aquatic  
plants of overgrown reservoirs***T.S. Semenova, N.V. Dinkelaker, P.F. Agakhanyants, O.I. Sergienko,**A.O. Makarchev* ..... 226**Экогидрологический механизм распределения фитопланктона  
в водоеме***A.A. Цхай, В.Ю. Агейков, А.Н. Семчуков* ..... 228**Section 6. Sustainable Use of Natural Resources****Секция 6. Рациональное природопользование****Биохимические особенности ели сибирской в насаждениях южно-  
таежной зоны Удмуртской Республики***И.Л. Бухарина, А.С. Пашкова* ..... 231

**Hazard of ore processing waste as an ecological disaster threat at mining enterprises in the Amur River basin of biosphere importance**

*L.T. Krupskaya, L.P. Maiorova, M.Yu. Filatova, A.A. Cherentsova, K.A. Kolobanov*..... 233

**Assessment of the carbon budget in managed forests of the Far Eastern Federal District, evidence from the Khabarovsk Krai**

*D.A. Golubev, D.V. Izotov, N.K. Rastanina, K.A. Kolobanov, M.Yu. Filatova*..... 235

**Assessment of the *Opisthorchis felineus* prevalence of cyprinidae family fish sold in grocery stores in Khanty-Mansiysk**

*A.S. Maiurova, M.A. Kustikova, E.A. Bykovskaia*..... 237

**Soil moisture index on the basis of reference evapotranspiration Penman Monteith method using remote sensing methods**

*D. Muñoz Osorio, C.G. Marín González, M.A. Kustikova*..... 239

**Current state and potential of the development of specially protected natural areas of the Omsk Region in the light of the concept of sustainable development**

*V. Kosterova, O. Bazhenova*..... 241

**Reducing the impact of clearcuts on the environment as an element of sustainable forest management**

*A. Rogolev, S. Banar*..... 243

**Use of the Geographical Information System (GIS) for the sustainable management of georesources: Case of the “Dorsale calcaire”, Morocco**

*Ghizlane Fattah, Fouzia Ghrissi* ..... 245

**Некоторые особенности ресурсосберегающей технологии получения минеральных швеллеров из твердых отходов сублиматного производства ОА «СХК»**

*Ю.М. Федорчук, Д.В. Нарыжный, Л.А. Аниканова, М.А. Саденова, Н.В. Замятин*..... 247

**Ресурсосберегающая технология селективной сепарации измельченных минералов на примере гранатового песка и плавикового шпата**

*Ю.М. Федорчук, В.А. Данекер, А.С. Иващутенко, В.В. Матвиенко, Ю.П. Кривцун*..... 249

- Оценка баллоэлектрического эффекта, связанного с прибойными волнами на юго-западном берегу оз. Байкал и влиянием водопада в окрестностях п. Аршан**  
*М.В. Оглезнева, К.Н. Пустовалов, П.М. Нагорский* ..... 251
- Correlation-regression analysis of the influence degree of various socio-economic factors on the dynamics of the opisthorchiasis incidence at the territory of the Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug-Yugra**  
*A.S. Maiurova, V. Roy, M.A. Kustikova, E.A. Bykovskaia, E.P. Tyurikova* ..... 253
- Оценка энергетического потенциала ТБО в рамках реализации концепции снижения экологических рисков**  
*К.А. Семенова, Е.С. Волкова, М.А. Мельник* ..... 255
- Tourism in the Arctic coastal zone in the structure of nature management in the region**  
*A. Sanin, A. Mosalev* ..... 257
- Use of the resource potential of a small surface water body on the basis of a compensation mechanism**  
*N.B. Efimova, I.A. Ylanova* ..... 259
- Awareness of sustainable use of national natural resources as a basis for the environmental protection systems: economic aspects and the new global index of the popularity of environmental queries (GIPEQ) and its influence on the Ethics Perception Index**  
*A. Shemetev* ..... 261
- Forest reclamation in the strategy of the far east region development as the basis for environmental sustainability**  
*L.T. Krupskaya, M.Yu. Filatova, E.A. Romashkina, K.A. Kolobanov, Y.G. Kocharian* ..... 263
- Study of the dynamics of the composition of state environmental expertise at the federal level in Russia from 1995 to 2020**  
*O. Sakharova, N. Dinkelaker, A. Karpov, N. Dinkelaker, O. Sergienko, P. Agahanyanz, V. Kiss* ..... 265
- Классификация и идентификация проб нефти и образцов нефтяного загрязнения природной среды с использованием методов кластерного анализа**  
*Ю.П. Туров, М.Ю. Гузняева* ..... 267

**Possibilities of Bioethanol Production from Brown Seaweeds***D.V. Shushpanova*..... 269**Section 7. Sustainable Cold Chains****Секция 7. Устойчивые холодильные цепи****Mathematical modeling of the transfer of pollutant pollutants into the environment***G.D. Kogai, A.L. Those, V.G. Drozd, V.L. Ivanov, T.L. Ten*..... 273**Адаптивное управление — один из важных элементов в повышение энергоэффективности, надежности и снижении энергопотребления объектами ТЭК и ЖКХ***А.М. Гримитлин, Р.Г. Крумер*..... 275**Особенности национального энергосбережения***А.М. Гримитлин, Р.Г. Крумер*..... 278**Оценки возможности и масштабов увеличения эффективных теплофизических свойств неоднородных систем с фазовыми переходами жидкость — твёрдое тело***А.Ю. Горбунова, Ю.П. Заричняк, В.Ю. Захарова, В.А. Кораблёв, Д.П. Волков, Н.В. Пилипенко*..... 282**Исследование эффективности теплоаккумулирующей системы на основе веществ с фазовым переходом для космической техники***М.И. Волкович, В.Ю. Захарова, В.А. Кораблев*..... 284**Global allergens and refrigeration alarmism***О.В. Tsvetkov, V.V. Mitropov, Yu.A. Laptev, I.V. Baranov, М.А. Kustikova* ..... 286**Обоснование радиуса конкурентного применения сжиженного природного газа***О.Н. Медведева, С.Д. Первалов*..... 287**Features of the conditions for the use of refrigeration units on carbon dioxide***А. Khrekin, I. Baranov*..... 289**Эффективность и дальнейшие перспективы развития спирального компрессора в аспекте решения вопросов экологической безопасности***В.А. Пронин, А.В. Кованов, Д.В. Жигновская, В.А. Цветков*..... 291

**New thermal comfort indices based on iso-comfort arrays**

A.B. Sulin, T.V. Ryabova, I.N. Sankina, A.A. Nikitin, S.S. Muraveinikov. 293

**Analysis of the heat recovery potential in the classroom**

A.A. Nikitin, V.A. Nikitina, A.B. Sulin, T.V. Ryabova ..... 294

**Application of multivariate of analysis in technical systems**

N.E. Shishova, I.A. Arkharov, E.S. Navasardyan ..... 296

**Analysis of heat losses during heat supply of an urban-type settlement using a heat pump**

A.A. Nikitin, O.E. Konicheva, S.S. Muraveinikov, T.V. Ryabova..... 298

**Исследование процессов тепломассообмена при пленочном обтекании ледовых поверхностей с фазовым переходом для создания нового поколения льдоаккумуляторов**Г.Ю. Гончаров<sup>2</sup>, В.П. Пытченко, С.С. Борзов, Г.В. Борцев ..... 299**Математическая модель колеса гидропривода погружного насоса для выдачи СПГ**

М.И. Давыденко, А.Ю. Баранов..... 301

**Анализ структуры потерь СПГ в трубопроводах подачи в запорный терминал**

А.М. Андреев, А.Ю. Баранов, Е.В. Соколова..... 303

**Комплексные решения повышения эффективности работы инженерного оборудования объектов коммерческого холода**

С.Ю. Плешанов ..... 305

**Improving performance of cascade refrigeration system using low GWP refrigerants for some cities in Russia**

Mahdi Deymi-Dashtebayaz, A. Nikitin ..... 307

**«Comfort» for Vaccines**A.P. Bruk, A.A. Nikitin, S.S. Muraveinikov, V.V. Mitropov,  
I.V. Baranov..... 308

## **Section 8. Food Biotechnology for Human Health** **Секция 8. Пищевые биотехнологии для здоровья человека**

### **Functional nutrition development for active and healthy longevity**

*A. Pavlova, E. Bendenko, M. Daniliuk, V. Savoskula, M. Hashim* ..... 311

### **Biotesting method for assessing changes in the quality of goat milk during pasteurization**

*K.Yu. Siroтина, Yu.V. Shcherbakova, K.A. Nasrulina, V.F. Sharafutdinov, A.A. Eremin, F.Yu. Akhmadullina*..... 313

### **О разработке типовых реестров идентифицированных опасностей (на примере аппаратчика пастеризации и охлаждения молока)**

*Б.В. Севастьянов, Р.О. Шадрин, А.В. Шаламова, Н.В. Селюнина* ..... 315

### **Digital solutions to develop the personalized nutrition**

*M.A. Daniliuk, A.S. Andreeva, E.V. Lobova, A.S. Pavlova*..... 317

### **Life cycle assessment of the functional nutrition in the context of the circular economy**

*V.A. Savoskula, A.S. Pavlova, K.G. Kuznetsova, P.A. Plotnikova* ..... 319

### **Кинетика реакций гидролиза и окисления триацилглицеридов оливкового масла при длительном хранении**

*М. Алнакуд, В.С. Колодязная, Е.И. Кипрушкина, О.Н. Румянцева, И.А. Шестопалова*..... 321

### **The effectiveness of using ultradisperse humic sapropel suspension in the food industry: a review**

*D. Nsengumiremyi, N.V. Barakova, A.V. Mityukov* ..... 324

### **Биологический метод формирования газовых сред при холодильном хранении плодов с применением трековых мембран**

*В.А. Костюк, В.С. Колодязная, О.Н. Румянцева, Е.И. Кипрушкина, И.А. Шестопалова*..... 326

### **Селективная среда для культивирования бактерий рода *Pseudomonas* на основе жира личинок *Hermetia illucens***

*И.Н. Зубков, С.М. Шишлянников, В.Ю. Ситнов* ..... 329

### **The efficiency of using new brands silica gel for colloidal stabilization of beer**

*T.V. Meledina, R. Harbah, R.A. Zotov*..... 330

- Влияние ферментных препаратов на выход каротиноидов из растительного сырья**  
*А.С. Басковцева, У.С. Кыздарбек, Н.В. Баракова* ..... 332
- Влияние режимов пастеризации функционального напитка адаптогенного действия на содержание антоцианов**  
*А.Р. Хасанов, Н.В. Баракова* ..... 334
- Разработка кексов функционального назначения**  
*Б.А. Джамалдинова, И.У. Ушаева, А.Р. Ахмедова*..... 337
- Расширение линейки рецептур бараночных изделий**  
*А.В. Тихий, Н.В. Баракова, Е.С. Сергачева* ..... 341
- Culture of green algae *Ulva rigida* C. Ag.: producing germ plants**  
*O. Bityutskaya, L. Bulli, N. Mazalova, S. Seryogin* ..... 343
- Эколого-экономические аспекты применения биологических средств защиты при производстве сельхозкультур на примере картофеля**  
*Е.И. Кипрушкина, О.И. Сергеенко, В.С. Колодязная, О.Н. Румянцева* ..... 345
- Ресурсосберегающая технология функциональных продуктов питания на основе биомодифицированного мясного сырья страуса**  
*Е.А. Rogozina, В.С. Колодязная, И.А.Шестопалова, Е.И. Кипрушкина, О.Н. Румянцева, Ю.В. Бройко*..... 348

Научное издание

**ЭНЕРГО-РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ  
В ИНТЕРЕСАХ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ**

**III международная научная конференция**

**SEWAN – 2021**

**(Санкт-Петербург, 19-24 апреля 2021 г.)**

**СБОРНИК ТРУДОВ**

**SUSTAINABLE AND EFFICIENT USE  
OF ENERGY, WATER AND NATURAL  
RESOURCES**

**III International Scientific Conference**

**SEWAN – 2021**

**(Saint-Petersburg, April 19-24, 2021)**

**PROCEEDINGS**

Компьютерная верстка Д.М. Карачаков

В авторской редакции

Отпечатано в полном соответствии

с качеством предоставленного оригинал-макета

Подписано к печати 23.09.2021. Формат 60×84 / 8.

Усл.-печ. л. 34.7. Уч.-изд.л. 31.4.

Заказ 4522. Тираж 130 экз.

Университет ИТМО

РФ, 197101, Санкт-Петербург, Кронверкский пр., д. 49, лит. А.

Центр распределенных издательских систем

РФ, 199034, Санкт-Петербург, Биржевая лин., 16

---

# Milli-Q®

# MERCK

## Lab Water Solutions

### СИСТЕМЫ ОЧИСТКИ ВОДЫ Milli-Q®

Основные преимущества:

- высокое качество
- удобство пользования
- надёжность
- прогнозируемая замена расходных материалов
- высокий КПД обратного осмоса
- сертификаты калибровки на все датчики и мониторы
- доступность
- со склада в Москве

Системы получения сверхчистой воды  
(тип I)

Milli-Q® IQ 7000  
Milli-Q® Reference  
Super-Q®  
Simplicity®

Системы получения сверхчистой воды  
(тип II)

RiOs-Di  
Elix® Advantage, Elix® Essential  
Milli-Q® HX 7000, Milli-Q HX 7000 SD  
(высокопроизводительные системы до  
9000 л/день)

Системы получения сверхчистой воды  
(тип III)

RiOs™ Essential  
Milli-Q® HR 7000

Комбинированные системы очистки воды

Milli-Q® Direct 8/16  
Milli-Q® IQ 7003/5/10/15



ISBN 978-5-7577-0647-4



9 785757 706474