



УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ  
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ»

ПРЕДСТАВИТЕЛЬСТВО РОССОТРУДНИЧЕСТВА В РЕСПУБЛИКЕ  
БЕЛАРУСЬ «РУССКИЙ ДОМ»

## **ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ НЕЗАВИСИМОСТЬ И КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТЬ СОЮЗНОГО ГОСУДАРСТВА, СТРАН СНГ, ЕАЭС И ШОС**

Сборник статей  
VI МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ  
КОНФЕРЕНЦИИ «МИНСКИЕ НАУЧНЫЕ ЧТЕНИЯ- 2023»  
г. Минск, 06-08 декабря 2023 г.

В 3-х томах

Том 3



Минск 2023

УДК 001.891  
ББК 72  
Т 38

**Технологическая независимость и конкурентоспособность Союзного Государства, стран СНГ, ЕАЭС и ШОС** : сб. ст. VI Междунар. науч.-техн. конф. «Минские научные чтения-2023» в 3 т. Минск, 06–08 декабря 2023 г. [Электронный ресурс]. – Минск : БГТУ, 2023. – Т. 3. – 392 с. – ISBN 978-985-897-156-4

В издании представлены научные статьи, освещающие вопросы: изменение климата и углеродная нейтральность, внедрение зеленой энергетики, атомная энергетика, инновационные способы сохранения энергии, применение новых возобновляемых источников энергии, экологическая безопасность, природоохранная деятельность.

Адресовано практикам, преподавателям, научным работникам, аспирантам, студентам I и II ступени получения высшего образования, интересующимся современным состоянием и перспективами развития общества, науки и экономики.

#### РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

*ВОЙТОВ Игорь Витальевич*, ректор Белорусского государственного технологического университета, доктор технических наук, профессор (председатель);

*ДОРМЕШКИН Олег Борисович*, директор международного информационно-аналитического центра трансфера технологий Белорусского государственного технологического университета, доктор технических наук, профессор;

*КАЛИНИЧЕНКО Александр Сергеевич*, директор центра «Научно-технологический парк БГТУ» Белорусского государственного технологического университета, доктор технических наук.

ISBN 978-985-897-156-4 (Т. 3)  
ISBN 978-985-897-153-3

© УО «Белорусский государственный технологический университет», 2023

**Секция 3 «ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ И ЗЕЛЕНАЯ ЭНЕРГЕТИКА, АТОМНАЯ ЭНЕРГЕТИКА, ИННОВАЦИОННЫЕ СПОСОБЫ СОХРАНЕНИЯ ЭНЕРГИИ, НОВЫЕ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ И ПОРТАТИВНЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ. ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ И ПРИРОДООХРАННАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ, ОБЕСПЕЧЕНИЕ УГЛЕРОДНОЙ НЕЙТРАЛЬНОСТИ»**

УДК 621.311.1

**О.И. Александров, А.А. Кадыко, Д.Г. Горячко**  
Белорусский государственный технологический университет  
Минск, Беларусь

**ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ ЕЕ С ПОТРЕБИТЕЛЯМИ**

*Аннотация.* В статье рассмотрена проблема минимизации энергоресурсов путем решения комплекса задач оптимизации расчетов в электроэнергетической системе (ЭЭС). Описывается методика комплексной оптимизации режимов ЭЭС с учетом вариации нагрузок. В качестве одного из основных критериев оценки рационального использования топливно-энергетических ресурсов на всех стадиях производства и совершенствования технических процессов выступают оптимальные удельные нормы энергопотребления, которые являются производными от технологического процесса - его производительности и энергетических показателей.

**Ключевые слова:** энергоресурсы, оптимизационные расчеты, электроэнергия, режимно-экономическое взаимодействие, реактивные мощности.

**O.I. Alexandrov, A.A. Kadyko, D.G. Goryachko**  
Belarusian State Technological University  
Minsk, Belarus

**OPTIMIZATION OF MODES OF THE ELECTRIC POWER SYSTEM WHEN INTERACTING IT WITH CONSUMERS**

*Abstract.* The article examines the problem of energy resource shortages and solving a set of problems by optimizing calculations in the energy sector. The result of using integrated rational use of fuel and energy resources is described. A model for complex optimization of EPS modes taking into account load variations is presented. One of the main criteria for assessing the rational use of fuel and energy resources at all stages of production and improvement of technical processes is the optimal specific

*energy consumption standards, which are derived from the technological process - its productivity and energy indicators.*

**Key words:** *energy resources, optimization calculations, electricity, regime-economic interaction, reactive power.*

Введение. В современных условиях острого дефицита энергоресурсов и перехода к рыночным отношениям многих предприятий неизменно возрастает роль оптимизации расчетов в энергетике. Переход от директивных методов распределения топлива к экономическим при неуклонном росте цен на энергоносители влечет за собой ряд принципиальных трудностей и предполагает решение комплекса взаимосвязанных задач. К их числу относятся: оптимизация распределения активной мощности между электростанциями энергосистемы с учетом потерь в сети и удельных расходов топлива; учет ограничений по поставкам топлива; режимно-экономическое взаимодействие генерирующих и потребляющих предприятий с учетом регулирующего эффекта нагрузки; выравнивание графиков нагрузки энергосистемы и промышленных предприятий; оперативное управление электропотреблением с оптимизацией режима работы системных потребителей-регуляторов [1].

Комплексное рациональное использование топливно-энергетических ресурсов предполагает оптимальные режимы работы всех звеньев энергетического хозяйства. Однако традиционный подход к проблеме оптимизации учитывает, прежде всего, экономичное распределение нагрузок между генерирующими источниками энергии. Вместе с тем решение полной задачи оптимизации должно быть получено с учетом оптимальной нагрузки потребителей, т.е. необходимо более правильно учитывать влияние выбранного оптимального режима на работу потребителей. Такой подход к проблеме оптимизации обеспечивает наибольшую эффективность работы одновременно всех звеньев энергохозяйства, включающих производство, передачу и распределение энергий с учетом интересов потребителей. Таким образом, полное решение всей проблемы возможно при переходе от отдельных режимно-экономических и организационно-технических мероприятий к их системному взаимодействию на основе создания динамической информационной модели. Согласно имеющимся сведениям, почерпнутым в различных зарубежных источниках информации, решение подобных задач в комплексной постановке отсутствует, хотя необходимость этого решения очевидна.

Поставленная задача не только не решается, но даже не сформулирована в полном объеме, оптимизационные расчеты выполняются группами режимов энергоуправлений эпизодически в традиционной постановке, без должного учета оптимальных графиков электропотребления промышленных узлов нагрузки. В силу несовпадения режимных интересов электрогенерирующей и электропотребляющей сфер, организация их взаимодействия сводится к отысканию компромисса, т.е. некоторой системы взаимных уступок сущность которых состоит в допустимых отклонениях каждой из взаимодействующих сторон.

В современных условиях слишком явное предпочтение режимных интересов энергосистемы режимным интересам потребителей не может рассчитывать на профессиональную, общественную и административную поддержку. Тем не менее, представляется очевидным, что следует стремиться к достижению определенного компромисса, учитывающего интересы обеих сторон.

Независимо от выбранного принципа организации режимного взаимодействия эксплуатационный персонал энергосистемы и промышленных предприятий должен иметь достоверную информацию о расходных (энергетических) характеристиках отдельных электроприемников и их технологически, территориально или режимно-обособленных групп. Это даст возможность определять диапазоны регулирования активных нагрузок электропотребляющих объектов и оценивать потенциальные возможности как выравнивания и уплотнения графиков нагрузки, так и среза их пиков.

В качестве одного из основных критериев оценки рационального использования топливно-энергетических ресурсов на всех стадиях производства и совершенствования технических процессов выступают оптимальные удельные нормы энергопотребления, которые являются производными от технологического процесса - его производительности и энергетических показателей. Разработка оптимальных удельных норм является важным фактором повышения производительности труда, снижения себестоимости продукции, обновления технологий. Планирование норм рационального расхода энергоресурсов выполняется на основе официального документа, изданного Комитетом энергосбережения с учетом определения оптимальной технологии с наибольшей производительностью труда, меньшими затратами, высокой степенью автоматизации, экологической безопасности и т.д.

Поставленная задача в полном объеме пока не решена в связи с необходимостью разработки комплекса взаимосвязанных задач,

включающих создание системы мониторинга расходных характеристик промышленных предприятий, в том числе и определение их резервов регулирования с учетом дифференцированных по зонам суток тарифов, создание базы данных расходных характеристик удельного электропотребления и выработку механизма контроля за его соблюдением.

**Модель комплексной оптимизации режимов ЭЭС с учетом вариации нагрузок.** Совместить требования вычислительной эффективности и охвата в моделях оптимизации многих факторов практически удается только при функциональной декомпозиции задачи, в частности, при раздельном решении задач оптимизации активных и реактивных мощностей.

В общем виде задачу комплексной оптимизации режимов ЭЭС с учетом вариации нагрузок можно сформулировать следующим образом. Необходимо минимизировать некоторую функцию, являющую собой эксплуатационные затраты, с учётом соответствующих ограничений в заданном временном интервале  $t$ . Обычно при оптимизации режимов в качестве целевой функции принимаются суммарные эксплуатационные издержки  $I$  в ЭЭС, зависящие нелинейно и неявно от параметров оптимизации [2]:

$$I_t = I'_t(\mathbf{T}) + I''_t(\boldsymbol{\pi}) + I'''_t(\mathbf{y}), \quad (1)$$

где  $I'_t(\mathbf{T})$  – издержки, связанные с генерацией, включая расходы на топливо, и реализацией электроэнергии на временном интервале  $t$ ;  $I''_t(\boldsymbol{\pi})$  – издержки, вызванные передачей электроэнергии, ее потреблением и затратами на систему управления мощностью потребителей (экономические потери от регулирования нагрузки);  $I'''_t(\mathbf{y})$  — издержки, определяемые величиной ущерба от отклонения режимных и качественных параметров электроэнергии от своих оптимальных значений, в том числе и от недоотпуска энергии при аварийных и послеаварийных режимах работы.

Целевая функция (1) является сложной, поскольку мощности электростанций и нагрузочных узлов неявно связаны с другими переменными с помощью системы нелинейных уравнений установившихся режимов, уравнениями небаланса активной и реактивной мощностей в узлах ЭЭС, а также системой технологических и режимных ограничений. При этом независимые переменные (параметры оптимизации) можно записать следующим образом:

$$\left. \begin{array}{l} P_i, Q_i, i \in I_{PQ}; P_j, Q_j, j \in J_{PQ}; \\ P_i, U_i, i \in I_{PU}; P_j, U_j, j \in J_{PU}; U_0; \\ k'_{ij}, k''_{ij}, (ij) \in M_T, \end{array} \right\}$$

а зависимые переменные - в виде:

$$\left. \begin{array}{l} U'_i, U''_i, i \in I_{PQ}; U'_i, U''_i, i \in I_{PQ}; \\ \theta_i, i \in I_{PU}; \theta_j, j \in J_{PU}; P_0, \end{array} \right\}$$

где  $P_i, Q_i$  — активная и реактивная мощности электростанций;  $P_j, Q_j$  — активная и реактивная мощности нагрузочных узлов;  $U'_i, U''_i$  — действительная и мнимая части вектора напряжения генерирующего узла ЭЭС;  $U'_j, U''_j$  — действительная и мнимая части вектора напряжения нагрузочного узла;  $k'_{ij}, k''_{ij}$  — действительная и мнимая части комплексного коэффициента трансформации регулируемого трансформатора в ЭЭС;  $\theta_i(j)$  — тангенс половинного угла вектора напряжения узла  $i(j)$ ;  $P_0, U_0$  — активная мощность и напряжение базисного (опорного) узла;  $I_{PQ}, J_{PQ}$  — множество генераторных и нагрузочных узлов типа  $P, Q$ ;  $I_{PU}, J_{PU}$  — множество генераторных и нагрузочных узлов типа  $P, U$ ;  $I_{PU}, J_{PU}$  — множество ветвей схемы замещения ЭЭС, отображающих регулируемые трансформаторы;  $\theta_i, \theta_j$  — тангенс половинного угла вектора напряжения генераторного (нагрузочного) узла. Параметры оптимизации связаны с зависимыми переменными системой нелинейных уравнений установившихся режимов и уравнением небаланса активной мощности в ЭЭС в форме  $Y$  или  $Z$ , а также, уравнениями баланса токов (напряжений) или мощностей в зависимости от формы отображения векторов узловых напряжений в схеме ЭЭС.

При записи уравнений установившегося режима в  $Y$  – форме для узлов в  $i \in I_{PQ}(J_{PQ})$  – виде небаланса токов в узлах ЭЭС, а для узлов  $i \in I_{PU}(J_{PU})$  в виде небаланса активных мощностей в узлах, условия ограничения типа равенств в задаче комплексной оптимизации режимов можно представить в следующей форме:

$$\begin{aligned} & I'_{i(j)нб}(P_i, Q_i, U'_i, U''_i, i \in I_{PQ}; P_j, Q_j, U'_j, U''_j, j \in J_{PQ}; \\ & P_i, U_i, \theta_i, i \in I_{PU}; P_j, U_j, \theta_j, j \in J_{PU}; U_0, k'_{ij}, k''_{ij}, (ij) \in M_T) = 0; \\ & I''_{i(j)нб}(P_i, Q_i, U'_i, U''_i, i \in I_{PQ}; P_j, Q_j, U'_j, U''_j, j \in J_{PQ}; \quad (2) \\ & P_i, U_i, \theta_i, i \in I_{PU}; P_j, U_j, \theta_j, j \in J_{PU}; U_0, k'_{ij}, k''_{ij}, (ij) \in M_T) = 0; \\ & P_{i(j)нб}(P_i, Q_i, U'_i, U''_i, i \in I_{PQ}; P_j, Q_j, U'_j, U''_j, j \in J_{PQ}; \\ & P_i, U_i, \theta_i, i \in I_{PU}; P_j, U_j, \theta_j, j \in J_{PU}; U_0, k'_{ij}, k''_{ij}, (ij) \in M_T) = 0. \end{aligned}$$

Первые два уравнения составляют для узлов типа  $P, Q$ , третье – для узлов типа  $P, U$ . Для решения данной системы нелинейных уравнений установившегося режима успешно используется известный метод Ньютона-Рафсона, причем на каждой итерации вместо системы (2) применяется линеаризованная система уравнений относительно приращений искомых переменных  $U'_i, \Delta U''_i, i \in I_{PQ}; \Delta U'_i, \Delta U''_i, j \in J_{PQ}$  и  $\Delta U, i \in I_{PU}; \Delta Q_j, j \in J_{PU}$  с элементами матрицы Якоби в качестве коэффициентов левых частей уравнений и небалансами токов и активных мощностей в узлах ЭЭС в правых частях уравнений. Независимые переменные связаны также с зависимыми с помощью уравнения небаланса активной мощности в ЭЭС вида

$$P_{0\text{нб}}(P_i, Q_i, U'_i, U''_i, i \in I_{PQ}; P_j, Q_j, U'_j, U''_j, j \in J_{PQ}; P_i, U_i, \theta_i, i \in I_{PU}; P_j, U_j, \theta_j, j \in J_{PU}; U_0, k'_{ij}, k''_{ij}, (ij) \in M_T) = 0.$$

Кроме ограничений-равенств в задаче имеют место ограничения-неравенства, налагаемые на параметры оптимизации:

$$\left. \begin{array}{l} \underline{P}_i \leq P_i \leq \overline{P}_i \\ \underline{Q}_i \leq Q_i \leq \overline{Q}_i \end{array} \right\} i \in I_{PQ};$$

$$\left. \begin{array}{l} \underline{P}_i \leq P_i \leq \overline{P}_i \\ \underline{Q}_i \leq Q_i \leq \overline{Q}_i \end{array} \right\} j \in J_{PQ};$$

$$\left. \begin{array}{l} \underline{P}_i \leq P_i \leq \overline{P}_i \\ \underline{U}_i \leq U_i \leq \overline{U}_i \end{array} \right\} i \in I_{PU};$$

$$\underline{Q}_i \leq Q_i \leq \overline{Q}_i, i \in I_{PU};$$

$$\underline{Q}_i \leq Q_i \leq \overline{Q}_i, j \in J_{PU};$$

$$\underline{P}_0 \leq P_0 \leq \overline{P}_0;$$

$$\underline{P}_{ij} \leq P_{ij} \leq \overline{P}_{ij}, (ij) \in L,$$

$$\underline{U}_0 \leq U_0 \leq \overline{U}_0;$$

$$\left. \begin{array}{l} \underline{P}_i \leq P_i \leq \overline{P}_i \\ \underline{Q}_i \leq Q_i \leq \overline{Q}_i \end{array} \right\} i \in I_{PQ};$$

$$\left. \begin{array}{l} \underline{P}_i \leq P_i \leq \overline{P}_i \\ \underline{U}_i \leq U_i \leq \overline{U}_i \end{array} \right\} i \in I_{PQ};$$

$$\underline{U}_i \leq U_i \leq \overline{U}_i, i \in I_{PQ};$$

$$\left. \begin{array}{l} \underline{U}_i \leq U_i \leq \overline{U}_i, j \in I_{PQ}; \\ \underline{k}'_{ij} \leq k'_{ij} \leq \overline{k}'_{ij}; \\ \underline{k}''_{ij} \leq k''_{ij} \leq \overline{k}''_{ij} \end{array} \right\} (ij) \in M_T;$$

$$\underline{P}_{ij} \leq P_{ij} \leq \overline{P}_{ij}, (ij) \in L,$$



где  $L$  — множество ветвей схемы энергосистемы, для которых учитываются ограничения на потоки активной мощности при оптимизации режимов.

Таким образом, нелинейная целевая функция  $I$  нелинейно и неявно зависит от большого количества факторов:

$$I = f(P_i, Q_i, U_i', U_i'', i \in I_{PQ}; P_j, Q_j, U_j', U_j'', j \in J_{PQ}; P_i, U_i, \theta_i, i \in I_{PU}; P_j, U_j, \theta_j, j \in J_{PU}; Q_i, i \in P_{PU}; Q_j, j \in J_{PU}; U_0; P_0; Q_0; k'_{ij}, k''_{ij}, (ij) \in M_T; P_{ij}, (ij) \in L).$$

Степень нелинейности целевой функции  $I$  определяется, в основном, нелинейностью расходных характеристик станций ЭЭС, которые, в свою очередь, представлены в виде кусочно-нелинейных функций, выпуклых вниз на отдельных участках, т.е. целевая функция  $I$  в общем случае близка к квадратичной и имеет минимум.

Разрешение поставленной проблемы представляет собой весьма сложную задачу, решение которой можно получить, например, с применением некоторых упрощений и допущений, основными из которых являются методы пространственной, временной и функциональной декомпозиции.

**Алгоритм оптимального распределения активных нагрузок между электростанциями и потребителями электроэнергии.** Как известно, условия экономичного распределения активных мощностей в ЭЭС при наличии только тепловых электростанций, определенном составе оборудования и заданном значении суммарной нагрузки имеют вид:

$$\lambda = \varepsilon_i / (1 - \sigma_i) = idem, \quad \forall i \in \overline{1, n}, \quad (3)$$

где  $\lambda$  — значение относительного прироста системы;  $\varepsilon_i = \partial T_i / \partial P_i$  — величина удельного прироста часового расхода топлива на единицу дополнительной активной мощности  $i$ -й ЭС;  $\sigma_i = \partial \pi(P) / \partial P_i$  — относительный прирост потерь активной мощности  $i$ -й ЭС;  $n$  — число генерирующих узлов (генераторных групп).

$$\varepsilon = f(P_i), \quad \forall i \in \overline{1, n}. \quad (4)$$

Характеристики относительных приростов (ХОП) генерирующих узлов (эквивалентные характеристики электростанций) в общем случае задаются аналитически таблицами:

Нагрузки узлов потребления на первом этапе расчета учитываются долевыми коэффициентами  $k_j$

$$k_j = P_j / \sum_{j=n+1}^N P_j, \quad \forall j \in \overline{n+1, N}, \quad (5)$$

считаем на первом этапе не зависящим от величины потерь в сети, причем,

$$\sum_{j=n+1}^N k_j$$

$= 1$ , что позволяет вычислить все коэффициенты при некоторых заданных значениях мощностей потребителей. Мощности генераторных узлов имеют двусторонние ограничения

$$\underline{P}_i \leq P_i \leq \overline{P}_i, \forall i \in \overline{1, n}, \quad (6)$$

где  $\underline{P}_i$ ,  $\overline{P}_i$  — соответственно нижняя и верхняя границы мощностей генерирующих узлов.

Для любого момента времени должно выполняться условие баланса мощности

$$\sum_{j=n+1}^N P_j + \pi(P) - \sum_{i=n}^n P_i = 0. \quad (7)$$

В матричной форме суммарные потери в сети приближенно можно выразить в виде квадратичной функции активных мощностей с помощью «b-коэффициентов»:

$$\pi(P) = \mathbf{P}^* \mathbf{B} \mathbf{P}, \quad (8)$$

где  $\mathbf{P}^* = [\mathbf{P}_I^* | \mathbf{P}_J^*]$  — строчная матрица активных узловых мощностей;  $\mathbf{P}_I$  — вектор-столбец активных мощностей генераторных узлов;  $\mathbf{P}_J$  — то же нагрузочных узлов;  $\mathbf{B}$  — квадратная симметричная положительно определенная матрица коэффициентов потерь, элементы которой суть действительные безразмерные числа;  $U$  — среднее значение приведенного напряжения системы.

Поскольку  $\sigma_i = \partial \pi(P)_i / \partial P_i$ , то  $\boldsymbol{\sigma} = 2\mathbf{B}\mathbf{P}$ , где  $\boldsymbol{\sigma}$  — вектор-столбец частных производных потерь мощности.

С учетом симметрии матрицы  $\mathbf{B}$  получим

$$\pi(P) = \mathbf{P}_I^* \mathbf{B}_{II} \mathbf{P}_I + 2\mathbf{P}_J^* \mathbf{B}_{IJ} + 2\mathbf{P}_J^* \mathbf{B}_{JJ} \mathbf{P}_J, \quad (9)$$

или с учетом (8) и (9) потери представим в виде

$$\pi(P) = \mathbf{P}_I^* \mathbf{B}_{II} \mathbf{P}_I + 2D^2 \mathbf{k}^* \mathbf{B}_{JI} \mathbf{P}_I + 2D^2 \mathbf{k}^* \mathbf{B}_{JJ} \mathbf{k}, \quad (10)$$

где  $\mathbf{k} = colon(k_{n+1}, k_{n+2}, \dots, k_N)$  — вектор размера  $m$ ;  $D$  — суммарная прогнозируемая нагрузка потребительских узлов;  $\mathbf{B}_{II}$  — квадратная матрица порядка  $n$ ;  $\mathbf{B}_{JJ}$  — то же, порядка  $m$ ;  $\mathbf{B}_{IJ}$ ,  $\mathbf{B}_{JI}$  — прямоугольные матрицы размером  $(n \times m)$  и  $(m \times n)$

соответственно;  $m = (N - n)$  — число нагрузочных узлов; здесь векторы  $\mathbf{P}_i$  и  $\sigma_i$  имеют размерность  $n$ .

Обозначив

$$d = D^2 \mathbf{k}^* \mathbf{B}_{JJ} \mathbf{k}; \quad (11)$$

$$a = 2D \mathbf{B}_{JJ} \mathbf{k}, \quad (12)$$

получим

$$\sigma_i = 2\mathbf{B}_{IJ} \mathbf{P}_i + a^*, \quad (13)$$

$$\pi(P) = \mathbf{P}_i^* \mathbf{B}_{II} \mathbf{P}_i + a^* \mathbf{P}_i + d.$$

Вычисление станций  $P_1, P_2, \dots, P_n$  выполняется по методу последовательных приближений. Сначала при фиксированных значениях мощностей потребителей  $P_{n+1}, P_{n+2}, \dots, P_N$  и относительного прироста системы  $\lambda$  решается система нелинейных уравнений (3), (4), (8), (10). Для заданного начального вектора  $\mathbf{P}_j$  и  $\lambda$  вычисляются  $D, \mathbf{k}, d$ , а по формулам (5), (11) и (12) соответственно, затем решается система нелинейных алгебраических уравнений

$$\mathbf{f}(P_i) + \sigma_i \lambda = \lambda, \quad \forall i \in \overline{1, n} \quad (14)$$

или

$$\mathbf{f}(P_i) + g_i P_i = \varphi_i, \quad \forall i \in \overline{1, n}, \quad (15)$$

где

$$g_i = 2b_{ii}\lambda; \quad \varphi_i = \lambda(1 - a_i - 2\sum_{j=1}^n b_{ij}P_j) + 2b_{ii}P_i, \quad \forall i \in \overline{1, n},$$

$$\forall j \in \overline{n+1, N}.$$

Обозначив вектор  $\psi$ -го приближения мощностей станций через  $\mathbf{P}_{II}^{(\psi)}$ , получим систему уравнений (15) в матричном виде

$$\mathbf{f}[\mathbf{P}_I^{(\psi)}] + \mathbf{g}\mathbf{P}_I^{(\psi)} = \mathbf{\Phi}, \quad (16)$$

где  $\mathbf{f}[\mathbf{P}_I^{(\psi)}]$  — вектор-столбец, каждая координата которого есть функция соответствующей координаты  $\mathbf{P}_I^{(\psi)}$ ;  $\mathbf{g}$  и  $\mathbf{\Phi}$  — столбцовые матрицы, элементы которых составлены из вычисленных значений  $g_i$  и  $\varphi_i$ .

Система уравнений (16) решается по алгоритму, сходному с алгоритмом Зейделя, основная идея которого заключается в том, что при вычислении  $(i+1)$ -го приближения неизвестного  $P_i$ , учитываются уже вычисленные ранее  $(i+1)$ -е приближения неизвестных  $P_1, P_2, \dots, P_{i-1}$ , т.е. найдя какое-то приближение для компонента, мы сразу же используем его для отыскания следующего компонента. По начальному приближению  $(\mathbf{P}_1^{(0)}, \mathbf{P}_2^{(0)}, \dots, \mathbf{P}_n^{(0)})$  находим  $\mathbf{P}_1^1$ , затем по

$(P_1^{(1)}, P_2^{(1)}, \dots, P_n^{(1)})$  находим  $P_2^{(1)}$  и т.д. После того как будут найдены все  $P_i^{(1)}$ , таким же образом находим  $P_i^{(2)}, P_i^{(3)}, \dots$ , пока не достигнем нужной точности ( $\omega_1$ ).

В программе этап вычисления мощностей станций при заданном значении  $\lambda$  выделен в подпрограмму, в которой, в свою очередь, выделена подпрограмма решения уравнения по методу хорд. Затем при сохранении мощностей нагрузок вычисляется по методу деления отрезка пополам такое значение  $\lambda$ , чтобы выполнялось условие (8) с учетом (10), т.е. чтобы соблюдался баланс мощностей при заданной мощности потребителей и оптимальном распределении нагрузок между станциями энергосистемы.

На втором этапе основного алгоритма оптимизации решается задача минимизации функции потерь активной мощности (10) в некоторой допустимой области её существования, определяемой системой ограничений:

1. Регулируемый диапазон изменения активной мощности каждого нагрузочного узла (группы потребителей)

$$P_j \leq P_j \leq \overline{P}_j, \quad \forall j \in \overline{n+1, N} \quad (17)$$

где  $\underline{P}_j$  — нижняя предельная граница снижения мощности -го узла (технологическая бронь);  $\overline{P}_j$  — верхний предел по  $j$ -й регулируемой нагрузке, нормируемый в определенные часы при дефиците мощности (прогнозируемая величина).

2. Суммарная прогнозируемая мощность не должна превышать заданной величины

$$\sum_{j=n+1}^N P_j \leq D, \quad j \in \{m\}. \quad (18)$$

3. По условиям сохранения устойчивого технологического режима и возможного дефицита вычисляемая величина потребляемой энергии -го нагрузочного узла (группы потребителей) должна изменяться в рамках двусторонних ограничений

$$\underline{W}_{jr} \leq W_{jr}^{opt} \leq \overline{W}_{jr}, \quad \forall j \in \{m\}, \quad \tau = 24\Delta t, \quad (19)$$

где  $\underline{W}_{jr}$  — минимальный суточный расход энергии в течение семидневной рабочей недели (технологическая бронь), который определяется следующим образом

$$\underline{W}_{jr} = \min\{W_{jr}^{(1)}, W_{jr}^{(2)}, \dots, W_{jr}^{(7)}\}, \quad \tau = 24\Delta t, \quad \Delta t = 1(0,5) \text{ час};$$

$\overline{W}_{jr}$  — максимальный суточный расход энергии, вычисляемый аналогично (при дефиците энергии)

$$\overline{W}_{jr} = \max\{W_{jr}^{(1)}, W_{jr}^{(2)}, \dots, W_{jr}^{(7)}\};$$

$$W_{j\tau}^{opt} = \sum_{\Delta t=1}^{24} P_j^{opt} \Delta t \text{ — величина суточного расхода энергии, вычисленная}$$

по компонентам полученного вектора  $\mathbf{P}_j^{opt}$ .

В случае несоблюдения ограничений (19) вычисленное значение  $W_{j\tau}^{opt}$  закрепляется на нижнем или на верхнем пределе, после чего формируются суточные графики нагрузки потребителей с почасовой разбивкой

$$P_{j\Delta t}^{opt} = h_{j\Delta t} W_{j\tau}^{opt} / 24,$$

где  $h_{j\Delta t} = W_{j\Delta t}^{cp} / W_{j\tau}^*$  — технологические коэффициенты, полученные по статистическим данным;  $W_{j\Delta t}^{cp}$  — среднее значение энергии, потребляемой  $j$ -м нагрузочным узлом за час  $\Delta t$ ;  $W_{j\tau}^*$  — среднее значение суточного расхода энергии, потребляемой  $j$ -м энергоузлом.

Матричное уравнение (9) представим в виде

$$\pi(\mathbf{P}) = \Pi + \mathbf{C}^* \mathbf{P}_j^* \mathbf{M} \mathbf{P}_j, \quad (20)$$

где

$$\mathbf{B}_{JJ} = \mathbf{M}; \quad \mathbf{B}_{IJ} \mathbf{P}_I = \mathbf{C}; \quad \mathbf{P}_I^* \mathbf{B}_{II} \mathbf{P}_I = \Pi$$

Выражение (20) представляет собой матричную нелинейную функцию, минимизируя которую в некоторой допустимой области ее существования, определяемой системой ограничений (17) – (19), придем к решению классической задачи выпуклого квадратичного программирования с нелинейной функцией цели и линейными ограничениями :

$$\pi(\mathbf{P}) \rightarrow \min \quad (21)$$

при условиях

$$\mathbf{E}^* \mathbf{P}_j \leq \Lambda; \quad \mathbf{P}_j \geq 0 \quad (22)$$

где  $\mathbf{E}^* = colon[\mathbf{A}, -\mathbf{E}, \mathbf{1}^*, -\mathbf{1}]$  матрица формирующих коэффициентов размеров:  $(2m + 1) \times m$ ;  $\Lambda^* = colon[\mathbf{B}, -\mathbf{H}, \mathbf{D}, -\mathbf{D}]$  — столбцовая матрица формируемых ограничений размера  $2(m + 1)$ ;  $\mathbf{E}$  — диагональная единичная матрица порядка  $m$ ;  $\mathbf{1}$  — столбцовая матрица размера  $m$ ;  $\mathbf{B}$  — вектор-столбец, составленный из величин, определяемых верхними предельными значениями усредненной мощности каждого объекта (группы потребителей) в течении временного интервала  $\Delta t$ ;  $\mathbf{H}$  — то же для нижних граничных величин.

Решая сформулированную задачу (21) при условиях (19) и (22) для каждого временного интервала, получим оптимальную в смысле потерь  $\pi(\mathbf{P})$  столбцовую матрицу значений активных мощностей

нагрузочных узлов  $P_J^{opt}$ . Вычисления продолжаются в итеративном цикле до тех пор, пока разница между двумя соседними значениями потерь  $\tilde{\pi}(P)$  не станет меньше заданной точности ( $\omega_2$ ). Вычисление оптимальных значений мощностей станций и балансирование режима выполняется во внешнем итерационном цикле, после чего найденные величины (в случае необходимости) корректируются и процесс вычислений повторяется до получения желаемой точности ( $\omega_3$ ) и ( $\omega_4$ ).

Таким образом, процесс оптимального распределения активных мощностей между генерирующими и потребляющими узлами с поочередной фиксацией подвекторов  $P_I^{opt}$  и  $P_J^{opt}$  выполняется до тех пор, пока заданная точность не будет достигнута на каждом этапе многоэтапного алгоритма.

### Список использованных источников

1. Александров О.И. Оптимизация режима электроэнергетической системы с выбором состава основного оборудования в период ремонтной кампании / О.И. Александров, С.В. Домников, А.М. Бакановский // Известия ВУЗов и энерг. объединений СНГ. Энергетика. – № 6. – 2002. – С. 3–16.

2. Aleksandrov O.I., Muhsen A. Planning of an optimum mode in Electric Power System with the account for repair switchings-off / A. Muhsen // Power Engineering. (Energetika), Kaunas – № 3. – 2003. – P. 45–51.

УДК 621.31

**Ф.С. Арабов, Н. Андалеби**

Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими  
Душанбе, Таджикистан

### ВЛИЯНИЕ СТОКООБРАЗОВАНИЯ РЕК НА ВЫРАБОТКУ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ МАЛЫХ ГЭС

*Аннотация.* В статье рассмотрены основные вопросы планирования выработки электроэнергии на малых ГЭС в зависимости от стока рек. Проведено причинно-следственная связь между образованием стока и атмосферных факторов на гарантированную мощность МГЭС. Рассмотрен один из вариантов планирования выработки электроэнергии на малых ГЭС с использованием метода математической регрессии.

## **INFLUENCE OF RIVER RUNOFF FORZATION ON ELECTRICITY PRODUCTION OF SMALL HYDRO POWER PLANTS**

***Abstract.** The article discusses the main issues of planning electricity generation at small hydroelectric power stations depending on river flow. The cause-and-effect relationship between the formation of runoff and atmospheric factors on the guaranteed capacity of small hydroelectric power stations is presented. One of the options for planning electricity generation at small hydroelectric power stations using the mathematical regression method is considered.*

При планировании производства электроэнергии на малых ГЭС исходя из среднего многолетнего значения расхода воды в реке в засушливые годы будет недостаточной обеспеченность стока, что приведет к снижению производства электроэнергии. Когда речной сток уменьшается, малые гидроэлектростанции работают при пониженном напоре, что ограничивает способность гидроэнергетики участвовать в покрытии графика нагрузки и, таким образом, теряется потенциал выработки электроэнергии. Необходимо разработать и выбрать новые методы планирования производства электроэнергии на МГЭС отдельно и в составе каскадов ГЭС при планировании производства на основе прогнозов речного стока. Прогнозирование производства электроэнергии на малых гидроэлектростанциях (МГЭС) на основе речного стока может осуществляться с использованием различных методов, включая статистические и методы моделирования. Основные этапы прогнозирования:

**Сбор данных:** Сбор исторических данных о выработке гидроэлектроэнергии и речном стоке. Для учета сезонных изменений важно иметь данные за длительный период времени.

**Анализ данных:** выполнить анализ данных, чтобы понять взаимосвязь между потреблением воды и производством электроэнергии. Используются графические и статистические методы для выявления закономерностей и взаимосвязей [1].

**Создание кривой гидроэнергетики.** Создание кривой доступности потока, которая показывает взаимосвязь между расходом воды и производством электроэнергии. Обычно эта кривая представляет собой график, на котором ось X представляет поток воды, а ось Y представляет производство электроэнергии.

**Моделирование и прогнозирование.** Для прогнозирования производства электроэнергии на основе гидроэлектрической кривой

можно использовать различные методы. Например, если у вас есть текущий расход воды, вы можете найти подходящее выходное значение, используя кривую.

Использование дополнительных факторов. В зависимости от сложности системы в модель могут быть включены дополнительные факторы, такие как температура воды, количество осадков и т. д., для повышения точности прогноза [2].

Проверка модели: проверьте производительность модели на исторических данных путем сравнения прогнозов с фактическими данными. Чтобы оценить точность, используйте различные показатели, такие как средняя абсолютная ошибка (MAE) или среднеквадратическая ошибка (MSE).

Мониторинг и обновление: постоянно отслеживает производительность модели и проверяет ее требования. Сезонные тенденции и условия могут меняться, поэтому модель необходимо адаптировать к новым данным.

Прогнозирование производства электроэнергии малыми ГЭС на основе речного стока позволяет оптимизировать использование гидроэнергетических ресурсов и управлять производством электроэнергии в соответствии с текущими условиями. При планировании производства электроэнергии в горных районах Таджикистана при отсутствии достаточных данных расчеты производства электроэнергии основывались на определении коэффициентов взаимной корреляции  $r$  между величинами водных ресурсов в снежном покрове, влажностью почвы и количество электроэнергии, произведенной на гидроэлектростанциях, с использованием метода корреляционного анализа, основанного только на коэффициентах стока. В работе использовалась множественная линейная корреляция с пошаговым регрессионным анализом для выявления прогнозирующих связей.

То есть, если переменная  $Y$  зависит от нескольких переменных  $X_1, X_2, \dots, X_n$ , то для каждой реализации  $Y$  справедливо:

$$Y - \bar{Y} = C_1 (X_1 - \bar{X}_1) + C_2 (X_2 - \bar{X}_2) + \dots + C_n (X_n - \bar{X}_n) \quad (1)$$

Данное уравнение называется уравнением регрессии переменного  $Y$  на переменные  $X_1, X_2, \dots, X_n$ . При нахождении коэффициентов уравнения регрессии в уравнении (1) был использован метод наименьших квадратов. Далее была использована методика выработки электроэнергии МГЭС при влиянии атмосферных факторов. Статистические методы прогнозирования основываются на анализе многочисленных факторов атмосферных изменений на обширной территории формирования стока реки. Аналогичный метод был



применен в данной статье при разработке модели планирования выработки электроэнергии на основе атмосферных факторов. При нынешнем развитии техники и технологии можно получить достаточное количество данных об атмосферных изменениях на обширных территориях. При ограниченных территориях, особенно в горных условиях Таджикистана, более удобно использовать существующие методики разложения регрессии по полям, по давлению и температуре, основываясь полиномами Чебышева [4].

При этом поле давления  $P$  можно задавать в точках пересечения прямоугольной регулярной сетки меридианов и параллелей с координатами  $x = 1, 2, 3, 4, \dots, n$ ;  $y = 1, 2, 3, 4, \dots, m$ . Такое поле можно представить в виде суммы произведений,

$$P_{(x,y)} = A_{00} + A_{10}\Psi_1(x)\Psi_0(y) + A_{01}\Psi_0(x)\Psi_1(y) + A_{11}\Psi_1(x)\Psi_1(y) + \dots + A_{ij}\Psi_i(x)\Psi_j(y) \quad (2)$$

Коэффициенты  $A_{ij}$  определяются из выражения:

$$A_{ij} = \frac{\sum_{x,y} P(x,y)\Psi_i(x)\Psi_j(y)}{\sum_x \Psi_i^2(x) \sum_y \Psi_j^2(y)} \quad (3)$$

Где  $\Psi_1, \Psi_2, \dots, \Psi$  - функции, заданные таким образом, что фактор  $A_{ij}$  отображает некоторое распределение  $P$ .

Для обеспечения удовлетворительного совпадения расчетного и фактического поля достаточно вычислять только первые 10 членов ряда. Изменение атмосферных сезонов в горных районах проходит обычно от двух до трёх месяцев, которое позволяет оценивать преобладание разных процессов и прогнозировать уровень стока на один два месяца вперёд.

Модель планирования выработки на малых ГЭС, основываясь на атмосферных изменениях, можно применять с учетом тех параметров, которые могут существенно влиять на формирование стока в реках и выработку электроэнергии ГЭС. Значение геопотенциала местности позволяет построить модель прогнозирования выработки электроэнергии ГЭС на основе климатических факторов. Для начала используется давление поля геопотенциала, где необходимо произвести расчёты в зависимости от месяца, которое позволяет разложить коэффициенты разложения поля геопотенциала за весь период наблюдений. Множество поочерёдных барических полей можно представить в виде фикции от времени  $F(t, x)$ , где  $t$  - время, ( $t = 1, 2, 3, \dots, m$ ) закрепляющие для каждого частного поля, а  $x$  - параметр координата ( $x = 1, 2, 3, \dots, n$ ) разложением по естественным ортогональным составляющим  $X_h(x)$ ,  $h = 1, 2, 3, \dots$ ) с коэффициентами разложения  $T_h(t)$ , изменяющимися от одного поля к другому с течением времени.

Функция  $F(t, x)$  приведена в виде таблицы чисел:

$$\begin{array}{c} F_{11}, F_{12}, F_{13}, \dots, F_{1n} \\ F_{21}, F_{22}, F_{23}, \dots, F_{2n} \\ \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \\ F_{i1}, F_{i2}, F_{i3}, \dots, F_{in} \end{array} \quad (4)$$

где, индексы соответствуют значениям переменных  $t$  и  $x$ . Всякий ряд данной таблицы описывает в  $n$  заданных точках момента времени состояние нашего поля. Теперь необходимо найти деление любого частного поля из всей совокупности полей по некоторым функциям  $X_h(x)$  с коэффициентами  $T_h(t)$ , изменяющимися от одного поля к другому (в нашем случае от года к году). Иначе говоря, нужно найти такие функции  $X_h(x)$ , чтобы имело место разложение:

$$F(t, x) = \sum_h T_h(t) X_h(x) \quad (5)$$

Модель прогнозирования и планирования выработки электроэнергии в зависимости от климатических изменений используется метод пошаговой регрессный анализ с множеств линейных корреляций методом наименьших квадрат которое даёт возможность находить коэффициент регрессии [3].

Совокупность стокообразующих и климатических факторов которые влияют на планировании выработки электроэнергии являются последним этапом модели. Два предыдущих модели основывались на получение или нахождение коэффициентов разложения прогностического уравнения.

Независимыми переменными в уравнении могут быть атмосферные данные об изменении циркуляции геопотенциала и данные о наличие грунтовых вод и снежного покрова.

Адекватность регрессонной модели служить теоритическое корреляционное отношение  $\eta$  является относительная величина которая можно получит путем сравнения среднеквадратичного отклонения сровнених значения  $\delta$  которое можно поределит по регресионному уравнению со среднеквадратичным отклонением окончательного признака.

### Список использованных источников

1. Александровский А.Ю., Борщ П.С. Прогнозирование выработки электроэнергии на ГЭС. // Гидротехническое строительство. - 2013. - №1
2. Александровский А.Ю., Борщ П.С. Зависимость водноэнергетических показателей Эвенкийской ГЭС от стока р. Нижняя Тупгуска и режима использования водных ресурсов

водохранилища. // Гидротехническое строительство. - 2012. - №4, с.27 - 30.

3. А.К. Киргизов., Л.С. Касобов., С. Расулов. /Оценка гидрологических режимов малых водотоков Памира при проектировании малых ГЭС. // Вестник Донецкого национального технического университета, № 1 (16). – Донецк: «Цифровая типография», 2014. – С. 75–78. УДК. 621.311. ISSN: 2074-2630
4. М.Б. Иноятов., А.К. Киргизов / К вопросу использования малой гидроэнергетики в условиях Таджикистана. // Вестник Таджикского технического университета № 2. 2008. – Душанбе: ТТУ имени акад. М.С. Осими, 2008. – С. 38-42. ISSN: 2075-177X

УДК 620.91

**О.Ч. Атаева, А.Ш. Канаева, Ы.Г. Гурбанов**

Туркменский государственный архитектурно-строительный институт  
Ашхабад, Туркменистан

## **ДОСТИЖЕНИЕ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ**

*Аннотация.* Уже на протяжении последних десятилетий наблюдается огромное желание многих развитых государствах и других развивающихся экономик перейти на национальный уровень к использованию энергии возобновляемых источников энергии. Но основным средством энергетического сбережения стало структурное изменение экономики, запущенной с целью расширения доли энергоэффективного производства.

**O.Ch. Ataeva, A.Sh. Kanaeva, Y.G. Gurbanov**

Turkmen State Architecture and Construction Institute  
Ashgabat, Turkmenistan

## **ACHIEVEMENT OF RENEWABLE ENERGY SOURCES**

*Abstract.* Already over the past decades, there have been many developed countries and groups of developing economies moving to a national level to use energy from renewable energy sources. But the main means of energy conservation was the structural change of the economy, which was launched to eliminate energy-efficient production.

«Зелёная» энергетика — это чистая энергия, которая, в не зависимости от ископаемого нефтетоплива, не загрязняет окружающую

среду и происходит из 100% возобновляемых источников. Если говорить обычным языком, то это употребление неисчерпаемых природных источников – вода, ветер, лучи солнца, тепло земли. Она значит экологически чистой и имеет большие шансы для развития [1].

Такие страны, как Китай, Германия, Япония, Испания, Дания уже давно начали продвижение в этой области энергетики и перешли на экологически чистое сырье. За счет технологического прогресса, они получили возможность очистить землю от отходов, а воздух от ядовитых отходов промышленных предприятий, что существенно повлияло на уровень жизни.

### **Возобновляемые источники энергии**

Поговорим теперь о возобновляемой энергии. Чем отличается возобновляемая энергия от чистой?

Возобновляемая энергия вырабатывается за счет природных ресурсов — наиболее очевидными примерами являются ветер и солнце [2].

Чистая энергия — это энергия, которая почти не загрязняет окружающую среду. Она включает возобновляемые источники энергии (ВИЭ). Кроме этого, она также включает в себя ядерную энергию и технологии, нейтрализующие углерод. Это добывается процессом таких технологий, как улавливание и связывание углерода.

Мы расположенные путать чистую энергию с возобновляемыми источниками (ВИЭ).

Какие бывают виды зелёной энергии?

Имеется несколько видов возобновляемой энергии, получаемой за счёт природных источников, таких как ветер, вода или солнце [3].

Солнечная энергетика – применение солнечного излучения для получения энергии в каком-либо виде. Источником энергии солнечного излучения представляют термоядерные реакции, протекающие на Солнце.

Каждый квадратный метр Солнца приносит 1367 Вт энергии постоянной солнечной энергии. Через атмосферу до нашей земли — доходит в порядке 1020 Вт/м<sup>2</sup> (на экваторе).

Однако это среднее значение. Не забывайте, что в пасмурной погоде солнечные излучения гораздо меньше. Зимой в небольших масштабах значимость в два раза ниже.

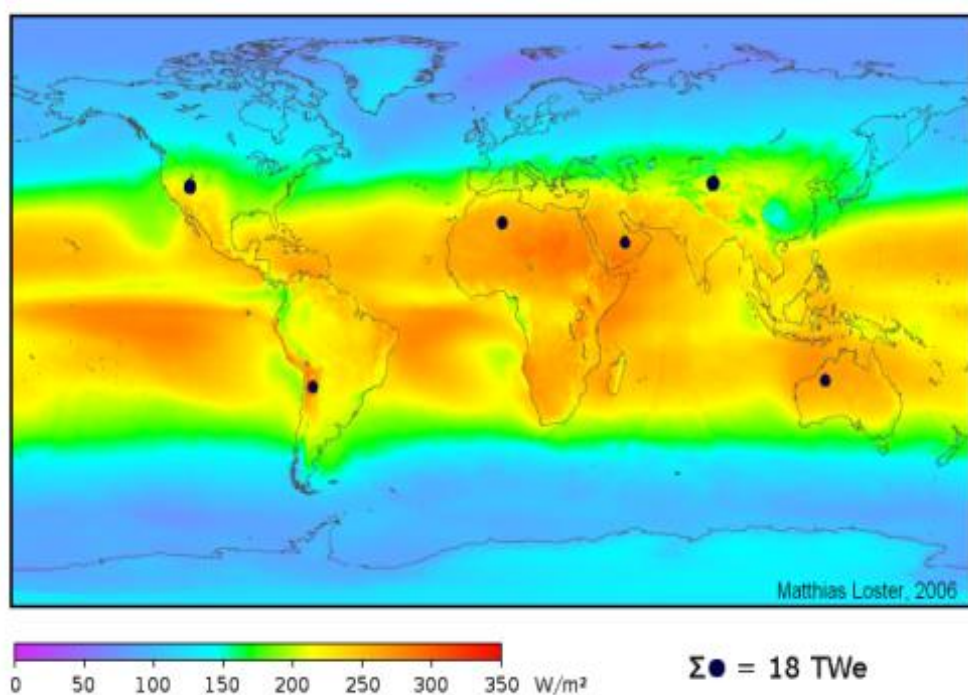
Для определения того, сколько энергии можно выработать в среднем за год, учитывается тип солнечных батарей:

- Параллельно земле
- Под оптимальным углом

- Со слежением за солнцем

По данным ученых, солнце образовалось примерно 4,57 млрд. лет назад, после разрушения молекулярно-водородного облако. Позже, примерно 1 млрд. лет назад, жизнь начала возникать на Земле. Другими словами, энергия Солнца в «законном» виде присутствует в любом из ископаемых топлив – уголь, нефть, газ.

Эта энергия начала накапливаться еще на этапе развития растений, которые потребляют солнечные лучи и тепло, которые благодаря сложным биологическим процессам стали углеродными ископаемыми. Энергию воды, ее цикла также способствует Солнце.



**Рис. 1 - Карта солнечного излучения**

Плотность Солнца в наружной границе атмосферы составляет  $1350 \text{ Вт/м}^2$  и имеет название «солнечное постоянное». Солнечный луч при проникновении через атмосферу Земли часть излучения рассеивается. Но и сама поверхность Земли имеет достаточную плотность, чтобы использовать ее, даже при облачной погоде [4].

В сегодняшний день считается, что каждый час на земную поверхность поступает довольно-таки достаточное количество энергии от Солнца, чтобы обезопасить потребности человечества в энергии на целый год.

С экологической стороны использование Солнца также очень выгодно, поскольку она не производит отходов, при использовании которых воздух не будет загрязняться вредными выбросами.

С увеличением индустриализации и увеличением уровня жизни в плотно населенных странах, таких как Китай и Индия, глобальный спрос на энергию на душу населения растет [3].

К тому же растущая оценка вклада парникового газа не только к глобальному потеплению, но также к общей деградации окружающей среды подтолкнула ученых, на поиски альтернативного источника энергии, приоритетнее, чем раньше.

Как известно, наша страна обладает очень большими резервами углеводородных и горно-минеральных ресурсов. Но наличие достаточных резервов углеводородного сырья в Туркменистане не является препятствием для активного использования возобновляемых источников энергии. Вполне большие ресурсы энергоносителей способствуют избежать стратегических ошибок в выборе оптимальных технологий и направлений развития возобновляемых источников энергии и создать с учётом опыта западных стран, например Китая и Японии, которые используют собственные инновационные технологии, создавая крупномасштабные проекты в сфере возобновляемых источников энергии.

Президент Туркменистана придаёт большое значение введению экологически чистых энергосберегающих технологий, в частности, возобновляемой энергетики. Глава государства в своих выступлениях часто выделял огромную значимость развития солнечной, ветровой энергетики и других возобновляемых источников энергии.

В нашем солнечном Туркменистане в среднем около 300 светлых дней в году. На значительную территорию страны среднегодовая интенсивность солнечного излучения составляет около 700-800 Вт/м<sup>2</sup>.

Годовой энергетический потенциал солнечной энергетики оценивается на уровне 110 миллиардов тонн [5] условного топлива.

Распределение солнечного потенциала в Туркменистане может быть рассмотрено даже в зависимости от его широты. Впрочем, при проектировании солнечных систем следует учитывать температурные режимы места размещения возобновляемых источников энергии.

Принятый Закон Туркменистана «О возобновляемых источниках энергии» лишь подтверждает приверженность нашего

государства превратиться в технологически развитое промышленное государство. Закон обуславливает общую энергетическую безопасность, внедрение системного использования возобновляемых источников энергии с целью сохранения их для будущих поколений, а также защиту окружающей среды [5].

### **Список использованных источников**

1. Wingert J. L. La vie après le pétrole: de la pénurie aux énergies nouvelles. – Éditions Autrement, 2005.
2. BP Statistical Review of World Energy 2010. Ежегодный отчет BP по энергетике и энергоносителям 2010г.
3. Key World Energy Statistics 2009. Ключевая мировая энергетическая статистика 2009.
4. Initiative for an International Renewable Energy Agency IRENA, October 2008. Бюллетень энергетической информации по материалам Международного агентства по возобновляемым источникам энергии, октябрь 2008 г.
5. Электронный ресурс. <https://altenergetika.ru/zelyonaya-energetika>

УДК 539.125.523.43

**И.А. Базулин, А.С. Мязин, А.С. Федотов**  
Национальный исследовательский центр «Курчатовский Институт»  
Москва, Россия

### **РАЗРАБОТКА ТРЁХМЕРНОГО НЕЙТРОННО-ФИЗИЧЕСКОГО КОДА DORA-C, ОСНОВАННОГО НА МЕТОДЕ ХАРАКТЕРИСТИК**

*Аннотация.* С ростом вычислительных мощностей возникла возможность высокоточного моделирования процессов переноса нейтронов в задачах реакторной физики и радиационной безопасности. Данная работа посвящена разработке и верификации нейтронно-физического кода для решения трехмерного уравнения переноса нейтронов методом характеристик.

I.A. Bazulin, A.S. Myazin, A.S. Fedotov  
National research center "Kurchatov Institute"  
Moscow, Russia

## DEVELOPMENT OF A THREE-DIMENSIONAL NEUTRON-PHYSICAL METHOD OF CHARACTERISTICS CODE DORA-C

*Abstract.* With the growth of computing power, the possibility of high-precision modeling of neutron transfer processes in the problems of reactor physics and radiation safety has appeared. This work is devoted to the development and verification of a neutron-physical code for solving a three-dimensional neutron transfer equation by the characteristics method.

В связи с развитием ядерной энергетики возрастают требования к ее безопасности, и, как следует, к точности, надежности и оперативности предсказания поведения ядерных энергетических объектов в различных ситуациях. В связи с этим возникла и необходимость проведения прецизионных расчетных исследований по решению задач переноса нейтронов с применением эффективных методов на стадии рабочего и эскизного проектирования ядерных энергетических установок. Бурное развитие вычислительной техники приводит к повышению требований к точности моделирования нейтронно-физических процессов и способствуют переходу к использованию высокоточных методов решения уравнения переноса при выполнении проектно-конструкторских работ, в расчетном обосновании и анализе безопасности, а не только для проведения реперных расчетов. За счет значительного увеличения мощности современных компьютеров и развития методов распараллеливания становится возможным переход к моделям с высокой детализацией расчетной области, которые максимально приближены к реальному описанию геометрии и основных физических процессов. Таким образом, основные направления деятельности в области нейтронно-физических расчетов связаны с разработкой новых и модификацией ранее разработанных моделей, численных методов и созданием на их основе программных комплексов нового поколения для полномасштабного моделирования основных нейтронно-физических процессов в ядерных реакторах.

В ходе данной работы был разработан трехмерный нейтронно-физический расчетный код, основанный на методе характеристик. Описываемое программное средство разработано в объектно-ориентированной парадигме с учетом всех современных стандартов проектирования. Для полноценного использования современных вычислительных мощностей алгоритмы были распараллелены с



использованием таких технологий, как *OpenMP*, *CUDA* и *MPI*, что позволяет использовать расчетный код как на стационарных компьютерах, так и на кластерах.

В целях верификации проведена серия компьютерных расчетов. В качестве расчетных задач были выбраны часто используемые другими авторами бенчмарк-тесты, такие как бенчмарк Такеды [1], *LRA* [2] и *C5G7* [3]. Во всех упомянутых тестах было получено хорошее совпадение с реперными значениями.

В дальнейшем планируется модифицировать разработанное программное средство для моделирования переноса гамма-квантов в системах с сильным ослаблением, а также создать теплогидравлический блок для решения сопряженных задач нейтронной физики и теплофизики, что необходимо для моделирования нестационарных процессов в реакторных установках.

#### **Список использованных источников**

1. Takeda T., Ikeda H. 3-D neutron transport benchmarks //Journal of Nuclear Science and Technology. – 1991. – Т. 28. – №. 7. – С. 656–669.
2. Kreher M. A., Smith K., Forget B. Direct Comparison of High-Order/Low-Order Transient Methods on the 2D-LRA Benchmark Problem //Nuclear Science and Engineering. – 2022. – Т. 196. – №. 4. – С. 409–432.
3. Lewis E. E. et al. Benchmark specifications for deterministic MOX fuel assembly transport calculations without spatial homogenization //Organization for Economic Co-operation and Development's Nuclear Energy Agency. – 2003.

УДК 537.566

**Д.С. Баршутина, С.Н. Баршутин**  
Тамбовский государственный технический университет  
Тамбов, Россия

### **ИССЛЕДОВАНИЕ МОДЕЛИ ВОЗДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ НА ПРОЦЕСС ИОНИЗАЦИИ ПЛАМЕНИ**

*Аннотация.* Рассмотрены уравнения образования радикалов в пламени метана, показана модель зависимости напряженности электрического поля от

основных параметров газовой среды пламени, построен график зависимости напряженности электрического поля от температуры пламени.

**D.S. Barshutina, S.N. Barshutin**

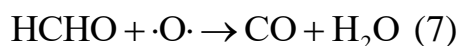
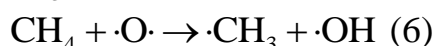
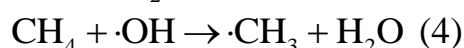
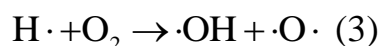
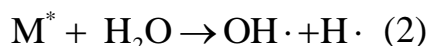
Tambov State Technical University

Tambov, Russia

## INVESTIGATION OF THE MODEL OF THE EFFECT OF AN ELECTRIC FIELD ON THE FLAME IONIZATION PROCESS.

*Abstract.* The equations of formation of radicals in a methane flame are considered, a model of the dependence of the electric field strength on the main parameters of the flame gas medium is shown, a graph of the dependence of the electric field strength on the flame temperature is constructed.

Процесс горения углеводородного топлива сопровождается образованием радикалов, от образования которых в большой степени зависит его скорость. В случае горения метана под действием температуры молекула распадается с образованием радикалов, которые далее имеют возможность взаимодействовать с кислородом. Схема образования радикалов при горении метана может выглядеть следующим образом [1].



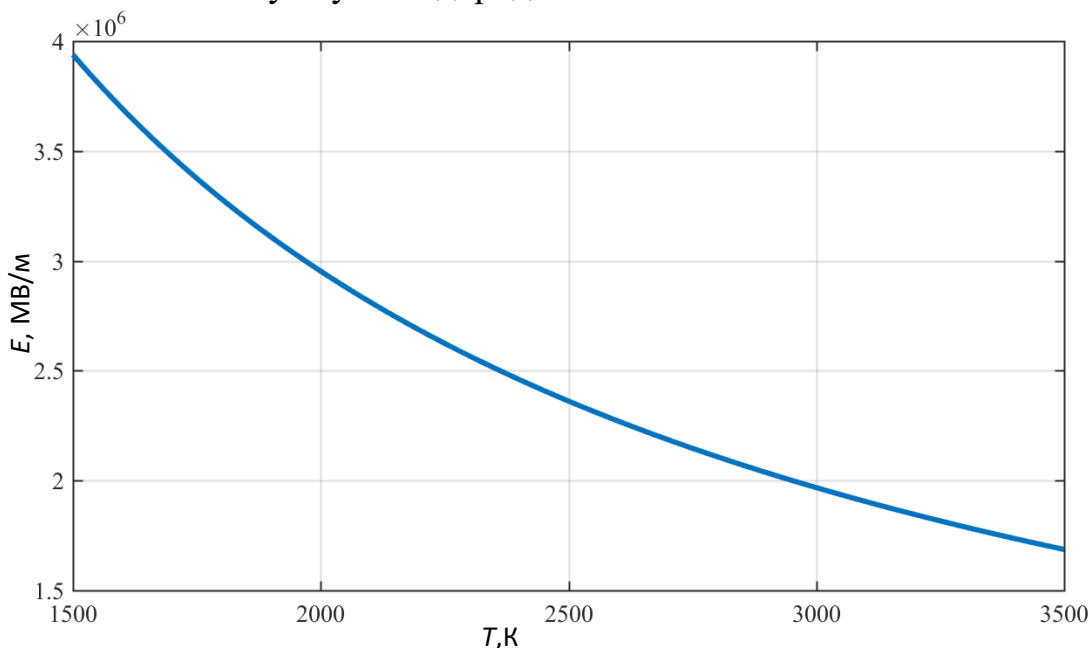
Из представленных уравнений часть протекает независимо друг от друга и соответственно имеют возможность параллельного протекания реакции. Другая часть реакций имеют последовательный характер. Соответственно скорость процесса горения будет определяться самой медленной реакцией. Как видно из уравнений реакций (1)-(8) процесс горения метана обладает малой степенью разветвленности. В связи с этим одним из возможных путей повышения степени образования радикалов является воздействие на зону реакции электрического поля с напряженностью, достаточной для образования радикалов. Энергия связи атома водорода с атомом углерода в метане составляет  $E_{sv}=4,43\text{эВ}$ . Таким образом, для разрыва связи необходимо молекуле

метана передать энергию больше или равную энергии связи атома водорода с атомом углерода.

Авторами [1] разработана модель взаимодействия электрического поля:

$$E = E_{sv} \cdot \sqrt[3]{\frac{P \cdot N_A}{R \cdot T}} \cdot \frac{\ln \left( 1 - \left( \frac{P \cdot N_A}{R \cdot T} \right)^{\frac{2}{3}} \cdot \sigma \right)}{\ln(P_{0.5})}. \quad (25)$$

где  $P$  – давление,  $R$  – газовая постоянная,  $T$  – температура,  $N_A$  – число Авогадро,  $\sigma$  – сечение взаимодействия,  $E_{sv}$  – энергия связи между атомами в молекуле углеводородного топлива.



**Рис.1 - График зависимости напряженности электрического поля достаточной для формирования радикалов в пламени от температуры**

Анализ полученной зависимости показывает, что с увеличением температуры пламени напряженность электрического поля, которую необходимо сформировать для образования радикалов, можно снизить до величин менее 2,5МВ/м. Соответственно для межэлектродного пространства с расстоянием между электродами порядка 1 см необходимое напряжение составит 25кВ.

### Список использованных источников

1. Баршутина, Д.С. Перспективы применения электрического поля для повышения эффективности получения энергии от сжигания углеводородного топлива / Д.С. Баршутина, С.Н. Баршутин //

Бутаковские чтения : сборник статей II Всероссийской с международным участием молодёжной конференции / под ред. А.С. Заворина ; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2022.-С.307-310

УДК 537.568

**Д.С. Баршутина, С.Н. Баршутин**

Тамбовский государственный технический университет  
Тамбов, Россия

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ТЕРМИЧЕСКОЙ ИОНИЗАЦИИ МОЛЕКУЛ АЗОТА В ПЛАМЕНИ**

*Аннотация.* Рассмотрены вопросы ионизации компонентов пламени, на основе распределения Максвелла разработано уравнение, которое устанавливает связь между количеством молекул, обладающих достаточной энергией для процесса ионизации и температурой пламени. Определена температура, при которой азот не подвергается ионизации.

**D.S. Barshutina, S.N. Barshutin**

Tambov State Technical University  
Tambov, Russia

## **INVESTIGATION OF THE PROCESS OF THERMAL IONIZATION OF NITROGEN MOLECULES IN A FLAME.**

*Abstract.* The issues of ionization of flame components are considered, an equation is developed based on the Maxwell distribution, which establishes a relationship between the number of molecules with sufficient energy for the ionization process and the flame temperature. The temperature at which nitrogen does not undergo ionization is determined.

Традиционное топливо является на данный момент основным источником для производства тепловой и электрической энергии. Соответственно поиск путей повышения эффективности преобразования потенциальной энергии топлива в тепловую или электрическую является актуальной задачей.

Одним из способов повышения эффективности преобразования энергии является увеличение количества ионизированных состояний газообразных компонентов пламени.

Рассмотрим процесс горения топлива в газообразной фазе. Основными процессами ионизации в пламени являются: термическая ионизация, которая описывается уравнением Саха и химиоионизация, определяемая процессом химической реакции, при которой высвобождаемая энергия приводит к ионизации компонента пламени. Так как на процессы химиоионизации повлиять в заданной системе не представляется возможным, ввиду их зависимости только от компонентного состава, то для повышения степени ионизации подробно рассмотрим термическую ионизацию.

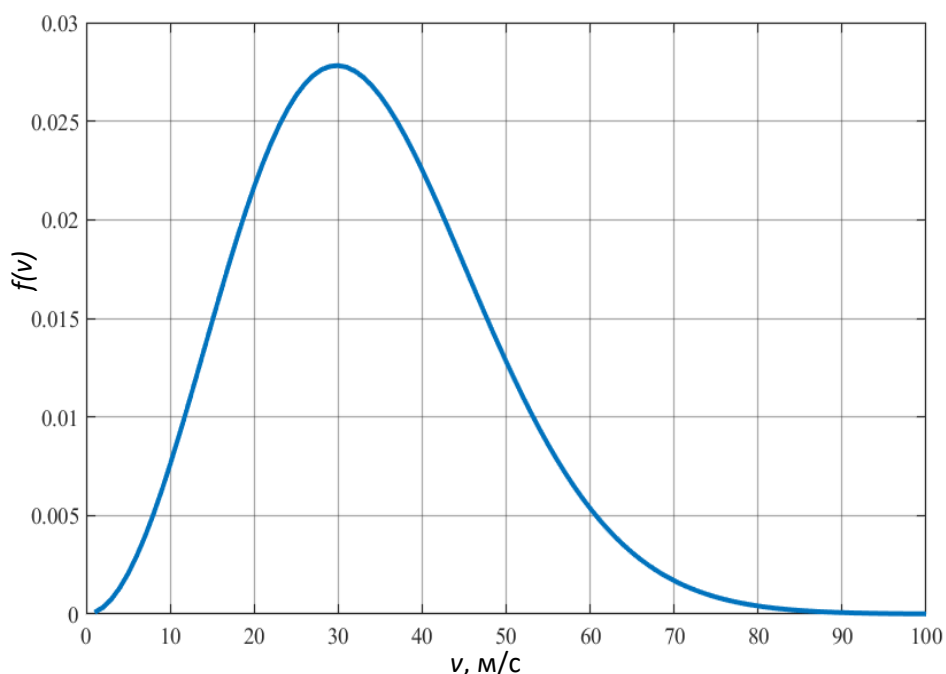
Основным механизмом в термической ионизации выступает ударная ионизация, которая за счет кинетической энергии соударяющихся молекул переводят связанный электрон молекулы в свободное состояние, образуя при этом положительный ион.

В равновесном состоянии распределение энергии молекул подчиняется распределению Максвелла [1]:

$$f(v) = 4 \cdot \pi \cdot \left( \frac{m}{2 \cdot \pi \cdot k \cdot T} \right)^{\frac{3}{2}} \exp\left( -\frac{m \cdot v^2}{2 \cdot k \cdot T} \right) \cdot v^2, \quad (1)$$

где  $m$  - масса молекулы,  $k$  - постоянная Больцмана,  $T$  - температура,  $v$  - скорость молекулы.

Функция распределения (1) по скоростям движения молекул азота при температуре 1500К представлена на рис.1.



**Рис.1 - График функции распределения скорости молекул.**

Для определения количества молекул с кинетической энергией достаточной для ионизации, формулу (1) представим в виде  $f(E)$ :

$$f(E) = 2 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot m}{\pi \cdot k^3 \cdot T^3}} \cdot E \cdot \exp\left(-\frac{E}{k \cdot T}\right), \quad (2)$$

Тогда график распределения энергии будет иметь вид рис.2.

Для определения количества молекул, обладающих кинетической энергией выше энергии ионизации, воспользуемся следующим соотношением:

$$\frac{dn(E)}{n_0} = f(E) dE, \quad (3)$$

где  $n_0$  – общее количество молекул в заданном объеме.

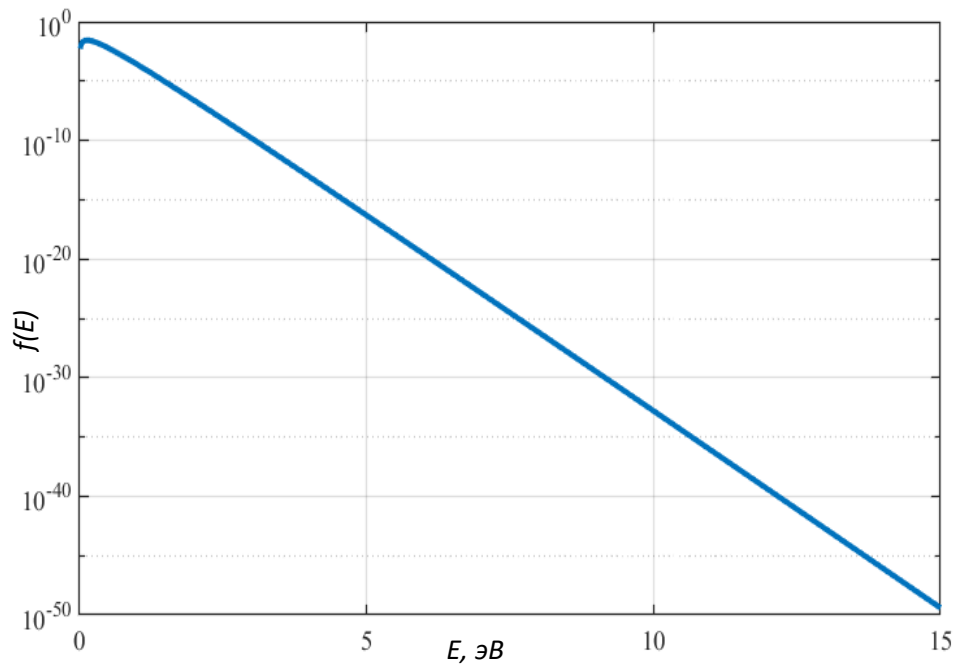


Рис.2 -График функции распределения кинетической энергии молекул

Проведем интегрирование:

$$n = n_0 \cdot 2 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot m}{\pi \cdot k^3 \cdot T^3}} \cdot \int_{E_a}^{E_b} E \cdot \exp\left(-\frac{E}{k \cdot T}\right) dE, \quad (4)$$

где  $E_a, E_b$  – минимальное и максимальное значение энергии.

Нормируем полученную функцию таким образом, чтобы при интегрировании от 0 до  $\infty$  получалось равенство  $n=n_0$ .

$$n = n_0 \cdot 2 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot m}{\pi \cdot k \cdot T}} \cdot \left( (E_a + k \cdot T) \cdot \exp\left(-\frac{E_a}{k \cdot T}\right) - (E_b + k \cdot T) \cdot \exp\left(-\frac{E_b}{k \cdot T}\right) \right), \quad (5)$$

Соответственно при  $E_a=0$  и  $E_b=\infty$  из уравнения (6) находим поправочный коэффициент  $p_k$

$$p_k \cdot 2 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot m}{\pi \cdot k \cdot T}} \cdot \left( (0 + k \cdot T) \cdot \exp\left(-\frac{0}{k \cdot T}\right) - (\infty + k \cdot T) \cdot \exp\left(-\frac{\infty}{k \cdot T}\right) \right) = 1, \quad (6)$$

так как

$$\left( (0 + k \cdot T) \cdot \exp\left(-\frac{0}{k \cdot T}\right) - (\infty + k \cdot T) \cdot \exp\left(-\frac{\infty}{k \cdot T}\right) \right) = k \cdot T, \quad (7)$$

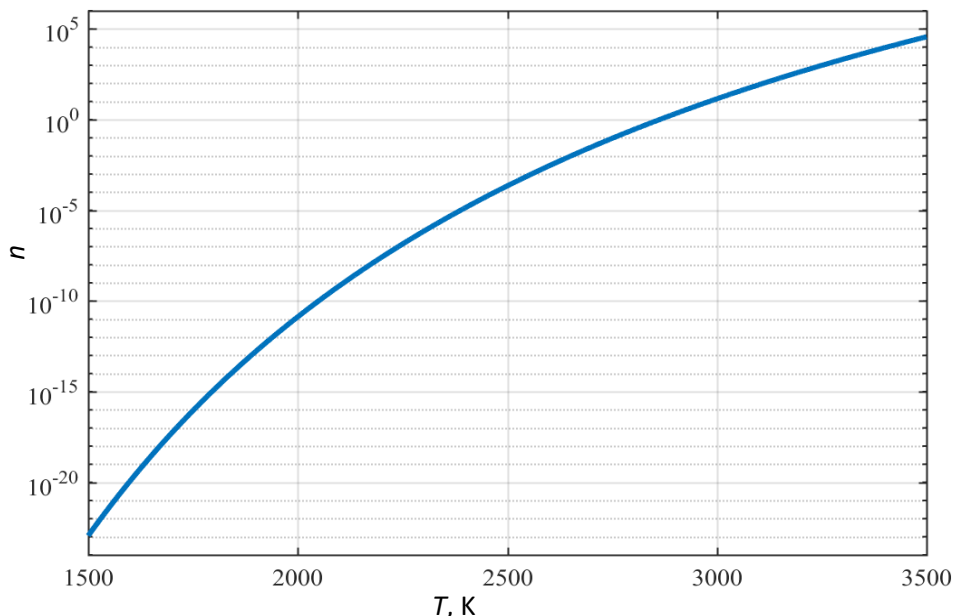
то

$$p_k = \sqrt{\frac{\pi}{8 \cdot m \cdot k \cdot T}}, \quad (8)$$

В итоге уравнение (5) приобретет вид:

$$n = \frac{n_0}{k \cdot T} \cdot \left( (E_a + k \cdot T) \cdot \exp\left(-\frac{E_a}{k \cdot T}\right) - (E_b + k \cdot T) \cdot \exp\left(-\frac{E_b}{k \cdot T}\right) \right), \quad (9)$$

Анализ функции зависимости количества молекул с энергий, которая превышает энергию ионизации азота от температуры показал, что процесс ионизации для молекул азота начинается с температуры 2866 К и выше рис.3.



**Рис.3 - График зависимости количества молекул пламени, обладающих энергией достаточной для ионизации молекул азота, от температуры**

А так как, температура горения углеводородов в среде воздуха не превышает 2800 К, то ионизация молекул азота при горении углеводородов в среде воздуха происходить не будет.

### Список использованных источников

1. Савельев И.В. Курс физики: учебное пособие для вузов: в 3 томах/ И.В. Савельев.-10-е изд., стер.- Санкт-Петербург: Лань, 2023.- Том1: Механика.Молекулярная физика.-356с.

УДК 551.583, 620.001

**Е.А. Басова**

Санкт Петербургский Технологический Институт (Технический Университет)  
Санкт Петербург, Россия

## **НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ «УГЛЕРОДНОГО СЛЕДА» ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

***Аннотация.** Поглощение избыточной концентрации углекислого газа растениями является решением важной проблемы - «углеродного следа», которая с каждым годом становится все актуальнее. В статье приведены результаты собственных экспериментов по оценке влияния электрофизического влияния на интенсификацию процессов связывания диоксида углерода.*

**Е.А. Basova**

Saint Petersburg Institute of Technology (Technical University)  
Saint Petersburg, Russia

## **SCIENTIFIC AND TECHNICAL SOLUTION OF THE "CARBON FOOTPRINT" PROBLEM TO ENSURE THE ENVIRONMENTAL SAFETY OF THE RUSSIAN FEDERATION**

***Abstract.** The absorption of excess carbon dioxide concentration by plants is a solution to an important problem - the "carbon footprint", which is becoming more relevant every year. The article presents the results of our own experiments to assess the effect of electrophysical influence on the intensification of carbon dioxide binding processes.*

Актуальной проблемой человечества является влияние «углеродного следа» на истощение озонового слоя Земли. При разрушении озоносферы происходит изменение климата, которое связано с необратимыми и повсеместными последствиями для существующих живых систем. Влияние, которое оказывают парниковые газы на климат создают совокупность рисков для населения, естественных биологических систем, инфраструктуры, областей экономики и других. К наиболее важным относятся риски: экстремальных погодных условий (наводнений, лесных и торфяных пожаров), неблагоприятных воздействий (экстремально высокие и низкие температуры, высокий уровень загрязнений атмосферы) и риски деградации естественных систем в результате изменений метеорологических величин (температура, влажность, давление) - деградация и эрозия почв.

Российская Федерация обладает преимуществами по отношению к другим странам так как имеет значительную территорию и огромное многообразие климатических условий и биоты, которые открывают

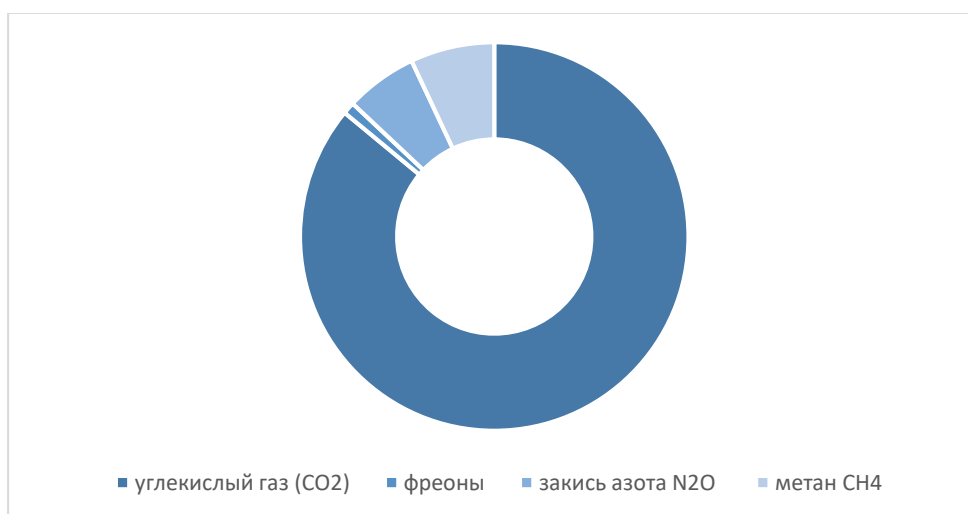


новые возможности для создания поглощающих и управляемых экосистем.

Расчеты Минэкономразвития РФ показывают, что выбросы парниковых газов в России составляют 1,58 млрд тонн CO<sub>2</sub> эквивалента в год. При этом потенциал поглощения атмосферного CO<sub>2</sub> субъектами лесного и сельского хозяйства России рассчитанный по различным одобренным Минприроды РФ методикам оценивают в 414 ÷ 730 млн тонн.

Таким образом, до половины выбросов парниковых газов можно «обнулить» за счет разнообразных лесоклиматических проектов (лесовосстановление, лесоразведение, охрана лесов от пожаров, защита лесов от вредных организмов). Также необходимость увеличения площадей управляемых лесных хозяйств, также и изучение методик по поглощению парниковых газов лесами России.

Для уменьшения воздействий парниковых газов необходимо минимизировать концентрацию углекислого газа, который находится и поступает в атмосферу. Состав парниковых газов отображен на рис.1.



**Рис. 1 - Состав парниковых газов**

Избыточное количество CO<sub>2</sub> поступает в атмосферу путем природной и антропогенной деятельности. Неестественное поступление CO<sub>2</sub> обусловлено отраслями – производителями углекислого газа изображено на рис.2.



**Рис. 2 - Отрасли производители углекислого газа**

Таким образом, на сегодняшний день минимизировать выбросы парниковых газов недостаточно для того, чтобы остановить глобальное потепление, но необходимо уменьшить концентрацию углекислого газа, которая поступает и уже находится в атмосфере. Актуальными направлениями являются разработка и освоение технологий абсорбции, переработки, использования и (или) захоронения CO<sub>2</sub>

Агроэкосистемы могут выступать в качестве поглотителей углерода и оказывать воздействие на смягчение последствий изменения климата посредством связывания углерода. Использование карбонового земледелия позволит интенсифицировать поглощение CO<sub>2</sub> из атмосферы и уменьшить его содержание в воздухе [2].

Таким образом, можно сделать вывод, что внедрение предложенного способа электромагнитной обработки поливной воды отвечает сразу нескольким пунктам, определяющим мероприятия по реализации целевого (интенсивного) сценария Стратегии социально-экономического развития РФ с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 года, утвержденной распоряжением Правительства РФ от 29 октября 2021 г. № 3052-р, а именно:

1) использование прогрессивных агрохимических методов (регенеративных технологий), повышающих урожайность и способствующих более интенсивному поглощению атмосферного диоксида углерода;

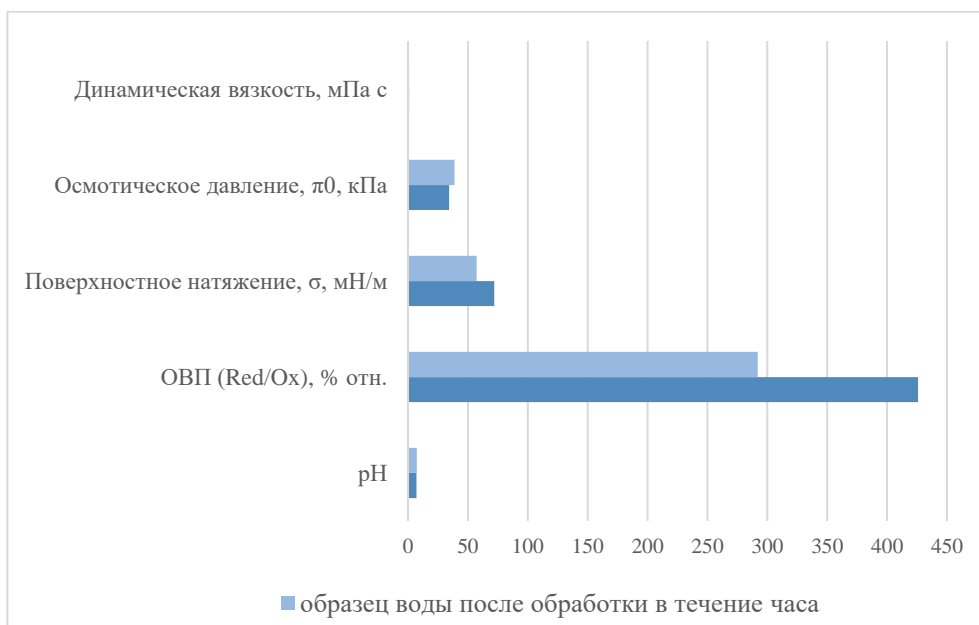
2) реализация климатических проектов, обеспечивающих развитие растительной инфраструктуры и проведение мероприятий по уходу за лесными и сельскохозяйственными культурами для увеличения их поглощающей способности по диоксиду углерода;

3) создание сети селекционно-семеноводческих центров по выращиванию посадочного материала в субъектах Российской Федерации, стимулирование деятельности по формированию хозяйственно ценных насаждений.

Основное количество воды растения получают через корни и небольшую часть через листья и стебель. Вода поглощается за счет осмотического давления от участков с высоким водородным потенциалом почвы к участкам с низким водородным потенциалом - корень.

При воздействии электромагнитной обработки воды с помощью генератора (ПЧМП) существенно изменяет ее физико-химические свойства: уменьшение поверхностного натяжения, динамической вязкости, плотности, окислительно-восстановительного потенциала (ОВП), увеличение водородного показателя и массы испарившейся воды зависит от времени обработки, а также надмолекулярной «архитектуры» воды рис.3.

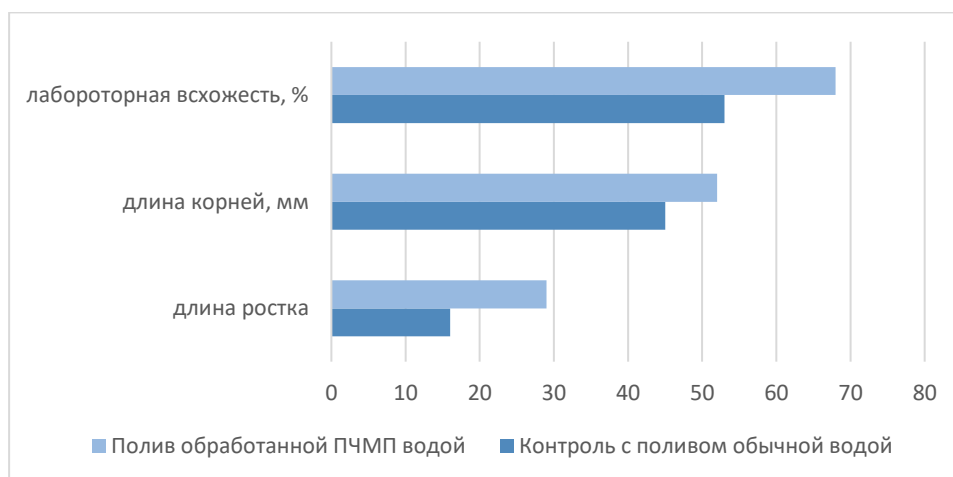
Полив модифицированной водой влияет на увеличение доступа  $\text{CO}_2$  к корням растений, увеличивая продуктивность фотосинтеза и позволяет повысить урожайность культурных растений. С помощью обработки ПЧМП воздействия на свойства воды, которая участвует в процессе фотосинтеза, обладает повышенной поглощающей способностью углекислого газа и высокой растворимостью карбонатов в почве [3].



**Рис. 3 - Физико-химические параметры воды электромагнитным воздействием до обработки и после**

Опытные исследования показывают, что воздействие воды, подверженной электромагнитному (ПЧМП) влиянию на всхожесть и вегетацию представлены на рис. 4.

Управление физико-химическими свойствами поливной воды для увеличения абсорбционной способности при фотосинтезе, а также для повышения и ускорения урожайности растений, восстановления и поддержание лесных экосистем, как возобновляемых источников энергии [2].



**Рис. 4 - Влияние поливной воды на ростовые процессы и морфометрические параметры проростков и овса**

Лабораторные эксперименты показали, что обработка воды с помощью генератора ПЧМП существенно влияет на физико-химические свойства, а в свою очередь: ускорение роста растений, увеличение продуктивности фотосинтеза - положительное влияние на снижение углекислого газа в атмосфере [4].

Применение электрофизической обработанной воды позволяет увеличить абсорбцию растениями  $\text{CO}_2$  в процессе фотосинтеза, тем самым уменьшить концентрацию углекислого газа в атмосфере и смягчить воздействие на климат. При поливе обработанной водой происходит уменьшение количества орошаемой воды и увеличивает плодородность [1].

#### **Список использованных источников**

1. Зацепина Г. И. Физические свойства и структура воды / Г. И. Зацепина. – М.: МГУ, 1998. – 184 с.
2. Май, Ч. Б. Влияние переменного электрического пол на физико-химические свойства воды в реакции фотосинтеза [Текст] / Ч.Б. Май –

Санкт Петербург: Дисс. к.хим. н. Санкт-Петербург: Санкт Петербургский университет ГПС МЧС России, 2018 – 125 с.

3. Лифанова Р.З., Орлова В.С., Цетлин В.В. Воздействие электромагнитного излучения на энергического состояние молекул воды // Вестник РУДН. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности – 2019. №2. С. 138-142.

4. Пат. 2479005 Российская Федерация, МПК G05B 24/02, H03B 28/00. Способ и устройство управления физико-химическими процессами в веществе и на границе раздела фаз [Текст] /Г.К. Ивахнюк, В.А. Клачков, В.Н.Матюхин, А.О.Шевченко. - № 2011118347/08; заявл.21.01.2010; опубл. 10.04.2013.

УДК 544.478.023.57

**С.В. Беленов, А.А. Алексеенко, В.С. Меньшиков,  
И.А. Герасимова, Д.В. Алексеенко, К.О. Паперж**  
ООО «Прометей РД»  
Ростов-на-Дону, Россия

### **РАЗРАБОТКИ КОМПАНИИ «ПРОМЕТЕЙ РД» В ОБЛАСТИ ЭЛЕКТРОКАТАЛИЗАТОРОВ НА ОСНОВЕ ПЛАТИНЫ ДЛЯ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ**

*Аннотация.* В данной работе представлены результаты исследований Pt/C электрокатализаторов полученных в ООО «Прометей РД» (Россия). Варьирование загрузки платины и условий синтеза позволило получить Pt/C материалы с содержанием Pt от 20 до 70 %, средним размером наночастиц менее 3.6 нанометров с площадью активной поверхности платины до 128 м<sup>2</sup>/г (Pt).

**S.V. Belenov, A.A. Alekseenko, V.I.S. Menshikov,  
I.A. Gerasimova, D.V. Alekseenko, K.O. Paperj**  
PROMETHEUS R&D Ltd.  
Rostov-on-Don, Russia

### **DEVELOPMENTS OF THE PROMETHEY RD COMPANY IN THE FIELD OF PLATINUM-BASED ELECTROCATALYSTS FOR LOW-TEMPERATURE FUEL CELLS**

*Abstract.* This paper presents the results of studies of Pt/C electrocatalysts obtained at Prometey RD LLC (Russia). Varying the platinum loading and synthesis

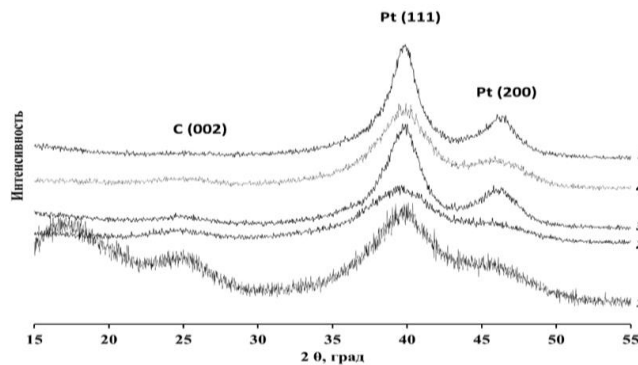
*conditions made it possible to obtain Pt/C materials with a Pt content of 20 to 70% and an average nanoparticle size of less than 3.6 nanometers and active surface area of platinum up to 128 m<sup>2</sup>/g (Pt).*

Топливные элементы (ТЭ) с протонообменной мембраной являются одним из наиболее перспективных источников энергии для использования на транспорте и в портативных источниках энергии благодаря высокой удельной плотности энергии и низким выбросам вредных веществ. Для эффективной работы топливных элементов необходимо использовать катализаторы, ускоряющие реакции окисления топлива на аноде и электровосстановления кислорода на катоде [1].

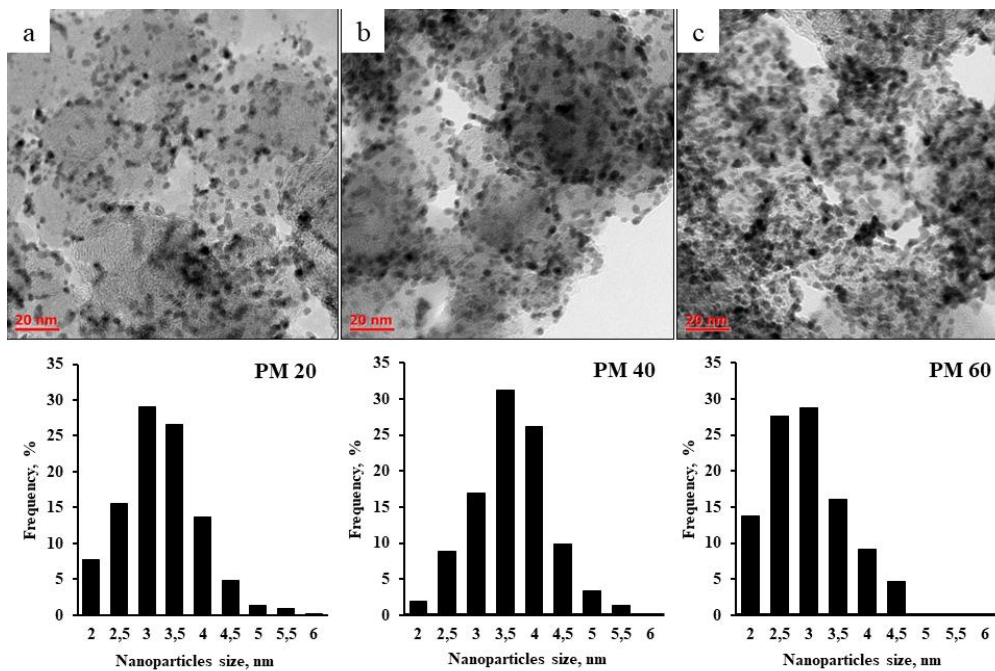
Большинство современных производителей катализаторов предлагают широкий ассортимент материалов с различной массовой долей платины от 10 до 70 % [2]. Это связано с тем, что в зависимости от типа топливного элемента и используемого электрода (анода или катода) необходим материал с разным содержанием платины. Например, для метанольных топливных элементов рекомендуется использовать катализатор с содержанием платины не менее 60 % [3, 4] на катоде и не менее 40 мас. % Pt на аноде. Для водородно-воздушных топливных элементов содержание Pt в используемых катализаторах ниже и, как правило, составляет от 20 до 40 % на аноде и около 40 % на катоде. При постоянной загрузке платины на электроды топливных элементов увеличение массовой доли платины в катализаторе позволяет получить более тонкий каталитический слой и, как следствие, снизить диффузионный процесс работы ТЭ. С другой стороны, использование катализаторов с меньшей загрузкой платины способствует увеличению среднего расстояния между наночастицами, что приводит к уменьшению перекрытия диффузионных потоков реагента. В итоге выбор катализатора определяется производителем топливных элементов и зависит от требований потребителя, требуемого срока службы устройства, чистоты топлива и т. д. Именно поэтому производителю катализатора важно предлагать широкий ассортимент материалов с высокими удельными характеристиками и различным содержанием платины.

Сравнение структурных характеристик полученных Pt/C-катализаторов, содержащих от 20 до 60 % масс. Pt. проводилось по данным рентгеноструктурного анализа (рис. 1). Показано, что получены Pt/C-катализаторы со средним размером кристаллитов от 2,0 до 3,5 нм, при этом при увеличении массовой доли платины в материале средний размер кристаллитов возрастает. По данным ПЭМ (рис. 2) полученные катализаторы характеризуются равномерным

распределением наночастиц платины размером от 2 до 4 нм по поверхности углеродного носителя и узким размерным распределением.



**Рис. 1 - Рентгенограммы синтезированных катализаторов Pt/C(Vulcan XC72) с различным массовым содержанием Pt: 1 – 20 %, 2 – 30 %, 3 – 36 %, 4 – 40 %, 5 – 60 %.**

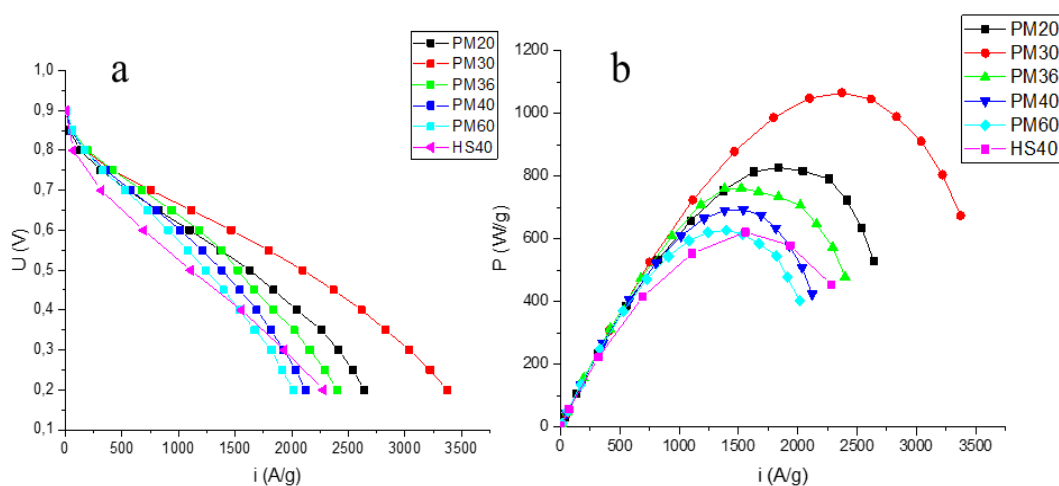


**Рис. 2 - ПЭМ-изображения Pt/C-катализаторов с различным массовым содержанием Pt: а – 20 %, б – 40 %, с – 60 % и соответствующие гистограммы распределения наночастиц по размерам.**

Материалы с массовой долей платины от 10 до 40 % демонстрируют высокие значения ЭХАП от 72 до 103 м<sup>2</sup>/г (Pt), на уровне коммерческих аналогов, что свидетельствует о высоком качестве полученных материалов.

По результатам испытаний катализаторов серии ПМ производства ООО «Прометей РД» (Россия) с различным содержанием Pt показано превосходство этих катализаторов над аналогами по

результатам их сравнительного тестирования в мембранно-электродных блоках (рис. 3). Максимальная мощность, полученная в модельном топливном элементе с использованием катализатора PM30, составила  $407 \text{ мВт/см}^2$  при загрузке платины  $0,382 \text{ мг/см}^2$  (удельная мощность  $1066 \text{ Вт/г}$ ), что значительно превышает мощность единичных топливных элементов на основе коммерческих материалов JM 40 и JM 20 (HiSpec 4000 и HiSpec 3000, Johnson Matthey Fuel Cells), испытанные в аналогичных условиях, мощность которых соответственно составила 253 и  $271 \text{ мВт/см}^2$ . Мембранно-электродная сборка водородно-воздушных топливных элементов, сформированная с использованием исследованных катализаторов PM20 – PM60, продемонстрировала максимальную мощность в диапазоне от 100% (PM60) до 170% (PM30) мощности МЭА на основе коммерческого электрокатализатора HiSPEC4000 (Johnson Matthey Fuel Cells), содержащего 40% мас.Pt.



**Рис. 3 -Вольтамперные (а) и мощностные (б) удельные характеристики МЭБ с исследованными Pt/C катализаторами с различной массовой долей платины**

Таким образом ряд Pt/C-материалов с содержанием Pt от 10 до 70%, полученные по запатентованной методики жидкофазного синтеза [5] характеризуются малым средним размером и узким размерным распределением наночастиц по результатам рентгеновской дифрактометрии и просвечивающей электронной микроскопии и высокой каталитической активностью по результатам испытания в единичном блоке топливного элемента.

**Благодарности:** Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (Госзадание № 0852-2020-0019). Авторы выражают признательность ООО «ПРОМЕТЕЙ РД»



*(Ростов-на-Дону) и ООО «Системы микроскопии и анализа» (Сколково, Москва) за поддержку в проведении ПЭМ исследований.*

### **Список использованных источников**

1. Grinberg, V. A., Kulova, T. L., Mayorova, N. A., Dobrokhotova, Zh. V., Pasynsky, A. A., Skudin, A. M., Khazova, O. A. Nanostructured cathodic catalysts for oxygen-hydrogen fuel cells. // Russian Journal of Electrochemistry. - 2007. - v. 43. - pp. 77-86.
2. <https://matthey.com/products-and-services/fuel-cells/fuel-cell-catalysts>
3. Zhao, X., Yin, M., Ma, L., Liang, L., Liu, C., Liao, J., Lu, T., Xing, W. Recent advances in catalysts for direct methanol fuel cells // Energy and Environmental Science. – 2011. - 4 (8). - pp. 2736-2753.
4. Tiwari, J.N., Tiwari, R.N., Singh, G., Kim, K.S. Recent progress in the development of anode and cathode catalysts for direct methanol fuel cells // Nano Energy. – 2013. - 2 (5). - pp. 553-578.
5. Патент RU 2695999 Способ получения катализаторов с наноразмерными частицами платины и ее сплавов с металлами

УДК 630.6:531.5+630.161.32

**А.А. Борозна<sup>1</sup>, И.Ф. Пустовой<sup>2</sup>, Д. Сорокин<sup>2,3</sup>**

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова»

<sup>2</sup>ООО «РеалИнПроект»

<sup>3</sup>Национальный исследовательский университет ИТМО  
Санкт-Петербург, Россия

### **ПРИМЕНЕНИЕ ГЕЛЕВОЙ МУЛЬТИМОДАЛЬНОЙ ТЕХНОЛОГИИ «Fe-DO» ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ РАБОТЫ УЗЛОВ И МЕХАНИЗМОВ**

*Аннотация.* В статье описывается инновационная, полноценная российская разработка – ресурсо-энергосберегающая технология "Fe-do" и ее эффективность в решении наиболее актуальных проблем при эксплуатации машин и оборудования.

**A.A. Borozna<sup>1</sup> I.F. Pustovoy<sup>2</sup> D. Sorokin<sup>2,3</sup>**

<sup>1</sup>St. Petersburg State Forestry University named after S.M. Kirov

<sup>2</sup>LLC RealInProject

<sup>3</sup>National Research University ITMO  
Saint-Petersburg, Russia

## **APPLICATION OF GEL MULTIMODAL DEFENSIVE “FE-DO” TECHNOLOGY TO RESTORE THE OPERATION PARAMETERS OF COMPONENTS AND MECHANISMS**

***Abstract.** The paper describes an innovative, fully Russian development - resource-energy saving technology "Fe-do" and its effectiveness in solving the most urgent problems in the operation of machinery and equipment.*

### **Введение**

Эксплуатация техники и оборудования непрерывно связана с процессом решения различных вопросов: продление ресурса, снижение затрат на обслуживание, запчасти, горюче-смазочные материалы и прочее. В условиях санкций перед компаниями и государственными структурами особенно остро стоит проблема сохранения существующего оборудования и получения от него максимальной эффективности. Они также должны учитывать современные тенденции ужесточения контроля за выбросами в атмосферу (налога на углеродный след), меняющихся требований по эксплуатации и общего курса, направленного на защиту окружающей среды.

На сегодняшний день основными проблемами эксплуатации техники и выступают ускоренная амортизация и ограниченный доступ к запчастям, а низкое качество масел и смазок, вызванное отсутствием целого ряда присадок и их высокий удельный вес в конечной стоимости усиливает проблему высокого расхода масла и энергоресурсов.

Вместе с тем, существуют российские уникальные инновационные технологии, помогающие успешно решать подобные проблемы и одним из примеров, может служить применение геомодификатора поверхности трения – гелевой мультимодальной добавки (ГМД), имеющей аббревиатуру ММПТ (минеральный модификатор поверхности трения).

Данная технология интересна с точки зрения практичности и экономической целесообразности, поскольку является вариантом так называемого «безразборного ремонта», т.к. применяется в процессе штатной эксплуатации узлов и механизмов, не требует специально оборудованных мест и внесения изменений в технологические режимы работы.

## Основная часть

Изучением применения минералов группы серпентинита в качестве геомодификаторов трения, их свойств по восстановлению металлических пар занимались виднейшие ученые: В.И. Вернадский, И.Р. Пригожин, В.И. Ревнивцев, К.Н. Долгополов, В.О. Поляков и многие другие. Данные свойства частично легли в основу работы, удостоенной нобелевской премии, позднее, уже созданная технология не раз получала престижные награды (такие, как золотая медаль ВДНХ в 1987 году и др.).

Стоит отметить, что перед авторами данной работы не стоит цели раскрытия полной истории происхождения технологии, так как основной задачей является именно описание ее эффективности и возможностей практического применения.

Были проведены многочисленные исследования технологии “Fe-do” на базе различных лабораторий и институтов, как отечественных, так и международных. Среди них исследования на базе институтов ЦНИДИ и ЦНИИМ, научного центра НАМИ, Политехнического университета им. Петра Великого, Минского Моторного Завода, Токийского государственного университета «Васседа», Германского ЛЛОЙДа и проч, а также серьезные длительные испытания (наиболее яркий пример – испытания на ледоколе Адмирал Макаров, которые длились 10 лет).

«Fe-do» - полностью российская технология, не имеет в составе иностранных компонентов. Применяется для восстановления любых металлических пар трения различного оборудования и техники.

В настоящий момент производится в виде геля для жидких масел и смазок, пластичной смазки и полимерной композиции (лака) для открытых пар трения. В основе каждого из продуктов находится запатентованное активное вещество “Fe-do” – измельченный и обогащенный минерал из группы серпентинитов.

Принцип работы заключается в модификации структуры поверхности металлических пар трения, что позволяет частично или полностью восстановить имеющийся износ, образуя на поверхности ультрагладкий - зеркальный - защитный слой, связанный с металлом одним кристаллическим каркасом (называемый также металлокерамическим защитным слоем — МКЗС или металлокерамикой), а также придать ему улучшенные свойства, которые сохраняются длительное время.

Применение “Fe-do” на силовых агрегатах и ином промышленном оборудовании позволяет:

- увеличить срок службы узлов и механизмов в 2-3 раза;
- снизить расход энергоресурсов (топлива до 15%, масла на угар до 40%, электроэнергии до 25%);
- снизить вредные выбросы (снижение продуктов недогара, таких как СО, СН, сажи, дымового числа);
- увеличить мощность силовых агрегатов до 15%;
- снизить коэффициент трения в 1,5 раза, шум и вибрацию до 50%;
- увеличить производительность оборудования вплоть до номинальных значений и многое другое.

Если сравнивать “Fe-do” с аналогами, то в первую очередь важно отметить, что технология не является присадкой и радикально отличается от существующих на рынке технологий. Ключевое отличие заключается в отсутствии каких-либо побочных эффектов от применения, тогда как у аналогов их наличие определено принципом работы.

Основные преимущества технологии “Fe-do” заключаются в крайне низкой вводимой концентрации – 0,01-0,001% от объема масла (присадки вводят в соотношении 5-25% от объема масла), его инертность в химическом отношении (“Fe-do” не оказывает влияния на физико-химические показатели масел и не является абразивом, что доказано многократными лабораторными и промышленными испытаниями, в т.ч. с заводами-производителями масел), способность удерживать масло на поверхности пар трения, препятствуя его стеканию даже при остановке механизма, а также длительное сохранение эффекта (даже после многократной замены масла).

### **Список использованных источников**

1. Трибология геомодифицированных смазочных материалов Монография / К. Н. Долгополов и др. — Гродно: ГГАУ, 2013.
2. Трибохимические аспекты взаимодействия высокодисперсных частиц серпентинов с металлической поверхностью трения /К. Н. Долгополов и др. // Трение и износ. - 2012, № 2 (33).
3. Дроздов Ю.Н. и др. Новая противоизносная и антифрикционная ресурсовосстанавливающая композиция присадок к смазочным материалам. Проблемы машиностроения и надежности машин. М.: 2004. - № 5. – С. 50-53.

УДК 630.6:531.5+630.161.32

**А.А. Борозна<sup>1</sup>, Т.В. Якушева<sup>2</sup>, А.Б. Громский<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>«Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет  
имени С.М. Кирова

<sup>2</sup>Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт лесного хозяйства  
Санкт-Петербург, Россия

## **РОЛЬ ЛЕСОУПРАВЛЕНИЯ В СОХРАНЕНИИ И УВЕЛИЧЕНИИ НАКОПЛЕНИЯ УГЛЕРОДА**

*Аннотация.* Возрастающая концентрация CO<sub>2</sub> в атмосфере планеты является одной из глобальных экологических проблем. Применение методов устойчивого лесопользования и повышение эффективности лесохозяйственных мероприятий, позволяющих аккумулировать запасы углерода в лесных экосистемах, обеспечивает снижение ущерба от негативных проявлений изменения климата.

**A.A. Borozna<sup>1</sup>, T.V. Yakusheva<sup>2</sup>, A.B. Gromskij<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>St. Petersburg State Forestry University named after S.M. Kirov

<sup>2</sup>St. Petersburg Research Institute of Forestry  
Saint-Petersburg, Russia

## **ROLE OF FOREST MANAGEMENT IN PRESERVING AND INCREASING CARBON STORAGE**

*Abstract.* The increasing concentration of CO<sub>2</sub> in the planet's atmosphere is one of the global environmental problems. The use of sustainable forest management methods and increasing the efficiency of forestry activities that allow the accumulation of carbon reserves in forest ecosystems ensures a reduction in damage from the negative manifestations of climate change.

Леса представляют собой устойчивые экосистемы, а в условиях глобальных изменений климата возрастает их роль в сокращении выбросов парниковых газов и накоплении углерода. Так называемое «глобальное потепление» влечет за собой изменения породного состава, продуктивности и ареалов распространения растений, что в будущем потребуют определенных перемен в осуществлении хозяйственной деятельности в лесном секторе экономики, прежде всего, в части лесоуправления и лесного планирования, создания системы адаптационных мер экологической, социальной и производственной направленности.

Степень воздействия изменений климата на лесопользование и ведение лесного хозяйства отражается на динамике прироста фитомассы лесных насаждений, изменении их средообразующих функций, повышении рисков частоты и интенсивности экстремальных погодных явлений и других факторах.

Сегодня под «управлением лесами» понимается система организационно-хозяйственных мероприятий по обеспечению устойчивого и не истощительного освоения лесных ресурсов.

Сокращение выбросов CO<sub>2</sub> повсеместно рассматривается как серьезный инструмент воздействия на сроки глобального потепления. Важная роль в решении данной проблемы отводится системам лесохозяйственной деятельности при воздействии на углеродный цикл.

Проведенные специалистами в области изучения климата исследования последних лет показали, что запасы углерода и темпы его депонирования в лесных экосистемах в значительной мере зависят от продуктивности лесов, их состояния, породного состава, возрастной и товарной структуры. Существенное влияние на данный аспект может оказать обоснованный выбор стратегии лесопользования в целом.

В управляемых лесах одним из важнейших факторов внешнего воздействия на цикл углерода, помимо вмешательства в лесные экосистемы с целью получения, прежде всего, древесных ресурсов, является проведение комплекса лесохозяйственных мероприятий в различных лесорастительных условиях.

В соответствии с выводами Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК) [1] «в долгосрочной перспективе устойчивое лесопользование и лесопользование, направленное на поддержание или увеличение запаса углерода лесов и в то же время позволяющее производить устойчивое количество древесного сырья и энергии, создаст наибольшее, имеющее длительное действие преимущество в смягчении изменения климата».

В сложившихся обстоятельствах необходим поиск инновационных стратегических решений в сфере лесопользования, внедрение интенсивной модели использования и воспроизводства лесов [2], что позволит решить задачи сохранения лесистости, повышения продуктивности насаждений, сохранения природного биоразнообразия. Переход на инновационную модель лесопользования, интенсификацию ведения лесного хозяйства и лесопользования должен осуществляться с учетом баланса между накоплением углерода и обеспечением потребностей общества лесными ресурсами.

Сохранению и увеличению накопленных лесами запасов углерода (с учетом необходимости поддержания и увеличения

биомассы лесов, как природного резервуара углерода) способствуют своевременно и качественно проводимые природоохранные и лесохозяйственные мероприятия, приоритетными из которых можно назвать следующие:

- применение рубок древостоев с преобладанием доли выборочных и постепенных рубок, увеличение объемов заготовки и хозяйственного использования лиственных пород;

- мероприятия по воспроизводству лесов, включающие лесное семеноводство, выращивание посадочного материала; лесовосстановление, в том числе компенсационное [3], в зависимости от лесоводственных требований – естественное, искусственное или комбинированное; лесоразведение; своевременный уход за молодняками; создание лесных плантаций целевых хозяйственно ценных пород и др., которые непосредственно связаны с восстановлением и поддержанием углерододепонирующего потенциала лесов;

- мероприятия по уходу за лесами, направленные на формирование состава устойчивых высокопродуктивных лесонасаждений; повышение прироста биомассы древостоев, а соответственно, на выполнение функций накопления углерода;

- мероприятия по рекультивации нарушенных земель, на которых расположены леса, подвергшихся антропогенному и иному негативному воздействию;

- агролесомелиоративные мероприятия в целях создания защитных лесных полос, прежде всего, для предотвращения почвенной эрозии, выдувания плодородного слоя почвы в условиях неоднородного рельефа, сокращения поверхностного стока на засушливых территориях; сохранения и улучшения биоценозов;

- мероприятия по организации и контролю состояния особо охраняемых природных территорий и объектов, сокращающихся территорий мало нарушенных лесов;

- строительство и поддержание в удовлетворительном состоянии сети лесных дорог, обеспечивающих своевременный доступ к участкам лесного фонда для выполнения лесохозяйственных мероприятий, оптимизация логистических решений;

- мероприятия по охране лесов от пожаров и защите от фито- и энтомовредителей, осуществляемые в соответствии нормативно-правовой базой и документами лесного планирования субъектов Российской Федерации:

- модернизация технологических процессов в лесозаготовке и переработке сырья, повышение уровня экологической безопасности

предприятий глубокой переработки древесного сырья, импортозамещение на всех уровнях лесопромышленного комплекса в условиях сложной геополитической обстановки, передела внешнего и внутреннего рынков.

При условии сохранения существующего уровня эмиссий углерода от деструктивных факторов благодаря комплексу противопожарных, лесозащитных и лесовосстановительных мероприятий, не истощительному использованию древесных ресурсов положительный углеродный баланс лесов Российской Федерации в обозримой временной перспективе, предположительно, останется примерно на существующем уровне.

Углеродный бюджет управляемых лесов напрямую зависит от качества лесоправления. Величина стока  $\text{CO}_2$  определяется соотношением нарушающих воздействий природного или антропогенного характера и компенсирующих их управляющих приемов.

При выполнении необходимых лесохозяйственных мероприятий и контроля их выполнения, сток углерода в управляемые леса РФ в 2030 г. должен составить 396 млн т С, в 2050 г. – 251 млн т С, в 2065 г. – 191 млн т С [4]. Таким образом, есть предположения, что вплоть до 2065 г. сток углерода в лесные экосистемы превысит существующие объемы эмиссии из них.

Инновационный характер лесоправления на основе использования новейших достижений науки и техники, внедрения малоотходных технологий, с соблюдением планируемых объемов лесовосстановления и уходов за лесами, позволит предотвратить эмиссию углерода, сохранить естественный потенциал экосистем по его депонированию, а также положительно сказаться на увеличении поглощающей способности покрытых лесом земель.

### **Список использованных источников**

1. Изменение климата 2007: Четвертый оценочный доклад [Электронный ресурс]. – URL: [http://www.ipcc.ch/publications\\_and\\_data/ar4/syr/ru/frontmattersforeword.html](http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/syr/ru/frontmattersforeword.html) (дата обращения: 16.10.2023).
2. Концепция интенсивного использования и воспроизводства лесов / ФБУ «СПбНИИЛХ». – СПб.: СПбНИИЛХ, 2015. – 16 с.
3. Об утверждении Правил лесовосстановления, формы, состава, порядка согласования проекта лесовосстановления, оснований для отказа в его согласовании, а также требований к формату в электронной форме проекта лесовосстановления : приказ



Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 29.12.2021 № 1024 : зарегистрировано в Минюсте РФ 11.02.2022, регистрационный № 67240, Москва // Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации / АО «Кодекс». – URL: <https://docs.cntd.ru/document/728111110> (дата обращения: 18.10.2023).

4. Замолодчиков, Д.Г. РОБУЛ-М: новое средство прогноза углеродного бюджета лесов / Д.Г. Замолодчиков, В.И. Грабовский, О.В. Честных // Материалы второй международной научно-технической конференции «Леса России: политика, промышленность, наука, образование», 24-26 мая 2017 г., Санкт-Петербург / СПбГЛТУ им. С.М. Кирова. – СПб.: СПбГЛТУ им. С.М. Кирова, 2017. – Т. 2. – С. 125–128.

УДК 630

**Л.В. Брындина, О.В. Бакланова**

Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова  
Воронеж, Россия

## **БИОУГОЛЬ ИЗ ДРЕВЕСНЫХ ОТХОДОВ**

***Аннотация.** Рассмотрена возможность переработки древесных отходов и осадка сточных вод в биоуголь. Установлены высокие сорбционные характеристики продуктов. Внесение биоугля в почву показало, что накопление зеленой массы растений в большей степени зависело от увеличения температуры карбонизации, чем от повышения скорости нагрева.*

**L.V. Bryndina, O.V. Baklanova**

Voronezh State Forestry Engineering University named after G.F. Morozov  
Voronezh, Russia

## **BIO COAL FROM WOOD WASTE**

***Abstract.** The possibility of processing wood waste and sewage sludge into bio coal is considered. High sorption characteristics of the products have been established. The introduction of biochar into the soil showed that the accumulation of green mass of plants was more dependent on an increase in the carbonation temperature than on an increase in the heating rate.*

В последнее время очень активно идут исследования по получению угля из биомассы растительных отходов. Интерес к этому

направлению объясняется стремлением снизить воздействие отходов биологического происхождения на окружающую среду, естественные пути разложения которых сопровождаются выделением в атмосферу парниковых газов. Кроме того, доказано, что биоугли являются хорошими мелиорантами и улучшителями почв. Они положительно влияют на агрохимические характеристики почвы: водный режим, задержание питательных веществ, улучшение структуры почвы, гумусообразование [1-3]. Внесение биоугля может рассматриваться также, как хорошая перспектива депонирования углерода в почве.

В качестве источников сырья для получения биоуглей рассматривается широкий спектр отходов растительного и животного происхождения. Учитывая, что по официальной статистике в лесах Российской Федерации ежегодно образуется 10-15 млн тонн отходов [4] и вопрос их переработки требует особого внимания, перспектива получения из них биоугля становится весьма актуальной.

Другим привлекательным сырьем для синтеза биоуглей являются осадки сточных вод (ОСВ). Количество их постоянно растет, проблемы по их переработке не решаются, обостряя экологические ситуации городов.

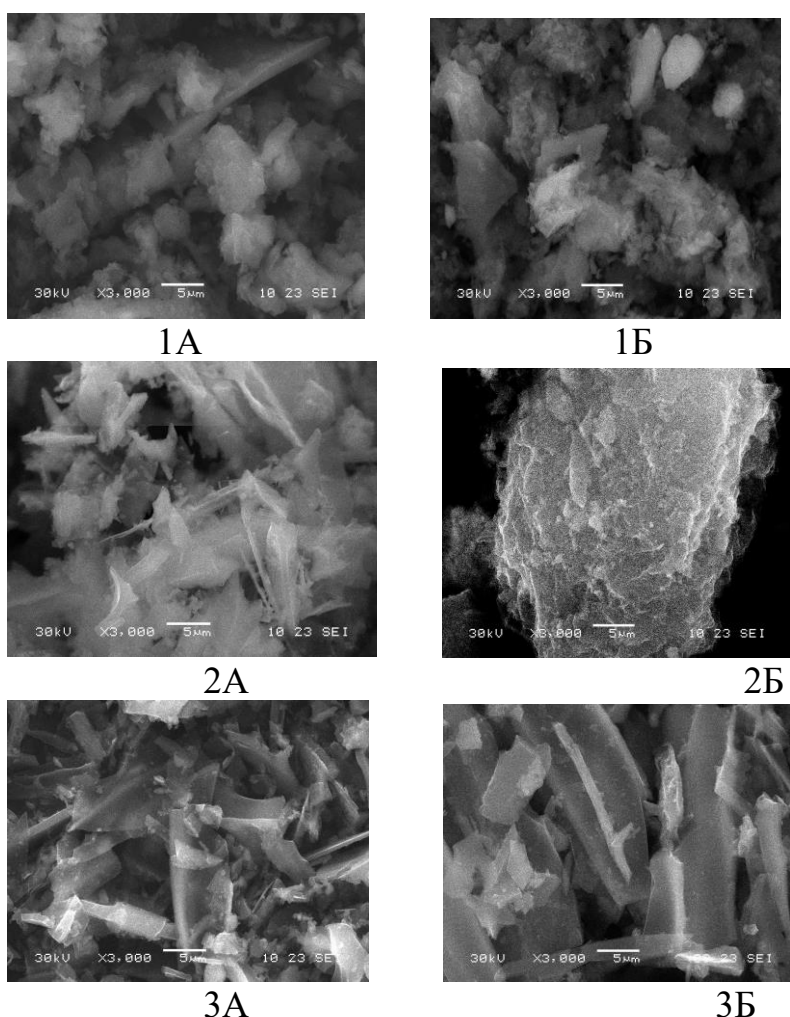
Цель работы заключалась в оценке влияния условий пиролиза на качественные характеристики биоуглей из древесной биомассы и осадков сточных вод городских очистных сооружений.

В качестве исходного сырья использовали древесные опилки ясеня и осадки сточных вод. Начальная влажность осадков сточных вод составила 50-55%, древесных опилок - 8-10%. Карбонизацию проводили при температуре 500-700 °С со скоростью 15-20 °С/мин в течение 3 ч при соотношении компонентов смеси 1:1. Характеристики биоуглей представлены в таблице 1.

**Таблица 1- Усредненный физико-химический состав биоуглей при скоростях нагрева 15-20 °С/мин**

Показатели	Биоуголь из древесных опилок		Биоуголь из ОСВ		Биоуголь из древесных опилок и ОСВ	
	500 °С	700 °С	500 °С	700 °С	500 °С	700 °С
Насыпная плотность, г/дм <sup>3</sup>	190	235	450	560	380	400
Углерод, %	73,0	75,1	70,1	75,4	79,0	86,6
Азот, %	0,03	0,05	0,49	0,67	0,5	0,7
Фосфор, %	0,02	0,03	1,4	1,8	1,5	2,0
Кальций, %	0,5	1,1	8,2	12,6	8,5	12,0
Калий, %	0,03	0,04	1,5	5,7	1,8	5,2

Экспериментальные данные, представленные в таблице 1, показывают, что на содержание основных элементов в биоуглях влияет температура пиролиза. Так насыпная плотность всех образцов биоуглей, полученных при температуре 500 °С была ниже, чем при температуре 700 °С. Возможно это связано с процессами уплотнения первоначально сравнительно рыхлой углеродной матрицы в более упорядоченную и термоустойчивую с ростом конечной температуры пиролиза (рис.1) и является косвенным доказательством увеличения площади удельной поверхности и объема пор биоуглей, синтезированных при более высоких температурах. Высокие температуры пиролиза способствовали развитию микропор в биоуглях.



**Рис.1 – Микрофотографии биоуглей: 1А - Биоуголь из древесных опилок (500 °С); 1Б - Биоуголь из древесных опилок (700 °С); 2А - Биоуголь из ОСВ (500 °С); 2Б - Биоуголь из ОСВ (700 °С); 3А - Биоуголь из древесных опилок и ОСВ(500 °С); 3Б - Биоуголь из древесных опилок и ОСВ(700 °С)**

Содержание углерода, азота, фосфора, кальция и калия также в образцах биоуглей, полученных при 700 °С, было выше. Наиболее полно питательные вещества, необходимые для роста и развития растений, в количественном отношении представлены в биоуглях из смеси древесных опилок и ОСВ.

По завершении пиролиза биоугли вносили в почву в концентрации 10 % к массе почвы. Через 10 суток после посева тест-растений *Raphanus sativus* оценивали эффективность накопления зеленой массы растений по формуле

$$Э_{\phi} = m \times 100 / m_0, \%$$

где m – зеленая масса опытного образца, г;

m<sub>0</sub> – зеленая масса контрольного образца, г.

Контролем являлись растения, выращенные на почве без внесения биоугля.

Результаты эксперимента представлены в таблице 2. На всех образцах почв, обработанных биоуглями, синтезированными при температуре 700 °С, было отмечено более интенсивное накопление растениями зеленой массы, чем при температуре 500 °С. Увеличение скорости нагрева с 15 °С/мин до 20 °С/мин при одной и той же температуре повышало биомассу тест-растений на 2-10,4 % в зависимости от вида биоугля.

Это можно объяснить активизацией работы микроорганизмов почвы за счет улучшения аэрационных процессов благодаря внесению биоуглей, что способствует активному усвоению питательных веществ растениями и их росту.

**Таблица 2 – Влияние биоуглей на рост и развитие *Raphanus sativus***

Образец	Эффективность накопления зеленой массы растений, %
Биоуголь из опилок (скорость нагрева – 15°С/мин., карбонизация – при 500°С)	132,0
Биоуголь из опилок (скорость нагрева – 20°С/мин., карбонизация – при 500°С)	138,0
Биоуголь из опилок (скорость нагрева – 15°С/мин., карбонизация – при 700°С)	139,5
Биоуголь из опилок (скорость нагрева – 20°С/мин., карбонизация – при 700°С)	143,3
Биоуголь из ОСВ (скорость нагрева – 15°С/мин., карбонизация – при 500°С)	145,1

Биоуголь из ОСВ (скорость нагрева – 20°С/мин., карбонизация – при 500°С)	147,3
Биоуголь из ОСВ (скорость нагрева – 15°С/мин., карбонизация – при 700°С)	151,1
Биоуголь из ОСВ (скорость нагрева – 20°С/мин., карбонизация – при 700°С)	154,2
Биоуголь из опилок и ОСВ (скорость нагрева – 15°С/мин., карбонизация – при 500°С)	144,7
Биоуголь из опилок и ОСВ (скорость нагрева – 20°С/мин., карбонизация – при 500°С)	155,1
Биоуголь из опилок и ОСВ (скорость нагрева – 15°С/мин., карбонизация – при 700°С)	153,3
Биоуголь из опилок и ОСВ (скорость нагрева – 20°С/мин., карбонизация – при 700°С)	158,6
Контроль (почва )	100,0

Таким образом, проведенные исследования показали эффективность применения биоуглей из древесных опилок и ОСВ в качестве почвенных улучшителей.

#### Список использованных источников

1. Ahmad Z., Gao B., Mosa A., Yu H., Yin X., Bashir A., Ghozeisi H., Wang S. Removal of Cu (II), Cd (II) and Pb (II) ions from aqueous solutions by biochars derived from potassium-rich biomass. *Journal of Cleaner Production*. 2018; 180: 437–449. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.01.133>
2. Li B., Yang L., Wang C.Q., Zhang Q.P., Liu Q.C., Li Y.D., Xiao R. Adsorption of Cd (II) from aqueous solutions by rape straw biochar derived from different modification processes. *Chemosphere*. 2017; 175: 332-340. <https://doi.org/10.1016/j.chemo-sphere.2017.02.061>
3. Yin G., Song X., Tao L., Sarkar B., Sarmah A.K., Zhang W., Lin Q., Xiao R., Liu Q., Wang H. Novel Fe-Mn binary oxide biochar as an adsorbent for removing Cd (II) from aqueous solutions. *Chemical Engineering Journal*. 2020; 389: 124465. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2020.124465>

4.Чернышев С. Полный лес отходов/ С. Чернышев//Лесной комплекс. – 2014. - №3 – URL: <https://forestcomplex.ru/lesozagotovka/polnyiy-les-othodov/?ysclid=lowu7q7jct477053834>

УДК 579.66

**А.К. Брянкина, А.А. Парамонова, В.О. Миленина**

Тамбовский государственный технический университет  
Тамбов, Россия

## **МИКРОВОДОРОСЛИ КАК ОДНО ИЗ НАПРАВЛЕНИЙ РАЗВИТИЯ ЗЕЛЕННОЙ ЭНЕРГЕТИКИ**

*Аннотация.* В работе проанализированы предпосылки перехода к использованию альтернативных источников энергии. Приведены общие свойства, современное положение рынка биотоплива. Приведены преимущества использования биомассы микроводорослей в качестве сырья для биотоплива. Показаны перспективы реализации биотоплива третьего поколения в промышленности.

**A.K. Bryankina, A.A. Paramonova, V.O. Milenina**

Tambov State Technical University  
Tambov, Russia

## **MICROALGAE AS ONE OF THE DIRECTIONS OF GREEN ENERGY DEVELOPMENT**

*Abstract.* The paper analyzes the prerequisites for the transition to the use of alternative energy sources. The general properties and current position of the biofuel market are given. The advantages of using microalgae biomass as a feedstock for biofuels are presented. The prospects for the implementation of third generation biofuels in industry are shown.

Использование ископаемых видов топлива (нефть, газ, уголь) является наиболее значимым техногенным фактором, влияющим на изменение климата. При сжигании углеводов земной коры в атмосферу выделяется двуокись углерода, вызывающая парниковый эффект. При существующей проблеме уменьшение лесных массивов в свою приводит к невозможности полной переработки возросшего количества углекислого газа, что нарушает природный баланс. На парниковый эффект приходится 75% антропогенного ущерба окружающей среде [1].

В 2015 году на смену Киотскому протоколу было принято Парижское соглашение согласно Рамочной конвенции об изменении климата. Согласно этому документу все страны обязуются сокращать выбросы парниковых газов по самостоятельно выбранной стратегии.

Одной из таких стратегий является создание экономики замкнутого типа на уровне промышленных предприятий. Цель данной концепции заключается в переработке отходов в биотопливо.

К настоящему моменту биотопливо занимает незначительную долю энергетического рынка, однако число стран, проявляющих интерес к данному энергоносителю, неизменно растет. Так, среднегодовой темп роста производства биотоплива составляет 5,2 % [2].

На сегодняшний день различают четыре поколения биотоплив:

- биотопливо первого поколения: переработка зерновых сельскохозяйственных культур с использованием традиционных технологий;

- биотопливо второго поколения: переработка непищевого сырья (быстрорастущие деревья и травы);

- биотопливо третьего поколения: использование биомассы микроводорослей

- биотопливо четвертого поколения: использование генномодифицированных штаммов микроорганизмов [1].

Наиболее перспективными являются биотоплива третьего и четвертого поколения. Модифицированные микроорганизмы способны преобразовывать простые сахара и масла непосредственно в прекурсоры биотоплива. Однако получение специализированных штаммов и их хранение требует больших затрат. Кроме того, область генной инженерии только начала свое развитие и существующих знаний и ресурсов недостаточно для использования биотоплива четвертого поколения в промышленном масштабе. Поэтому экономически более выгодным будет использование биотоплива третьего поколения.

Микроводоросли - это микроскопические организмы, которые могут синтезировать биомассу с помощью фотосинтеза при наличии света, воды и углекислого газа. Следовательно, выращивание биомассы будет снижать парниковый эффект путём использования выхлопов нефтегазоперерабатывающих комплексов в качестве источника углекислого газа, который необходим для роста микроводоросли [3].

Большинство технологий получения различных целевых веществ из микроводорослей включают следующие стадии: культивирование и концентрирование биомассы, разрушение клеточных стенок, извлечение (экстракция/экстрагирование) целевых компонентов. В

настоящее время большинство предприятий в биопереработке микроводорослей фокусируются на извлечении определенного компонента из биомассы. Однако целесообразно рассматривать вопрос о выращивании биомассы с таким соотношением целевых компонентов, которые можно эффективно извлечь современными методами в порядке убывания их стоимости. Интеграция нескольких смежных технологий в одном биокластере позволила бы более полно перерабатывать вторичные потоки производств продуктов с высокой добавленной стоимостью в технологиях нижних уровней, а также более эффективно использовать периодически работающее оборудование и снизить капитальные и энергетические затраты. При этом в зависимости от поставленных целей для культивирования можно использовать как чистые питательные среды (для компактных производств продуктов с высокой добавленной стоимостью, так и различного вида отходы (для крупнотоннажных производств биотоплив, биоудобрений) [4].

Технологии получения биотоплива из микроводорослей являются одним из составляющих суперструктуры интеграции биотехнологий микроводорослей. Данная структура базируется на принципе комплексной переработки биомассы, то есть поэтапное извлечение ценных компонентов (рис. 1).

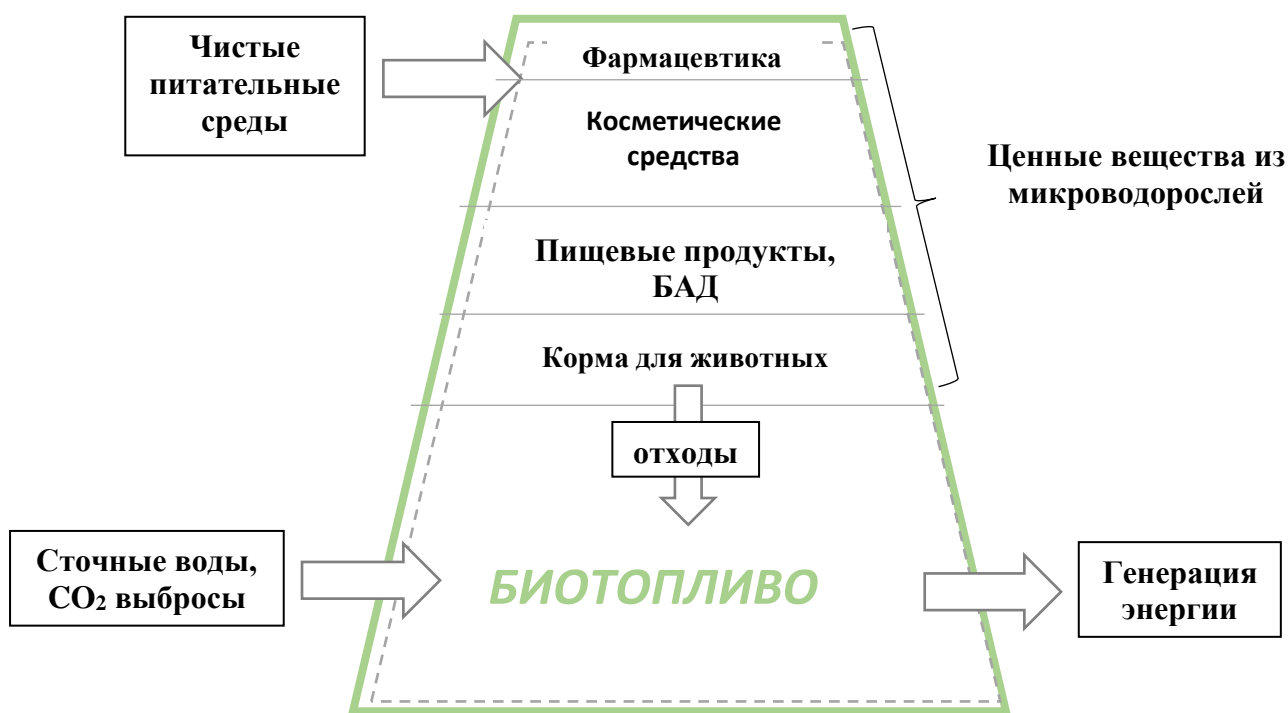


Рис. 1- Суперструктура интеграции биотехнологий микроводорослей



Таким образом решается еще одна глобальная проблема – проблема утилизации отходов производства, так как происходит полная переработка сырья.

Одним из преимуществ получения биотоплива из биомассы микроводорослей является их относительная неприхотливость в питательных средах. Поэтому сейчас активно идут исследования по возможности культивирования микроводорослей на сточных водах. В процессе роста микроводоросли выделяют в воду экзометаболиты, обладающие антибиотическими свойствами (жирные кислоты, триглицериды, длинноцепочечные спирты и др.) [4].

Биомасса микроводорослей универсальна, из нее можно получить биодизель, биометан, биоэтанол и биоводород.

На данный момент наиболее актуальным является производство биодизельного топлива - биотопливо на основе липидов микроводорослей. Биодизель из микроводорослей может использоваться в качестве добавки к минеральному дизельному топливу или как самостоятельный источник энергии.

Процесс производства биодизельного топлива состоит из следующих этапов: культивирования микроводорослей, концентрирования, разрушения клеток, экстракции липидов, реакции переэтерификации и очистки. Высокий выход липидов является одним из основных критериев отбора перспективных классов микроводорослей для использования в биоэнергетике. Наиболее продуктивными микроводорослями являются представители родов *Chlorella* sp. (23-63 %), *Nannochloropsis* sp. (31-68 %), *Nitzschia* sp. (45-69,1 %), *Neochloris oleoabundans* (35-54 %) и *Schizochytrium* sp. (50-77 %) [3]. Стадию культивирования микроводорослей целесообразно осуществлять в биореакторах закрытого типа, обеспечивающих аэрацию, достаточную освещенность и оптимальную температуру, которая может варьироваться в зависимости от штамма. Сложность концентрирования микроводорослей обусловлена небольшим размером клеток водоросли (2...10 мкм в диаметре) и низкой концентрацией 0.5...5 г/л микроводоросли в суспензии. Вследствие этого для производства биотоплива следует исследовать комплексные способы осаждения для уменьшения энергоемкости. Для разрушения прочной клетки микроводорослей возможно использование химических (ферменты, антибиотик, «осмотический шок») и физических (воздействие электромагнитного поля) способов дезинтеграции. Процесс экстракции липидов из клеток микроводорослей характеризуется сложностью выбора экстрагента, который будет полностью извлекать липиды и отделяться от них, не

влиять на их свойства. Реакция переэтерификации необходима для уменьшения вязкости, для ее проведения необходимо осуществить подбор катализатора и определить соотношения реагентов [5].

Перспективы внедрения биотоплива третьего поколения в промышленность весьма велики. «Шеврон», «Ханивелл ЮОП» и др. исследуют использование микроводорослей в качестве энергетического источника для транспорта, включая реактивные самолеты.

В заключении можно отметить, что ни смотря на то, что микроводоросли обладают хорошими перспективами в качестве сырья для производства биотоплива третьего и четвертого поколения необходимо проведение дальнейших исследований, направленных на повышение экономической эффективности стадий культивирования, концентрирования, экстрагирования и очистки. Внедрение технологий получения биотоплива с использованием микроводорослей позволит организовать производство практически замкнутого цикла, сократив до минимума количество побочных продуктов.

### **Список использованных источников**

1. Назаренко Л.В. Биотопливо: новые источники сырья / Л. В. Назаренко // Вестник московского городского педагогического университета. Серия: естественные науки. – 2013. – № 1. – С. 19–30.

2. Василевкин Е.В. Сырье для производства биоэтанола. Технология производства, перспективы / Е. В. Василевкин, Д. В. Апельинский, В. Н. Егоров // Поршневые и газотурбинные двигатели: материалы 77-й международной научно-технической конференции ААИ «Автомобиле- и тракторостроение в России: приоритеты развития и подготовка кадров» (Магнитогорск, 22 – 26 апреля 2019 г.). –Магнитогорск: Издательство Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова, 2019. – С. 36–42.

3. Saeedi Dehaghani A.H. Производство биодизельного топлива из микроводорослей *Chlorella sp.* и *Spirulina* / A. H. Saeedi Dehaghani, V. Pirouzfard // Нефтехимия. – 2018. – № 4, том 58. – С. 496-502.

4. Дворецкий Д. С. Вопросы разработки эффективной биотехнологии синтеза ценных компонентов из биомассы микроводорослей / Д. С. Дворецкий, М. С. Темнов, И. В. Маркин, Я. В. Устинская, М. А. Еськова // Теоретические основы химической технологии. – 2022. - Т. 56. - № 4. - С. 418-433.

5. Темнов М.С. Кинетика и аппаратурно-технологическое оформление процессов получения эфиров жирных кислот: дис. ... канд.

техн. наук: 05.17.08: защищена 28.12.17: утв. 28.04.18 / Темнов М. С. - М., 2017. - 223 с.

УДК 630\*232

**С.И. Васильева<sup>1</sup>, М.С. Ларюшкина<sup>1</sup>, П.Г. Мельник<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>МФ Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана (Национальный исследовательский университет)

<sup>2</sup>Институт лесоведения РАН  
Россия

## **ОСОБЕННОСТИ РОСТА ЛИСТВЕННИЦЫ ЕВРОПЕЙСКОЙ ПОСТРАДАВШЕЙ ОТ ВЕТРОВАЛА В ПРИРОДНО-ИСТОРИЧЕСКОМ ПАРКЕ «ИЗМАЙЛОВО»**

*Аннотация.* Представлены результаты 20-летнего лесоводственного мониторинга на опытных объектах в 138...158-летних культурах лиственницы европейской в Природно-историческом парке «Измайлово». Лиственница европейская характеризуется хорошим ростом и продуктивностью, средневзвешенная категория состояния 1,8...1,9 балла.

**S.I. Vasilieva<sup>1</sup>, M.S. Laryushkina<sup>1</sup>, P.G. Mel'nik<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>Mytishchi Branch of Bauman Moscow State Technical University  
(National Research University)

<sup>2</sup>Institute of Forestry of the Russian Academy of Sciences  
Russia)

## **GROWTH PECULIARITIES OF EUROPEAN LARCH AFFECTED BY WINDTHROW IN THE IZMAILOVO NATURAL-HISTORICAL PARK**

*Abstract.* The results of 20 years of silvicultural monitoring on experimental sites in 138...158-year old cultivars of European larch in Izmailovo Nature and Historical Park are presented. European larch is characterized by good growth and productivity, weighted average condition category 1.8...1.9 points.

За последнее столетие породный состав Природно-исторического парка «Измайлово» претерпел значительные изменения. По данным материалов лесоустройств, если в 1927 году хвойные породы составляли 83,2% площади лесного фонда, то в настоящее время не превышают 10%. Обращает внимание незыблемость позиций лиственницы за последние полвека, на долю которой приходится 2,2%

[1]. В лесовосстановлении на территории Московского региона лиственница используется со второй половины XIX века, будучи интродуцентом эта порода в лесных культурах формирует быстрорастущие и высокопроизводительные древостои [2]. Явное преимущество лиственницы европейской в депонировании углерода перед такой коренной породой, как сосна, которое выражается фактически двукратным превышением по накопленному углероду, свидетельствует о весьма желательном использовании лиственницы в качестве ценного интродуцента для создания лесных культур [3]. Хорошие результаты естественного возобновления лиственницы, за пределами ареала распространения, говорят об устойчивости и жизнеспособности интродуцента в новых условиях [4].

Цель нашей работы – изучение особенностей роста лиственницы европейской (*Larix decidua* Mill.) пострадавшей от ветровала в Природно-историческом парке «Измайлово».

Образцом уникальных лесных культур лиственницы европейской являются посадки 1865 и 1885 гг. созданные в Природно-историческом парке «Измайлово» [1]. В этих культурах заложены постоянные пробные площади (ППП) МК-2 и МП-2 в кварталах 30 и 18, на которых проводится длительный лесоводственный мониторинг. На момент закладки ППП на всех опытных объектах произрастали сложные по форме насаждения, состав первого яруса был сформирован лиственницей европейской, состав второго яруса на ППП МП-2 7Лп3Кл+БедД, на ППП МК-2 – 5Кл4Б1Лп. Общие запасы древостоев 989 и 714 м<sup>3</sup>/га соответственно [5].

Результаты перечёта 2014 г. показали, что лиственница европейская сохраняет высокий потенциал роста и продуктивности, достигая максимальных результатов на ППП МП-2. В возрасте 129 лет состав первого яруса не изменился – 10Л, запас 1053 м<sup>3</sup>/га, второй ярус имел состав 7Лп3Кл+Б и запас 63 м<sup>3</sup>/га. Общая продуктивность древостоя – 1116 м<sup>3</sup>/га, текущий прирост лиственницы достигал внушительной величины – 8,6 м<sup>3</sup>/га, а средний прирост – 8,2 м<sup>3</sup>/га.

Данные, полученные в мае-июле 2023 г., показали, что лиственница сохраняет положительную динамику роста. Лиственница европейская на ППП МП-2 пострадала от ветровала, число стволов снизилось на 9% с 313 до 284 шт./га. Отпад деревьев лиственницы идёт как по низовому, так и по верховому характеру. Последний происходит при сильных, ураганных ветрах, вызывающих вывал хорошо развитых, высоких деревьев. Этому процессу способствует негативная деятельность трутовика Швейница (*Phaeolus schweinitzii*), когда поражённые им деревья имеют загнивающие корни. В 138-летнем

возрасте культуры характеризовались Ia классом бонитета; средняя высота 35,3 м, средний диаметр 50,6 см, сумма площадей перечного сечения – 60,2 м<sup>2</sup>/га. Несмотря на ветровал лиственница имеет хорошие таксационные характеристики: средний прирост достигал величины – 6,9 м<sup>3</sup>/га, запас – 946 м<sup>3</sup>/га. Общая продуктивность снизилась незначительно – 1018 м<sup>3</sup>/га. На ППП МК-2 в 158 лет состав первого яруса прежний, запас 748 м<sup>3</sup>/га, второй ярус за прошедший период также не изменился – 6КлЗБ1Лп, запас 149 м<sup>3</sup>/га. Лиственница, как господствующий элемент первого яруса, в VIII классе возраста продолжала прирост по диаметру и высоте, а также запасу, общий запас остается довольно высоким – 897 м<sup>3</sup>/га, текущий прирост – 5,8 м<sup>3</sup>/га, средний прирост – 4,7 м<sup>3</sup>/га.

Для столь значительного возраста в лиственничниках не наблюдается признаков распада, что объективно можно оценить, учитывая категории состояния деревьев. Максимальное количество здоровых деревьев 32,8 % представлено на ППП МП-2. Большая часть (51,6...67,6 %) относится ко 2-й категории состояния (ослабленные); от 5,4 до 10,7 % – к 3-й категории состояния (сильно ослабленные). Усыхающих деревьев на опытных объектах не выявлено, а доля погибших (сухостоя) не превышает 4,9 %. Средневзвешенная категория состояния на объектах – 1,8...1,9. В целом санитарное состояние можно считать удовлетворительным, если учесть, что опытные объекты расположены в границах Москвы.

### **Список использованных источников**

1. Мерзленко М.Д., Мельник П.Г. Лесоводственная экскурсия в Измайловский лес. – М.: МГУЛ, 2001. – 43 с.
2. Мельник П.Г., Мерзленко М.Д., Лобова С.Л. Результат выращивания климатипов лиственницы в географических культурах северо-восточного Подмосковья // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2016. – №2 (136). – С. 62-67.
3. Мерзленко М.Д., Мельник П.Г., Мельник Л.П. Депонирование углерода стволовой фракцией в 100-летних лесных культурах хвойных пород // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2023. – Т. 27. – № 2. – С. 5–10. DOI: 10.18698/2542-1468-2023-2-5-10
4. Мельник Л.П. Естественное возобновление лиственницы европейской за пределами ареала при минимальном количестве семенников // Лесной вестник / Forestry Bulletin. – 2021. – Т. 25. – № 6. – С. 39-44. DOI: 10.18698/2542-1468-2021-6-39-44

5. Карасев Н.Н., Мельник П.Г., Рябцев О.В. Состояние культур лиственниц Сукачёва и европейской на территории Измайловского лесопарка г. Москвы // Материалы III Пущинской международной школы-семинара по экологии «Экология 2004: эстафета поколений». – М.: МГУЛ, 2004. – С. 40-42.

УДК 681.2.084

**С.С. Ветохин, Аунг Кхант Вин**

Белорусский государственный технологический университет  
Минск, Беларусь

## **МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ СИГНАЛОВ ДЕТЕКТОРОВ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ**

*Аннотация.* Показаны преимущества метода измерения сигналов детектора ионизирующего излучения с применением активного интегрирования. Наибольшее преимущество метод демонстрирует в области малых энергий регистрируемого излучения. Описаны возможности реализации метода с использованием операционных усилителей.

**S.S. Vetokhin, Aung Khant Win**

Belarusian State Technological University  
Minsk, Belarus

## **THE METHOD OF RADIATION DETECTORS' SIGNALS TREATMENT**

*Abstract.* Some advantages of the technique for radiation detectors' signal processing, which involves the active integration of pulse charges, are shown. The most promising the method is for low energy radiation. The abilities of the practical implementation of the method with operational amplifiers microchips are described.

Радиационный контроль на объектах атомной энергетики производится с использованием разнообразных детекторов ионизирующего излучения. Техника регистрации и обработки их сигналов хорошо отработана, однако в области малых энергий и, соответственно, малых сигналов проблема обеспечения точности измерений остается. Решение проблемы часто связывают только с прогрессом в самих детекторах, в том числе с применением в качестве чувствительных элементов новых материалов. Однако, по нашему

мнению, улучшение характеристик измерительной аппаратуры за счет схемотехнических решений в трактах аналоговой обработки сигналов еще не исчерпаны.

В этой связи нами была поставлена цель выполнить анализ физических особенностей формирования сигналов в детекторах ионизирующего излучения и на основе результатов этого анализа предложить физически адекватные методы обработки этих сигналов. При этом мы ограничились кристаллическими сцинтилляционными детекторами, использующими в качестве преобразователя фотоэлектронные умножители (ФЭУ).

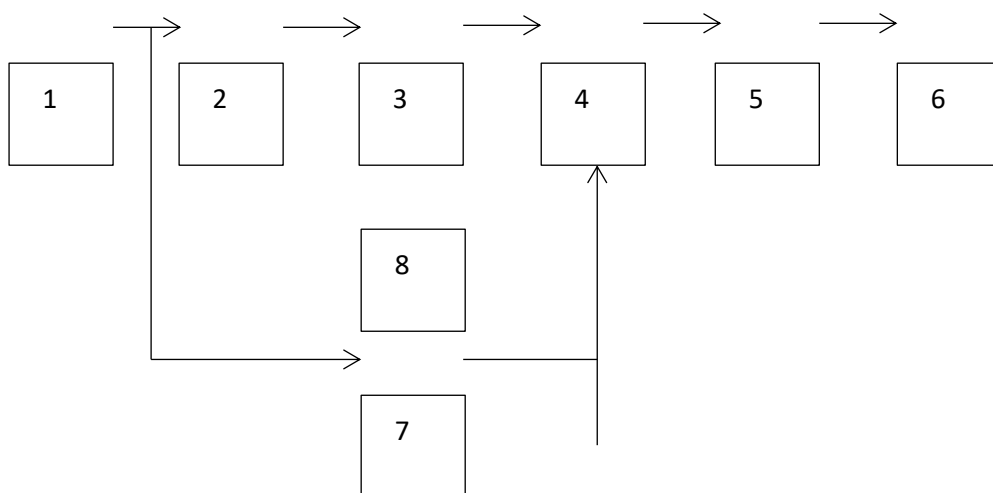
Кристаллические сцинтилляторы представляют собой традиционные детекторы ионизирующего излучения различных видов. Конверсионная эффективность – доля энергии частицы или кванта, преобразуемая в свет в результате радиолюминесценции – составляет для них от 1 до 30% [1]. Это соответствует  $10^4$ - $10^5$  фотонов на 1 МэВ поглощенной энергии. С учетом неполного сбора фотонов на фотокатод ФЭУ (на уровне 70%) и эффективности фотообразования (в лучшем случае 10%) для получения одного зарегистрированного фотона необходима энергия не менее 0,5 кэВ. Соответственно, число зарегистрированных фотонов от сцинтилляционной вспышки, вызванной поглощением, например  $\gamma$ -кванта, возникающего при распаде изотопа  $Cs^{137}$ , составит примерно 1300, а рентгеновского кванта с энергией 10 кэВ – всего 20. Сопровождающие преобразование флуктуации числа событий и коэффициента усиления ФЭУ дадут погрешность определения энергии на уровне 10% в первом случае и до 90% во втором, что фактически исключает достижение сколько-нибудь достоверного результата.

Одним из направлений повышения точности преобразования является применение зарядочувствительных усилителей или предусилителей, на входной емкости которых происходит интегрирование выходного сигнала ФЭУ. Их преимущество обусловлено физической природой ФЭУ как генератора тока с практически бесконечным выходным сопротивлением. Однако в действительности такие усилители представляют собой лишь фильтры низких частот, для которых амплитуда напряжения на емкости пропорциональна амплитуде тока выходного импульса ФЭУ. Более того, постоянная времени интегрирования в таких усилителях не может быть больше нескольких микросекунд из-за увеличения мертвого времени регистратора. Тем не менее, такие усилители находят самое широкое применение в современной радиометрической, дозиметрической и спектрометрической аппаратуре, например линейка

усилителей российской компании ООО «Сниип-Плюс» <https://sniipplus.ru/products/> или спектрометры минского НПУП «Атомтех» <https://atomtex.com/ru/products/>.

Дальнейшая возможность повышения качества детектирования связана с использованием того, что информация об энергии регистрируемой частицы или кванта содержится в действительности не в амплитуде, а в площади сцинтилляционного импульса, которая соответствует числу фотонов во вспышке. В этой связи представляется целесообразным применить активное интегрирование заряда выходного импульса ФЭУ.

Такой подход был, по-видимому, впервые реализован для измерения сцинтилляций в электронно-оптическом преобразователе [2]. Реализующий идею тракт регистрации состоит (рис. 1) из ФЭУ 1, к аноду которого



**Рис. 1- Тракт регистрации сцинтилляционных импульсов**

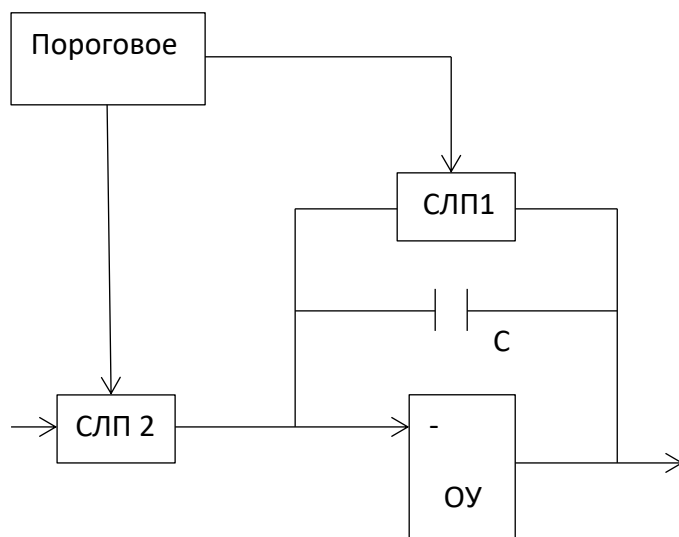
последовательно включены широкополосный усилитель тока 2, интегратор 3, схема линейного пропускания 4, аналого-цифровой преобразователь 5 и устройство отображения информации 6. Выходной сигнал ФЭУ подается также на пороговое устройство 7, управляющее схемой сброса 8 интегратора 3 и схемой линейного пропускания 4.

Импульсный малошумящий усилитель 2 является усилителем тока, построенным на базе входного каскада с общей базой. Его полоса пропускания для быстрых сцинтилляторов должна быть не менее 100 МГц, а коэффициент передачи – до  $10^4$ , чтобы обеспечить соответствие динамических диапазонов сигналов ФЭУ и интегратора. Аналогичный усилитель, построенный по каскадной схеме на современных электронных элементах, в том числе малошумящего с.в.ч.-транзистора ВUF740 с током покоя 25 мкА, применялся [3] для обработки сигналов



датчиков с большой емкостью в установке для измерения потока нейтронов. По мнению авторов [3] такая схема позволяет существенно снизить шумы усилителя по сравнению с усилителями напряжения, работающими с согласованной нагрузкой.

Центральным элементом рекомендуемой схемы является интегратор (рис. 2), построенный на операционном усилителе. В качестве последнего может быть рекомендовано [4] изделие 554УД1 с очень низким входным шумовым током  $0,003 \text{ пА/Гц}^{1/2}$  и входным током менее  $40 \text{ пА}$ . Однако его полоса единичного усиления составляет только  $2 \text{ МГц}$ , что может быть недостаточно для детекторов с быстрыми сцинтилляторами. В этом случае возможно применение операционного усилителя 554УД2 с полосой единичного усиления  $15 \text{ МГц}$ .



**Рис. 2- Общая схема интегратора: СЛП – схема линейного пропускания, ОУ – операционный усилитель, С – емкость**

По приходу сигнала от детектора (1 на рис. 1) пороговое устройство выключает схему линейного пропускания СЛП 1, что приводит к накоплению заряда на емкости С, находящейся в цепи отрицательной обратной связи операционного усилителя ОУ. Заряд продолжается до тех пор, пока уровень регистрируемого сигнала не опустится ниже порога срабатывания порогового устройства. После этого происходит преобразование полученного на конденсаторе С напряжения с помощью аналого-цифрового преобразователя (5 на рис. 1). Применение второй схемы СЛП 2 на входе интегратора не является обязательным, поскольку при отсутствии сигнала управления от порогового устройства не происходит ни накопления заряда на конденсаторе С, ни преобразования аналого-цифровым

преобразователем. Тем не менее такой дополнительный ключ рекомендуется некоторыми авторами [4].

Таким образом, схемы измерения заряда (или площади сцинтилляции) являются с учетом появления достаточно широкой линейки подходящих интегральных операционных усилителей наиболее перспективными для задач, связанных с изменением энергетических спектров ионизирующего излучения или отбором регистрируемых явлений по энергиям.

### **Список использованных источников**

1. Сидоренко В.В., Кузнецов Ю.А., Оводенко А.А. Детекторы ионизирующих излучений. – Л.: Судостроение, 1984. – 240 с.

2. Буцкий В.В., Ветохин С.С., Саржевский А.М. Устройство для измерения сцинтилляций в электронно-оптическом преобразователе. Авт. свид. СССР № 728101, МПК G01J 1/44. 1980.

3. Пурьга Е.А. и др. Широкополосные тракты усиления сигналов полупроводниковых детекторов излучения и частиц / Приборы и техника эксперимента, 2022, № 1, с. 44–57.

4. Лисин Д.В. Применение отечественных операционных усилителей в приборах для спектрометрических измерений в дальнем космосе / Приборы и техника эксперимента, 2018, № 6, с. 43–48.

УДК 630.6:531.5+630.161.32

**Л.С. Ветров**

Санкт-Петербургский государственный лесотехнический  
университет имени С.М. Кирова  
Санкт-Петербург, Россия

## **КЛИМАТИЧЕСКАЯ СОСТАВЛЯЮЩАЯ ЛЕСНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ**

*Аннотация.* В связи с глобальными изменениями климата существующие методы лесоправления и лесного планирования требуют принципиально новых подходов, обеспечивающих эффективность адаптационных мер к климатическим рискам в лесном комплексе.

## **CLIMATE COMPONENT OF FOREST PLANNING**

***Abstract.** In connection with global climate change, existing methods of forest management and forest planning require fundamentally new approaches that ensure the effectiveness of adaptation measures to climate risks in the forest complex.*

В новых меняющихся социально-экономических условиях, а также в связи с глобальными изменениями климата существующие методы лесоуправления и лесного планирования требуют принципиально новых подходов, обеспечивающих динамику и согласованность повышения их эффективности.

Практикуемая лесохозяйственная деятельность должна не только обеспечивать ресурсную составляющую, но и способствовать наращиванию запасов углерода в лесных экосистемах, сохранять его в лесных продуктах длительного пользования. При этом мероприятия по охране и защите лесонасаждений, направленные на сохранение лесистости, увеличение продуктивности, а также своевременное восстановление площадей, пройденных рубкой, как и лесоразведение на ранее безлесных землях, приводят к повышению стока и накоплению углерода предотвращают возможные эмиссии парниковых газов или сокращают их.

Следует отметить, что климатические изменения могут иметь как положительное влияние, например, повышение продуктивности древостоев, так и отрицательное (зачастую преобладающее), связанное с ростом количества и площадей лесных пожаров; вспышек размножения насекомых-вредителей; частоты возникновения экстремальных погодных явлений (ветровалов, ураганов, наводнений и др.). В связи с данными факторами необходимо принятие адекватных способов адаптации лесных экосистем к ожидаемым и произошедшим климатическим изменениям.

В частности, сток углерода в управляемые леса способен превышать годовые эмиссии благодаря своевременному проведению комплекса лесохозяйственных мероприятий, препятствующих снижению лесистости и деградации лесов.

Одним из важных документов, содержащих показатели, характеризующие меры адаптации лесного хозяйства к последствиям изменения климата на региональном уровне, являются лесные планы субъектов Российской Федерации, анализ показателей которых

позволяет дать оценку системы планирования и эффективности по данному направлению.

Пункт 1.2 типовой формы лесного плана субъекта РФ, утвержденной в 2017 году [1] предусмотрены сведения о природно-климатических особенностях, в том числе изменениях основных климатических показателей региона.

Пункт 3.11 лесного плана должен содержать всестороннюю оценку экологического потенциала, средообразующих, водоохраных, защитных, санитарно-гигиенических, оздоровительных и иных полезных функций лесов.

Отдельного внимания заслуживает пункт 4.2. в части планируемых мероприятий по сохранению экологического потенциала лесов, адаптации к изменениям климата и повышению устойчивости лесов.

Приложение 20 к Типовой форме лесного плана требует представления оценки экологического потенциала, потенциала средообразующих, водоохраных, защитных, санитарно-гигиенических, оздоровительных и иных полезных функций лесов; отображения информации о нетто-поглощении углерода, потерях углерода управляемыми лесами, бюджете углерода по пулам и др. на плановый период и расчет прогнозных показателей. При этом нетто-поглощений и бюджет углерода включают показатели биомассы древостоев, мертвой древесины, подстилки и почвы, а потери учитываются как в связи с воздействием природных (пожары, вредители и болезни), так антропогенных факторов (рубки, осушение почв).

Приложение 21 к Типовой форме лесного плана субъекта Российской Федерации содержит сведения о необходимых объемах мероприятий, связанных с противодействием рискам, вызванным климатическими изменениями и перечень планируемых адаптационных мер, в том числе ежегодных.

В целом, в лесных планах отражены мероприятия, призванные повысить потенциал адаптации по базовым климатическим рискам на региональном уровне, к которым относятся:

- изменение продуктивности лесов в связи с изменениями средних значений температуры и количества выпадаемых осадков;
- изменения в видовом (породном) составе лесов;
- увеличение частоты возникновения (лесных) пожаров в лесах и площадях, пройденных пожарами;
- увеличение частоты вспышек массового размножения вредных организмов в лесах;

- увеличение частоты проявления последствий экстремальных погодных явлений в лесах.

Каждому из рисков соответствует перечень адаптационных мер, снижающих их вероятность и смягчающих последствия, направленных, прежде всего, на повышение эффективности лесопользования и качества лесохозяйственной деятельности с учетом региональных лесорастительных и природно-климатических условий.

Требуемые расчеты объемных показателей на сегодняшний день осуществляются, по данным регионов, на основе Методических указаний по количественному определению объема поглощения парниковых газов [2] и Национального доклада о кадастре [3].

В целях формирования отраслевого комплекса мер адаптации к изменениям климата распоряжением Минприроды России от 30 сентября 2021 г. № 38-р утвержден План адаптации к изменениям климата в сфере природопользования. Кроме того, распоряжением Минприроды России от 19 мая 2021 года №16-р утвержден Типовой паспорт климатической безопасности территории субъекта Российской Федерации.

На период действия лесных планов, разработанных согласно приказу Минприроды России от 20 декабря 2017 г. № 692 «Об утверждении типовой формы и состава лесного плана субъекта Российской Федерации, порядка его подготовки и внесения в него изменений» в случае несоответствия, или неполного соответствия разделов 3.11 и 4.2 содержанию Типового паспорта климатической безопасности субъекта Российской Федерации и регионального Плана адаптации, необходимо внесение соответствующих изменений (дополнений) в части корректировки системы мероприятий по сохранению экологического потенциала лесов, адаптации к изменениям климата и повышению устойчивости лесов.

При этом важно отметить, что на сегодняшний день назрела необходимость в разработке унифицированного для всех участников лесных отношений нормативного документа, позволяющего единообразно подойти к оценке экологического потенциала лесов, их адаптации к изменениям климата и форме его представления.

По результатам оценки деятельности субъектов Российской Федерации в части выполнения задач по адаптационным мерам в лесном комплексе за 2021-2022 годы выявлено, что, в целом, порядка 25 % регионов обладают устойчивостью к рискам проявления последствий экстремальных погодных явлений в лесных экосистемах, около 15 % – устойчивы к рискам снижения продуктивности лесов, изменениям породного состава древесной растительности, рискам

увеличения частоты вспышек массового размножения фито- и энтомофитовредителей.

Таким образом, важно своевременно принимать меры повышения эффективности выполнения мероприятий на основе новейших достижений науки и техники в области охраны и защиты лесов, в том числе, превентивного характера, соблюдения объемов лесовосстановления и лесоразведения в соответствии с утвержденными плановыми показателями.

Решение данных вопросов позволит предотвратить эмиссию углерода, сохранить естественный потенциал экосистем по его депонированию, а также положительно сказаться на увеличении поглощающей способности покрытых лесом земель.

### **Список использованных источников**

1. Об утверждении типовой формы и состава лесного плана субъекта Российской Федерации, порядка его подготовки и внесения в него изменений : приказ Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 20.12.2017 № 692 (с изм. на 27.12.2020) : зарегистрировано в Минюсте России 05.04.2018 № 50666, Москва // Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации / АО «Кодекс». – URL: <https://docs.cntd.ru/document/542616941> (дата обращения: 03.10.2023).

2. Об утверждении методик количественного определения объемов выбросов парниковых газов и поглощений парниковых газов: приказ Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 27.05.2022 № 371. Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. – Режим доступа: - <https://docs.cntd.ru/document/350962750?ysclid=ld8hy7nquv109960165>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус. – Дата обращения: 13.10.2023.

3. Национальный доклад о кадастре антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов // Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды: офиц. сайт / Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации – мировой центр данных. – URL: <http://meteo.ru/events/102-raznoe/908-natsionalnyj-doklad-o-kadastre-antropogennykh-vybrosov-iz-istochnikov-i-absorbtsii-poglotitelyami-parnikovykh-gazov> (дата обращения: 15.10.2023).

**В.И. Володин**

Белорусский государственный технологический университет  
Минск, Беларусь

## **ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ АЭРОТЕРМАЛЬНЫХ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ**

*Аннотация.* Проведен сравнительный анализ целесообразности использования аэротермальных тепловых насосов и альтернативных им электрических котлов для низкотемпературных систем отопления. Получено, что данные устройства конкурентоспособны с традиционными источниками, у которых стоимость отпущаемой теплоты покрывает полные затраты.

**V.I. Volodin**

Belarusian State Technological University  
Minsk, Belarus

## **PROSPECTS FOR APPLICATION OF AEROTHERMAL HEAT PUMPS**

*Abstract.* A comparative analysis of the feasibility of using aerothermal heat pumps and alternative electric boilers for low-temperature heating systems was carried out. It was found that these devices are competitive with traditional sources, in which the cost of supplied heat covers the full costs.

В настоящее время доминирующим источником первичной энергии, потребляемой в Республике Беларусь, является ископаемое топливо. Существенный вклад по его замещению в системах теплоснабжения может быть осуществлен за счет использования тепловых насосов (ТН), когда в качестве источника первичной энергии используется теплота окружающей среды: атмосферного воздуха, грунта, подземных и поверхностных источников воды.

Внедрение ТН не только повышает эффективность использования энергии, но одновременно приводит к снижению выбросов парниковых газов. Например, по данным Европейской ассоциации по тепловым насосам, в 2022 году в странах Европейского Союза (ЕС) продано 3 млн. ТН суммарной тепловой мощностью 28,18 ГВт, которые вырабатывают 45,045 ТВт·ч полезной энергии для отопления и охлаждения, предотвращая при этом выбросы 7,24 млн. т парниковых газов в эквиваленте CO<sub>2</sub> [1].

Наибольшее распространение получили парокомпрессорные ТН, которые широко используются для теплоснабжения зданий [1]. Приблизительно 84% приходится на аэротермальные (воздушные) ТН. Тепловые насосы отапливают примерно 16% жилых и коммерческих зданий в Европе. Применение ТН в многоквартирных домах встречается реже, чем в домах на одну семью.

Одной из задач Республиканской программы энергосбережения Беларуси 2021–2025 годы, является внедрение тепловых насосов в промышленности за счет использования тепловых ВЭР. Применению ТН с использованием возобновляемой низкопотенциальной теплоты окружающей среды для нужд отопления и обеспечения горячей водой жилых зданий внимание уделяется недостаточно. Рассмотрим целесообразность использования ТН с источником низкой теплоты атмосферным воздухом

Действительный коэффициент преобразования (отопительный коэффициент) ТН, характеризующий их энергетическую эффективность, изменяется в течение года в зависимости от температуры природного низкопотенциального источника теплоты: атмосферного воздуха, грунта, водных источников. Особенно это актуально для аэротермальных тепловых насосов. Поэтому для их анализа, рекомендуется использовать сезонный параметр эффективности  $SPF$  [2]. В этом случае коэффициент преобразования  $\varphi_{SPF} = Q_{ТН} / N_{э}$ , где  $Q_{ТН}$  – суммарное количество генерируемой теплоты за год для отопления и/или горячего водоснабжения;  $N_{э}$  – расход энергии электроприводом с учетом дополнительного суммарного расхода вспомогательной энергии за год.

Тепловые насосы должны замещать энергию от традиционных источников с электрическим КПД  $\eta_{э}$ , возобновляемой энергией. Принято, что коэффициент преобразования с учетом дополнительных неучтенных потерь должен подчиняться условию:  $\varphi_{SPF} = 1,15/\eta_{э}$ .

В странах ЕС стандартное значение  $\eta_{э} = 0,45$ . В Беларуси эффективность отпуска электроэнергии составляет 254,6 г у.т./кВт·ч [3]. Данный показатель, в пересчете, соответствует электрическому КПД  $\eta_{э} = 0,483$ , что соответствует условию  $\varphi_{SPF} > 2,36$ .

Рекомендации по предварительной оценке эффективности аэротермальных тепловых насосов с учетом влияния изменения температуры атмосферного воздуха отсутствуют [4]. Стандартизованный расчетный метод температурных интервалов с учетом повторяемости является трудоемким [2]. Вопрос о выборе конкретных базовых расчетных значений температуры атмосферного воздуха и коэффициента преобразования остается открытым. В данном



исследовании за расчетную температуру по данным строительной климатологии принимается средняя суточная температура воздуха  $-4,6^{\circ}\text{C}$  продолжительностью 131 суток.

Комплексный анализ проектов по внедрению ТН должен включать определение не только энергетической эффективности, но и экономической. Целесообразность проекта будет определяться положительным эффектом этих двух составляющих анализа.

В общем случае удельную стоимость теплоты, генерируемой тепловым насосом, можно рассчитать по модифицированной зависимости работы [5]

$$C_T = \frac{\frac{ЦA_M}{Q} \left[ \frac{r}{1 - (1+r)^{-T}} + \Theta \right]}{\tau_{ТН}} + C_M + \frac{1}{\varphi} C_{\Theta},$$

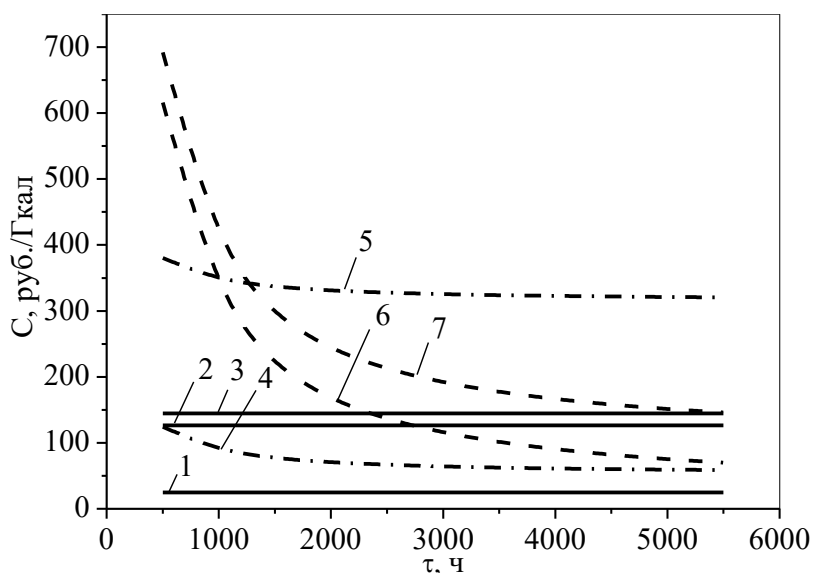
где  $Q$  – теплопроизводительность;  $Ц$  – стоимость;  $A_M$  – коэффициент, учитывающий стоимость монтажа ( $A_M > 1$ );  $r$  – ставка дисконта;  $T$  – срок службы теплового насоса;  $\Theta$  – эксплуатационные затраты;  $C_M$  – удельные затраты на эксплуатационные материалы;  $C_{\Theta}$  – тариф на потребляемую энергию;  $\varphi$  – коэффициент преобразования определяется из анализа цикла ТН (для электродкотла  $\varphi = 1$ ).

В данном исследовании проводится сравнительный анализ влияния капитальных затрат и тарифов на электрическую энергию на целесообразность использования ТН и альтернативных электрических котлов теплопроизводительностью 10 кВт для низкотемпературных систем отопления.

В качестве базового примера рассмотрена эффективность ТН воздух-вода с хладагентом R410a при средней температуре воздуха  $-4,6^{\circ}\text{C}$ , используемого для нужд напольного отопления с температурой теплоносителя горячей воды  $+35^{\circ}\text{C}$ . Вначале на основе анализа цикла определялся коэффициент преобразования, который составил 3.45. Средневзвешенные капитальные затраты с учетом монтажа ТН составляет 25,3 тыс. руб., а для электродкотла - 2775 руб. Текущие тарифы на электричество и теплоту для физических и юридических лиц, и ставка рефинансирования соответствуют данным Минэнерго и Национального банка Беларуси по состоянию на 1 октября 2023 года.

На рисунке, на основе приближенного численного анализа, показано влияние годового времени эксплуатации и тарифа на электроэнергию на стоимость генерируемой теплоты ТН и электрическим котлом. Видно, что при текущем субсидируемом

тарифе на потребление теплоты (кривые 1, 4 и 6) эксплуатировать тепловой насос и электродогреватель экономически нецелесообразно, так как стоимость получаемой теплоты на их основе существенно выше, чем от замещаемого источника. В случае применения льготного тарифа на электроэнергию стоимость производимой ими теплоты может конкурировать с альтернативными способами ее производства с полным возмещением стоимости (кривые 2–4 и 6) при приведенном времени работы ТН не менее 2500 ч/год и электродогревателя 500 ч/год. При одноставочном тарифе на электроэнергию ТН и электродогреватель являются не конкурентно способными (кривые 5 и 7). На экономичность использования ТН основное влияние оказывают капитальные затраты, а на использование электродогревателя – эксплуатационные затраты на потребление электроэнергии. На эффективность использования ТН существенно влияет время работы в течение года.



Стоимость теплоты  $C$  от централизованного источника (сплошные линии), теплового насоса (штриховые линии) и электродогревателя (штрихпунктирные линии) с учетом времени эксплуатации  $\tau$ :

- 1 – стоимость субсидируемой теплоты (24,7187 руб./Гкал);
- 2 – полное возмещение стоимости (126,29 руб./Гкал);
- 3 – стоимость для предприятий (144,62 руб./Гкал);
- 4, 6 –  $C_{э} = 0,0449$  руб./кВт·ч – отопление с отдельным учетом;
- 5, 7 –  $C_{э} = 0,2705$  руб./кВт·ч – одноставочный тариф

В 2016 году была принята Кигалийская поправка, дополняющая Монреальский протокол, предусматривающая поэтапный вывод из обращения хладагентов на основе гидрофторуглеродов и замещение их природными хладагентами. В данном исследовании были также рассмотрены природные хладагенты пропан R290 и изобутан R600a, которые показали повышение коэффициента преобразования

соответственно на 5,2 и 7,8%. Экономическая эффективность ТН при этом существенно не изменилась. Для заинтересованности потребителей теплоты при внедрении тепловых насосов, необходимы кроме тарифных льгот, ввести субсидии с учетом уменьшения выбросов парниковых газов.

На основе проведенного анализа можно сделать следующие выводы:

1. На экономическую эффективность использования аэротермальных тепловых насосов для низкотемпературных систем отопления существенное влияние оказывают капитальные затраты, а для электрочкалов эксплуатационные затраты на электроэнергию.

2. Действующие нормативные акты не позволяют однозначно оценить эффективность использования аэротермальных тепловых насосов для теплоснабжения зданий доступными методами для широкого круга потребителей.

3. Требуется разработка унифицированного метода оценки энергетической и экономической эффективности данных тепловых насосов.

4. Текущее законодательство и цены на оборудование в Беларуси не позволяют заинтересовать потребителей для внедрения аэротермальных тепловых насосов.

### **Список использованных источников**

1. Heat Pumps in Europe. Key Facts & Figures. – [Электронный ресурс]. – 2023. – Режим доступа: <https://www.ehpa.org/2023/05/12/studies-publications/heat-pumps-in-europe-key-facts-and-figures/>. – Дата доступа: 01.10.2023.

2. Системы отопления зданий. Метод расчета характеристик и показателей эффективности системы. Часть 4-2. Системы теплоснабжения, системы с тепловыми насосами. СТБ EN 15316-4-2-2016. – Минск: Госстандарт, 2016. – 121 с.

3. Шенец Л. На пороге больших перемен. – Экономика Беларуси. – 2013. – № 4. – С. 70–75.

4. Методические рекомендации по составлению технико-экономических обоснований для энергосберегающих мероприятий. – Минск, 2020. – 142 с.

5. Senior expert symposium on electricity and the environment: key issues papers. – Vienna: IAAE, 1991. – 184 p.

УДК 502.175:543.54

**С.С. Гавриченкова, А.Н. Хотько**

Белорусский государственный колледж промышленности  
строительных материалов  
Минск, Беларусь

## **ХИМИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ КОМПОНЕНТОВ ВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ**

***Аннотация.** В данной статье приводятся результаты определения содержания неорганических ионов, обуславливающих нитратное загрязнение природных вод. Описана методика количественной идентификации и определения концентрации анализируемых компонентов, используя метод капиллярного электрофореза.*

**Sv.S. Haurychenkava, A.N. Khatsko**

Belarusian State College of Building Materials Industry  
Minsk, Belarus

## **CHEMICAL MONITORING OF COMPONENTS OF AQUATIC ECOSYSTEMS**

***Abstract.** This article presents the results of determining the content of inorganic ions that cause nitrate pollution of natural waters. The method of quantitative identification and determination of the concentration of the analyzed components using the method of capillary electrophoresis is described.*

**Введение.** Химический мониторинг водных экосистем представляет собой систему наблюдений, включающий оценку состояния, анализ и прогноз изменений под воздействием природных и антропогенных факторов. На современном этапе основу мониторинга составляют химические методы контроля. При проектировании системы химического мониторинга необходимо учитывать многокомпонентный состав природного объекта, влияние матрицы, концентрации и состояния анализируемых веществ [1].

В настоящее время проблема загрязнения окружающей среды, особенно природных вод, является актуальной, так как вода представляет собой один из уникальных ресурсов. Качество воды – важнейший фактор, влияющий на здоровье населения. При этом практически не осталось природных вод, которые в той или иной степени не оказались под влиянием антропогенного воздействия. Ежедневно в реки сбрасывается огромное количество промышленных и бытовых сточных вод, что приводит к нарушению природного состава воды, изменению соотношения основных солевых

компонентов, увеличению показателей, характеризующих содержание химических загрязняющих веществ [2].

Для проведения экологических исследований актуально определение в природных водах неорганических ионов, имеющих как природное, так и антропогенное происхождение. Одним из таких видов загрязнений выступает нитратное загрязнение. В поверхностных водах аммонийный азот находится главным образом в виде ионов аммония и недиссоциированных молекул  $\text{NH}_4\text{OH}$ .

Присутствие в незагрязненных поверхностных водах ионов аммония связано с процессами деградации белковых веществ, дезаминирования аминокислот, разложением мочевины. Увеличение концентрации ионов аммония наблюдается поэтому в периоды отмирания водных организмов, особенно в зонах их скопления: в придонном сливе водоема, в слоях повышенной плотности фито- и бактериопланктона. Ионы аммония могут образовываться в результате анаэробных процессов восстановления нитратов и нитритов. Значительное количество ионов аммония поступает в природные воды с атмосферными осадками. Высокие концентрации ионов аммония характерны для поступающих в водоемы сточных вод и промышленных стоков предприятий пищевой, коксохимической, лесохимической и химической промышленности.

Нитриты появляются в воде главным образом в результате биохимического окисления аммиака или восстановления нитратов. В поверхностных водах нитраты обычно присутствуют в заметных количествах за исключением периода интенсивного развития фитопланктона в водоемах, когда содержание нитратов может падать до исчезающе малых величин.

Известно, что в связи с высокой растворимостью нитратных солей при высоком содержании нитрат-иона, может отличаться и высокое содержание таких катионов, как натрий, калий, кальций и магний [3].

Сведения об изменениях в концентрации нитратов и соотношений между концентрациями остальных форм азота могут быть использованы для характеристики интенсивности процессов самоочищения и самоочищающей способности водоемов [3].

В современной практике для одновременного определения группы химических веществ предпочтение отдано методам с разделением, среди которых наибольшую эффективность в сочетании с экспрессностью, экономичностью и доступностью оборудования обеспечивает метод капиллярного электрофореза (КЭФ) [4]. Однако природные воды по химическому составу представляют собой

многокомпонентные системы. Поэтому усовершенствование методики контроля качества природных вод, обеспечивающих высокую избирательность анализа и низкий предел обнаружения веществ-аналитов, является актуальной задачей.

Цель работы- алгоритмизация процесса экологического мониторинга природных вод, используя экспресс метод капиллярного электрофореза.

**Методика эксперимента.** Измерения проводились на приборе «Капель-103Р» - системе капиллярного электрофореза, оборудованной ультрафиолетовым детектором с длиной волны лампы 254 нм, кварцевым капилляром длиной 0,5 м и внутренним диаметром 75 мкм.

Ввод пробы в капилляр системы КЭФ осуществлялся пневматическим методом под давлением 30 мбар в течение 5 секунд. К концам капилляра подавалось электрическое поле напряжением 10 кВ, время анализа составляло 10 минут. Применялся буферный раствор следующего состава: 6 ммоль·дм<sup>-3</sup> бензимидазола, 2,5 ммоль·дм<sup>-3</sup> винной кислоты и 2,0 ммоль·дм<sup>-3</sup> 18-краун-6 эфира. Перед каждым измерением капилляр в течение 2 мин последовательно промывался 1 М HCl; H<sub>2</sub>O; 0,5 М NaOH; H<sub>2</sub>O и рабочим буферным раствором.

Градуировка системы «Капель-103Р» проводилась методом внешнего стандарта согласно методике [4]. Идентификацию ионов методом КЭФ проводили по времени удерживания. Условия регистрации электрофореграмм анализируемых проб соответствовали условиям регистрации электрофореграмм градуировочных растворов.

Концентрацию компонентов в пробе вычисляли по формуле:

$$X = X_{\text{изм}} \times K_1$$

где: X - концентрация компонента в пробе, мг/дм<sup>3</sup>;

X<sub>изм</sub> - измеренная концентрация компонента по градуировочному графику, мг/дм<sup>3</sup>;

K<sub>1</sub> - коэффициент разбавления пробы дистиллированной водой

За результат измерения содержания компонентов в пробе принимали среднее арифметическое значение результатов n=2 параллельных определений, для которых выполняется условие:

$$X_{\text{max}} - X_{\text{min}} \leq 0,01 \cdot X \cdot r$$

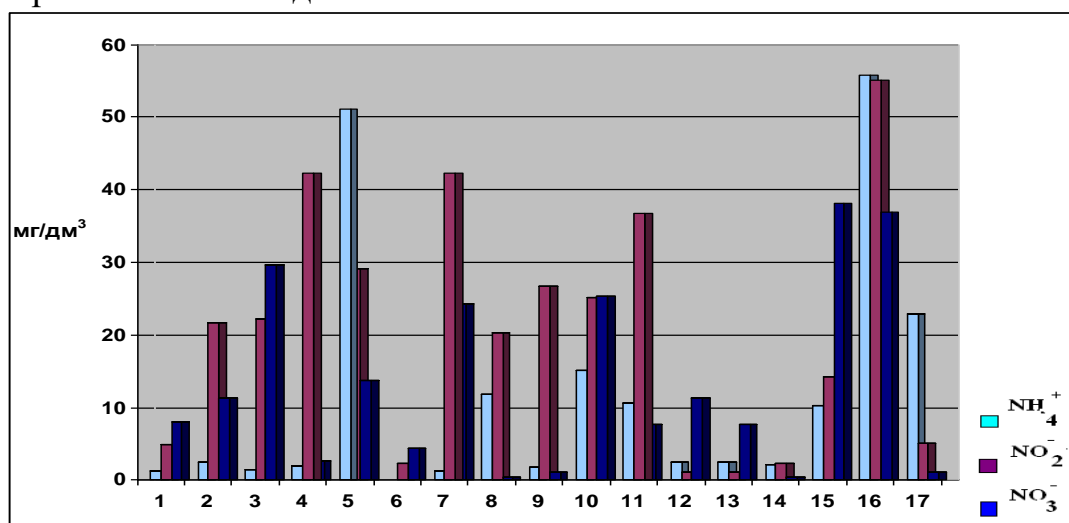
где X<sub>max</sub> - больший результат параллельного определения, мг/дм<sup>3</sup>;

X<sub>min</sub> - меньший результат параллельного определения, мг/дм<sup>3</sup>;

X - среднее арифметическое результатов параллельных определений, мг/дм<sup>3</sup>; r - значение предела повторяемости

**Результаты и их обсуждение.** В ходе проведения анализа колебаний показателей, характеризующих загрязнение химическими

веществами (рис. 1, таблица 1), выявлено, что загрязнение природных вод отдельными неорганическими экотоксикантами является причиной антропогенного воздействия.



**Рис. 1 - Содержание компонентов нитратного загрязнения в природной воде**  
 1-Брестская область, озеро Селец                      9-Витебская область, река Оршица

- |  |  |
|--|--|
| 2-Витебская область, Браславский район, озеро Снуды      | 10-Гомельская область, река Сож                  |
| 3-Речицкий район, озеро Ведрич                           | 11-Минская область, Копыльский район, река Случь |
| 4-Гродненская область, Кореличский район, озеро Рута     | 12-Минск, река Свислочь                          |
| 5-Могилевская область, озеро Чигиринское                 | 13-Минск, река Цна                               |
| 6-Минская область, Логойский район, озеро Великое        | 14-Минск, река Птичь                             |
| 7-Минская область, Червенский район, озеро Петровическое | 15-Минский район, п.Зеленое, ручей               |
| 8-Минск, Комсомольское озеро                             | 16-Минск, Веснянка, ручей                        |
|  | 17-Талая вода, река Свислочь                     |

**Таблица 1 -Содержание анализируемых компонентов в природных водах Республики Беларусь, мг/дм<sup>3</sup>**

Регион, источник	Компоненты						
	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
<b>ПДК, мг/дм<sup>3</sup></b>	<b>0,5</b>	<b>20</b>	<b>200</b>	<b>10</b>	<b>50</b>	<b>0,08</b>	<b>45</b>
Брестская обл., озеро Селец	1,18	3,48	66,77	18,58	91,15	4,87	8,018
Витебская обл., река Оршица	1,77	0,25	12,41	46,1	107,5	26,71	1,15
Гомельская область, река Сож	15,15	0,26	15,33	17,45	121,2	25,1	25,24
Гродненская обл., озеро Рута	2,02	5,94	10,38	44,0	168,8	42,31	2,6
Минская область Копыльск.р. Река Случь	10,61	-	7,4	39,43	131,0	36,77	7,75
Могилевская область Озеро Чигиринское	51,2	-	63,02	31,86	103,8	29,06	13,8

Минск, Комсомольское озеро	11,8	3,96	14,6	22,15	56,09	20,3	0,44
Минск, река Свислочь	2,41	-	10,14	23,79	56,04	1,05	11,32
Минск, Веснянка, Ручей	55,8	-	97,3	61,04	98,5	55,15	37,0
Минская область Логойск, озеро Великое	-	1,1	5,9	13,2	74,0	2,3	4,44
Минский район, водохранилище Гонолес	10,2	5,17	9,13	31,35	135,56	14,2	38,01

В результате проведения исследований установили:

1. Наиболее существенным выступает нитратное загрязнение (ионы  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_2^-$  и  $\text{NO}_3^-$ ), природных вод Гомельской, Могилевской и Минской областей. Город Минск выступает самым мощным локальным источником химического загрязнения, являясь крупным промышленным и урбанизированным центром.

2. В водах озер (рисунок 1), выявлено повышенное содержание ионов аммония и нитрит ионов, в отличие от вод рек. Это объясняется динамичностью, отсутствием застоя и процессов эвтрофикации в речных водах. Присутствие в поверхностных водах рек и озер ионов аммония ( $\text{NH}_4^+$ ) естественного происхождения, связано с процессами деградации белковых веществ, разложением мочевины.

3. Отмечается превышение норм ПДК по содержанию щелочноземельных катионов.

Таким образом разработан алгоритм экспрессного непрерывного систематического мониторинга водных источников, включая методику проботбора и капельного анализа для идентификации компонентов, выступающих загрязнителями.

#### Список использованных источников

1. Ясовеев, М.Г. Водные ресурсы Республики Беларусь / М.Г. Ясовеев, О.В. Шершнева, И.И. Кирвель. – Минск, 2005. -83-100, 177-186 с.
2. Комарова, Н.В. Практическое руководство по использованию систем капиллярного электрофореза «Капель» / Н.В. Комарова, Я.С. Каменцев. - Санкт-Петербург, 2006. – С. 212.
3. Злобина В.Л. Проблемы оптимизации мониторинга подземных вод // Водные ресурсы, 2011, № 3. С.205-206.
4. Беленький В. Г. Высокоэффективный капиллярный электрофорез. СПб.: «Веда», 2009. – С. 52-58.



УДК 330.15

**А.В. Неверов, А.П. Геврасёва**

Белорусский государственный технологический университет  
Минск, Беларусь

## **ФОРМИРОВАНИЕ И РЕАЛИЗАЦИЯ ПОЛИТИКИ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ: ГЛОБАЛЬНЫЙ И РЕГИОНАЛЬНЫЙ УРОВНИ**

*Аннотация.* Формирование и реализация политики устойчивого развития обусловлены необходимостью изменения мирового порядка на основе многополярного мира с общими ценностями. В этом направлении цели устойчивого развития объединяют интересы практически всех стран и способствуют выработке общей политики их достижения.

**A.V. Neverov, A.P. Gevrasyova**

Belarusian State Technological University  
Minsk, Belarus

## **FORMATION AND IMPLEMENTATION OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT POLICY: GLOBAL AND REGIONAL LEVELS**

*Abstract.* The formation and implementation of sustainable development policies are driven by the need to change the world order on the basis of a multipolar world with common values. In this direction, sustainable development goals unite the interests of almost all countries and contribute to the development of a common policy for their achievement.

В мировом сообществе отсутствует такая политическая сила, которая смогла бы изменить вектор развития в пользу всего человечества, особенно развивающихся и бедных стран. Единственной мировой концепцией, которая консолидирует большинство стран мира и в реализации которой заинтересовано все человечество, является концепция устойчивого развития. Но ее реализация идет сложно и не всегда эффективно, поскольку требует более решительных социальных и экономических мер, учитывая переход к зеленой экономике, а также связанный с ней энергетический переход. Необходимо подчеркнуть их актуальность на данном историческом этапе человеческого развития, в первую очередь, для наиболее развитых стран, для которых характерен высокий уровень благосостояния, но одновременно и высокие нагрузки на глобальный экологический ресурс ввиду чрезмерного производства.

Разумные экономические потребности имеют свои ограничения. Именно масштабы воспроизводства мирового продукта определяют

границы экологического перепроизводства. Сама история определила этот рубеж, когда в 90-е гг. XX в. стала проявлять себя климатическая проблема, и в глобальном масштабе встал вопрос о сохранении экологического равновесия. Последнее становится незаменимым ресурсом развития и поэтому имеет высокую ценность. Экологическое перепроизводство имеет место тогда, когда уровень мирового ВВП на душу населения превышает 4333 долл. США (ориентировочное значение показателя, определяющего начало появления глобальных экологических проблем в конце XX в.) [1]. На сегодняшний день с учетом инфляции долл. США пороговое значение показателя ВВП на душу населения составляет 8000–10 000 долл. США. В таблице 1 представлена динамика ВВП на душу населения в различных странах мира [2, с. 71–74].

**Таблица 1 – ВВП на душу населения, долл. США/чел.**

Страна	2010	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Беларусь	6 000	7 898	8 289	5 829	4 997	5 759	6 322	6 708
Казахстан	9 070	13 891	12 807	10 511	7 715	9 248	9 813	9 731
Российская Федерация	10 675	15 975	14 096	9 313	8 705	10 720	11 371	11 585
Германия	41 532	46 286	47 960	41 140	42 099	44 350	47 639	46 259
Соединенное Королевство Великобритании и Северной Ирландии	39 436	43 445	47 426	44 975	41 064	40 361	43 043	42 300
Швеция	52 869	61 127	60 020	51 545	51 965	53 792	54 589	51 610
Китай	4 550	7 051	7 679	8 067	8 148	8 879	9 977	10 262
Соединенные Штаты Америки	48 468	53 118	55 048	56 823	57 928	59 958	62 840	65 118
Япония	44 508	40 454	38 109	34 524	38 762	38 387	39 159	40 247

Данные таблицы показывают, что проблема экологического перепроизводства представляет особую актуальность для стран с высоким уровнем экономического развития (США, Швеция, Германия, Великобритания), для которых нормативный подход является определяющим при решении проблемы экономического роста. В дополнение к этому законом развития для таких стран должен стать экономический рост на основе производственного замкнутого цикла – циркулярная экономика, которая не оказывает негативного влияния на качество окружающей среды. В стратегическом отношении это означает трансформацию экономического роста в зеленый рост.

Устойчивое развитие, находясь «в плену» экономического роста и связанного с ним экологического перепроизводства, не имеет в том числе эффективных механизмов решения проблемы бедности и социальной справедливости. И все это лежит в одной плоскости – отсутствие ценностей справедливого мира. Нужен другой миропорядок, который утверждал бы эти ценности. Мир – в предверии коренных изменений, которые, надо полагать, придадут новый импульс в решении проблем устойчивого развития.

Основу стратегических трансформаций выражает культурологическая концепция устойчивого развития, которая определяет устойчивое развитие как развитие нормативное [3, с. 50–55]. Только норма, начиная от нормы поведения и кончая нормой потребления материальных благ, является основой, благодаря которой человечество может себя сохранить и обеспечить свое будущее. Экологические ограничения являются главными в определении нормативного поведения человека и формировании его потребностей.

При структуризации экономического роста следует особое внимание обратить на уровень бедности страны. Для бедных стран наиболее актуальным является не трансформация экономического роста в зеленый рост, а выход на нормативный уровень дохода, который обеспечивает предельно-необходимый набор материальных благ для формирования достойного уровня жизни.

Направляющей силой экономического роста и механизмом его трансформации в зеленый рост выступают ЦУР и активные действия по их достижению. Повесткой дня в области устойчивого развития на период до 2030 г. определено 17 целей в области устойчивого развития и 169 соответствующих задач, которые основываются на взаимодействии трех составляющих – социальной интеграции, экономического роста и охраны окружающей среды.

Конкретное наполнение и реализацию политики устойчивого развития определяет процесс имплементации ЦУР на региональном уровне. Для Республики Беларусь процесс определяется актуальностью решения региональных проблем экономического, социального и экологического характера, что находит отражение в имплементации целей (таблица 2) [4, с. 37–40].

**Таблица 2 – Имплементация ЦУР на региональном уровне**

Компонент	Имплементация цели
Экономический	Цель 1. Сокращение уровня малообеспеченного населения
	Цель 2. Создание экономически эффективного и конкурентоспособного агропромышленного комплекса
	Цель 7. Обеспечение энергоэффективности на основе использования альтернативных источников энергии
	Цель 9. Развитие региональной инновационной инфраструктуры, функционирующей на основе создания эффективной системы институтов регионального развития и поддержки предпринимательства
	Цель 10. Сглаживание региональных диспропорций и различий в социально-экономическом развитии территорий
Социальный	Цель 3. Создание благоприятных условий для роста рождаемости и ожидаемой продолжительности жизни населения
	Цель 4. Совершенствование системы подготовки высококвалифицированных кадров и доступность образовательных услуг для населения
	Цель 5. Обеспечение гендерного равенства на основе формирования здорового общества через укрепление института семьи и создания условий для занятости
	Цель 8. Формирование благоприятных условий для обеспечения полной и производительной занятости населения
	Цель 16. Обеспечение безопасности населения региона и равного доступа к правосудию, ответственное принятие решений региональными органами управления с участием всех слоев общества
	Цель 17. Развитие ресурсной базы для активизации работы по обеспечению устойчивого развития региона на основе финансовой, организационной и информационной поддержки
	Цель 6. Формирование благоприятных условий обеспечения населения и субъектов хозяйствования водой, рациональное использование и достаточная степень ее очистки
Экологический	Цель 11. Формирование благоприятных условий жизнеобеспечения населения, преодоление экологических последствий аварии на Чернобыльской АЭС и развитие территорий, подвергшихся радиоактивному загрязнению

	Цель 12. Снижение уровня отходов на основе перехода к рациональным моделям потребления и производства
	Цель 13. Развитие потенциала региона по противодействию климатическим изменениям и снижению выбросов загрязняющих веществ от стационарных источников
	Цель 15. Формирование оптимальной системы особо охраняемых природных территорий и водно-болотных угодий, направленной на сохранение естественных экосистем, биологического и ландшафтного разнообразия

С учетом направленности все 17 ЦУР распределены на три группы – экономические, социальные и экологические. Их особенностью является межкомпонентный характер, обусловленный взаимосвязью и взаимодополнением целей.

Формирование экономического роста нового качества связывают воедино глобальный и региональный уровень устойчивого развития. Глобальный уровень определяет политическую поддержку и консолидирует страны мира на решение проблемы сохранения экологического равновесия и самой жизни на Земле, а региональный уровень – непосредственно реализует цели устойчивого развития (ЦУР), в том числе на основе интересов и инструментов зеленой экономики.

### **Список использованных источников**

1. Валовой внутренний продукт СССР, 1970–1990 [Электронный ресурс] / Институт экономики и права Ивана Кушнира. – Режим доступа: <https://be5.biz/makroekonomika/gdp/su.html>. – Дата доступа: 01.08.2023.

2. Беларусь и страны мира, 2020: стат. сб. / редкол.: И. В. Медведева (пред.) [и др.]. – Минск: Нац. стат. ком. Респ. Беларусь, 2020. – 369 с.

3. Экономика природопользования: учебно-методическое пособие / А. В. Неверов [и др.]; под общ. ред. А. В. Неверова. – Минск: Колорград, 2016. – 400 с.

4. Геврасёва, А. П. Цели устойчивого развития и их имплементация на региональном уровне / А. П. Геврасёва, А. В. Неверов // Международная юбилейная научно-практическая конференция, посвященная 90-летию Гомельского государственного университета имени Франциска Скорины (Гомель, 19–20 ноября 2020 г.): материалы: в 3 ч. Ч. 2 / Гомельский гос. ун-т им. Ф. Скорины; редкол.: С. А. Хахомов (гл. ред.) [и др.]. – Гомель: ГГУ им. Ф. Скорины, 2020. – С. 37–40.

**Н.В. Голубенкова<sup>1</sup>, К.В. Нартова<sup>1</sup>, П.Г. Мельник<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>МФ Московского государственного технического университета  
им. Н.Э. Баумана (Национальный исследовательский университет)

<sup>2</sup>Институт лесоведения РАН  
Россия

## **ДАЛЬНОСТЬ ДИССЕМИНАЦИИ КЛЁНА ОСТРОЛИСТНОГО (*Ácer platanóides* L.) ПОД ПОЛОГОМ ТЕМНОХВОЙНЫХ И СВЕТЛОХВОЙНЫХ НАСАЖДЕНИЙ В УСЛОВИЯХ НИКОЛЬСКОЙ ЛЕСНОЙ ДАЧИ**

*Аннотация.* Установлено, что максимальное расстояние распространения семян клёна под пологом светлохвойного насаждения достигает 31,8 м в северо-восточном направлении, в отличие от темнохвойного, где максимальное распространение семян меньше – 24,7 м. Под пологом ельника относительно сторон света максимальные расстояния диссеминации клёна колеблются в пределах 9,1-23,1 м, а под пологом лиственничника – 13,7-27,7 м.

**N.V. Golubenkova<sup>1</sup>, K.V. Nartova<sup>1</sup>, P.G. Mel'nik<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>Mytishchi Branch of Bauman Moscow State Technical University  
(National Research University)

<sup>2</sup>Institute of Forest Science Russian Academy of Sciences  
Russia

## **DISPERSAL RANGE OF NORWAY MAPLE (*Ácer platanóides* L.) UNDER THE CANOPY OF CONIFEROUS AND DECIDUOUS STANDS AT NIKOLSKAYA FOREST DACHA**

*Abstract.* The studied objects have shown that the maximum distance of Norway maple seed dissemination reaches 31.8 meters in the northeast direction under the canopy of deciduous stands, compared to the coniferous stands where the maximum seed dispersal is less at 24.7 meters. Under the canopy of spruce stands, the maximum distances of maple dissemination vary within the range of 9.1-23.1 meters for different directions, while under the canopy of larch stands, it ranges from 13.7 to 27.7 meters.

Расселение древесных растений зависит главным образом от успешного прохождения всех стадий генеративного развития вида, его биологических и экологических свойств и конкурентоспособности, в целом содействующих или препятствующих выживанию и закреплению того или иного растения на новом месте [1].

Цель работы – изучение дальности диссеминации клёна остролистного (*Ácer platanóides* L.) под пологом темнохвойных и светлохвойных насаждений.

Объекты исследований расположены на территории Никольской лесной дачи в Воря-Богородском лесничестве Щёлковского учебно-опытного лесхоза МФ МГТУ. С 2007 года здесь выполняются исследования дальности эффективной диссеминации и естественного возобновления лиственницы европейской как экспериментальной основы для изучения закономерностей расселения и миграционных возможностей вида [2]. Почва объекта исследований – дерново-подзолистая легкосуглинистая, сформированная на флювиогляциальном песке, оставленном ледниковыми потоками. Тип лесорастительных условий В<sub>2</sub> (простая свежая суборь) [3]. Темнохвойное насаждение представлено естественным ельником, в 40-летнем возрасте имело таксационную характеристику: состав 6Е4Б, запас 210 м<sup>3</sup>/га, рост по I классу бонитета. Светлохвойное насаждение представлено культурами лиственницы европейской, в 143-летнем возрасте насаждение характеризовалось ростом по Ia классу бонитета, составом первого яруса 9Л1СедЕ; второго яруса – 8Е2Кл. Общий запас стволовой древесины – 1233 м<sup>3</sup>/га [4].

При изучении диссеминации клёна остролистного необходимо учитывать, что эта порода относится к древесным гемиянемохам, имеющим кожистые пленочные выросты, так называемые крылышки. Семена относительно тяжелые и при наличии крылышек под воздействием ветра в планирующем полете равномерно рассеиваются вокруг кроны. Клён не образует монодоминантных сообществ, но является важнейшим компонентом лесов. По данным [1], максимальные расстояния диссеминации клёна оцениваются до 100 м, заметная диссеминация наблюдается до 45 м, оптимум – 25 м.

Источником диссеминации под пологом ельника послужило 1 дерево клёна диаметром 19 см. На этом объекте было установлено, что максимальное расстояние распространения семян клёна остролистного достигает 24,7 м в северо-восточном направлении, а минимальное 9,1 м в юго-западном направлении от материнского дерева. Относительно других сторон света максимальные расстояния диссеминации колеблются в пределах 9,7-23,1 м. Под пологом лиственничника было 2 материнских дерева клёна остролистного, с диаметрами 15 и 22 см. Здесь максимальное расстояние распространения семян клёна достигает 31,8 м в северо-восточном направлении, а минимальное 13,7 м в западном направлении. Относительно других сторон света максимальные расстояния диссеминации колеблются в пределах 23,9-27,7 м.

На момент наших исследований подрост и самосев клёна остролистного был представлен разными высотными грациями. Под

пологом темнохвойного насаждения более трёх четвертей (67,0%) учтённых растений представляют градацию до 1 метра, свидетельствующее о том, что процесс формирования молодого поколения клёна находится в начальной стадии. Под пологом светлохвойного насаждения более четверти (27,3%) учтённых растений представляют градацию от 2-х метров и выше, 43,7% высотой до 1 метра, подтверждающее, что процесс формирования молодого поколения клёна имеет волнообразный ход и продолжается до настоящего времени.

Согласно полученным данным о начале плодоношения клёна остролистного в условиях Никольской лесной дачи на свободе с 20 и в древостоях с 30 лет и при эффективной диссеминации в соответствующих условиях (20 м в сомкнутом лесном сообществе и 50 м на свободе). Скорость расселения клёна в лесной среде составляет 1 м/год и в условиях открытых мест – 2,5 м/год.

В результате проведённых исследований можно сделать следующие выводы:

1. Максимальное расстояние распространения семян клёна под пологом светлохвойного насаждения достигает 31,8 м в северо-восточном направлении, в отличие от темнохвойного насаждения, где максимальное распространение семян меньше – 24,7 м. Под пологом ельника относительно сторон света максимальные расстояния диссеминации клёна колеблются в пределах 9,1-23,1 м, а под пологом лиственничника – 13,7-27,7 м.

2. Скорость миграции клёна остролистного, исходя из полученных данных, варьирует от 1 до 2,5 м/год, что значительно меньше, чем считалось раньше.

### **Список использованных источников**

1. Удра И.Ф. Расселение растений и вопросы палео- и биогеографии. – Киев: Наукова думка, 1988. – 200 с.

2. Мельник Л.П. Естественное возобновление лиственницы европейской за пределами ареала при минимальном количестве семенников // Лесной вестник / Forestry Bulletin. – 2021. – Т. 25. – № 6. С. 39-44. DOI: 10.18698/2542-1468-2021-6-39-44

3. Мерзленко М.Д. В лесных дачах Центральной России. Природно-исторический экскурс: монография. 3-е изд., испр. и доп. – М.: ГОУ ВПО МГУЛ, 2009. – 273 с.

4. Мерзленко М.Д., Мельник П.Г. Опыт лесоводственного мониторинга в Никольской лесной даче. – М.: МГУЛ, 2015. – 112 с.



УДК 621.3.035.221.43:620.92

**Е.А. Гришкевич, П.Б. Кубрак**

Белорусский государственный технологический университет  
Минск, Беларусь

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОКАТАЛИТЕЧЕСКОЙ  
АКТИВНОСТИ ПИРОЛИТИЧЕСКОГО ГРАФИТА  
ДОПИРОВАННОГО БОРОМ ДЛЯ РЕАКЦИИ ПОЛУЧЕНИЯ  
ВОДОРОДА ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИМ МЕТОДОМ В КИСЛОЙ  
СРЕДЕ**

*Аннотация.* Главным недостатком электрохимического получения водорода в настоящее время являются высокая энергоемкость процесса. Разработка новых электродных материалов позволит улучшить работу электролизеров для получения водорода и кислорода, а также установок для электролиза морской воды, электродиализаторов.

**E.A. Grishkevich, P.B. Kubrak**

Belarusian State Technological University  
Minsk, Belarus

**INVESTIGATION OF ELECTROCATALYTIC ACTIVITY OF  
PYROLYTIC GRAPHITE DOPED WITH BORON FOR THE  
REACTION OF HYDROGEN PRODUCTION BY  
ELECTROCHEMICAL METHOD IN AN ACIDIC SOLUTION**

*Abstract.* The main disadvantage of the electrochemical production of hydrogen at present is the high energy intensity of the process. The development of new electrode materials will improve the operation of electrolyzers for the production of hydrogen and oxygen, as well as installations for the electrolysis of seawater, electrodialyzers.

Водородная энергетика – это одно из перспективных направлений в области альтернативной энергетики, которое базируется на использовании водорода в качестве основного источника энергии. Водород считается одним из самых чистых и экологичных видов топлива, поскольку при его сгорании образуется только вода. Это делает его идеальным для использования в транспортных средствах, промышленности и генерации электричества. Водород является возобновляемым источником энергии, так как его можно получать из различных источников, включая природный газ, биомассу и воду. При использовании возобновляемых источников энергии для получения водорода, водородная энергетика становится очень перспективной и устойчивой альтернативой традиционным источникам энергии. Также

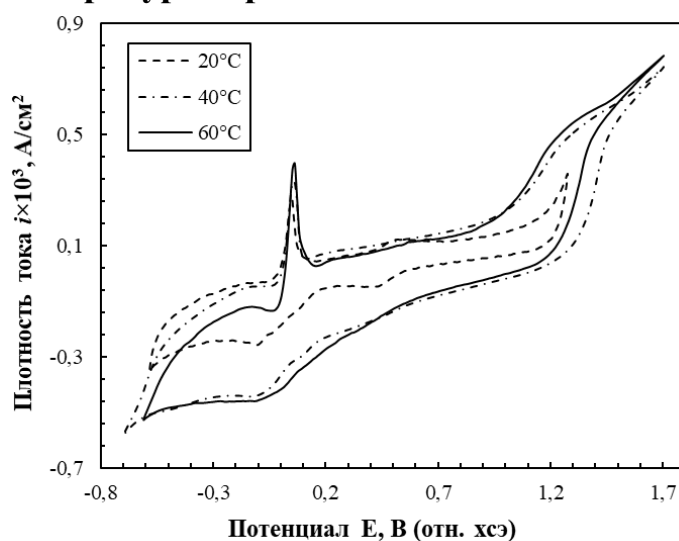
преимуществом является тот факт, что водород может быть использован для хранения энергии в виде сжатого газа или жидкого водорода. Это позволяет использовать газ в качестве резервного источника энергии при перебоях в электроснабжении или для обеспечения энергией удаленных районов. Одним из главных достоинств данного энергоносителя является его высокая энергетическая плотность, что позволяет использовать его для производства больших объемов энергии с минимальными затратами.

Однако в настоящее время технология производства водорода остается достаточно энергоемкой, поэтому актуальной становится разработка современных электродных материалов, обладающих высокой электрокаталитической активностью и низкой стоимостью. Данные электроды позволяют снизить себестоимость процесса электрохимического получения водорода и увеличить долю чистой энергетики в энергобалансе страны.

В данной работе исследовалась возможность использования пиролитического графита допированного бором в качестве электродного материала для получения водорода в кислых средах электрохимическим методом.

Объектом исследования являлся пиролитический графит допированный бором, свойства которого сравнивались с таковыми для платинового электрода. Исследования проводились в растворе серной кислоты с концентрацией  $\text{H}_2\text{SO}_4$  1 моль/л. Снятие поляризационных кривых выделения водорода проводили на потенциостат-гальваностате Autolab PGSTAT 302N в стандартной трехэлектродной ячейке при линейной скорости развертки 5 мВ/с. Площадь поверхности рабочего электрода составляла 1 см<sup>2</sup>. Электродом сравнения служил хлоридсеребряный электрод, а в качестве вспомогательного электрода использовался графит.

На рис. 1 представлены поляризационные кривые для исследуемого материала, полученные в потенциостатическом режиме при различных температурах среды.



**Рис. 1 – Поляризационные кривые, полученные в 1,0 М растворе H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>**

По результатам проведенных исследований было установлено, что при увеличении температуры наблюдается значительное снижение поляризации электрода при увеличении температуры от 20 °C до 60 °C, следовательно потенциал выделения водорода смещается в положительную сторону и облегчается разряд ионов водорода. Опытным путем определено, что температура 60 °C является оптимальной для исследуемого материала, так как при данных условиях выделение водорода протекает с наименьшим перенапряжением – 17 мВ. Кроме того, были рассчитаны катодные константы уравнения Тафеля  $a=0,38$  В и  $b=0,11$  В для поляризационной кривой, полученной на пиролитическом графите допированном бором при 60 °C. Для платинового электрода, при тех же условиях, константы уравнения Тафеля  $a$  и  $b$  равны 0,1 В и 0,03 В, а для никелевого – 0,63 В и 0,11 В соответственно. В соответствии с этим исследуемый материал характеризуется повышенными электрокаталитическими свойствами, параметры которых превосходят таковые для электродных материалов, используемых при электрохимическом получении водорода в современной технологии. При этом его активность оказалась меньшей чем для платины при прочих равных условиях. Поэтому с точки зрения экономики данный материал является перспективным при создании электролизеров для электрохимического производства водорода в кислых средах.

## Список использованных источников

1. Godula-Jopek A. Hydrogen Production: by Electrolysis / A. Godula-Jopek, D. Stolten. – USA: John Wiley & Sons, 2015. – 424 p. – Text: directly.
2. Lichtfouse E. Hydrogen Production and Remediation of Carbon and Pollutants / E. Lichtfouse, J. Schwarzbauer, D. Robert. – Switzerland: Springer International Publishing, 2015. – 290 p. – Text: directly.

УДК [550.371+530.12+530.145](082)

**Л.В. Грунская, С.М. Тихомиров, М.Ф. Хакимов, Л.С. Архипова**  
Владимирский государственный университет имени  
А.Г. Столетова и Н.Г. Столетова  
Владимир, Россия

### **ПРИРОДНЫЕ АНОМАЛИИ В ЭЛЕКТРОМАГНИТНОМ ПОЛЕ ЗЕМЛИ, ВОЗНИКАЮЩИЕ ПРИ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ И СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ**

*Аннотация.* На физическом экспериментальном полигоне ВлГУ проводятся исследования электромагнитного поля инфранизкочастотного диапазона в приземном слое атмосферы (ЭМПЗ) с целью изучения приливных процессов, сейсмических процессов, астрофизических явлений. Эти направления исследований осуществляются в условиях таких меняющихся факторов как метеоусловия и солнечная активность. Исследование характера влияния указанных факторов на ЭМПЗ позволяет повысить достоверность результатов изучаемых геофизических явлений.

**L.V. Grunskaya, S.M. Tikhomirov, M.F. Khakimov, L.S. Arhipova**  
Vladimir State University named after A.G. Stoletova and N.G.Stoletova  
Vladimir, Russia

### **NATURAL ANOMALIES IN THE EARTH'S ELECTROMAGNETIC FIELD THAT ARISE DURING METEOROLOGICAL PROCESSES AND SOLAR ACTIVITY**

*Abstract.* At the physical experimental site of VISU, studies of the electromagnetic field of the infra-low frequency range in the surface layer of the atmosphere (EMF) are being conducted in order to study tidal processes, seismic processes, and astrophysical phenomena. These areas of research are carried out under conditions of such changing factors as weather conditions and solar activity. Studying the nature of the influence of

*these factors on the EMF makes it possible to increase the reliability of the results of the geophysical phenomena being studied.*

### **Введение**

Научный руководитель проводимых исследований – профессор Л.В. Грунская. Работа связана с исследованием взаимосвязи электромагнитного поля пограничного слоя атмосферы Земли (ЭМПЗ) с геофизическими и астрофизическими процессами с помощью радиотехнических и радиофизических методов и средств.

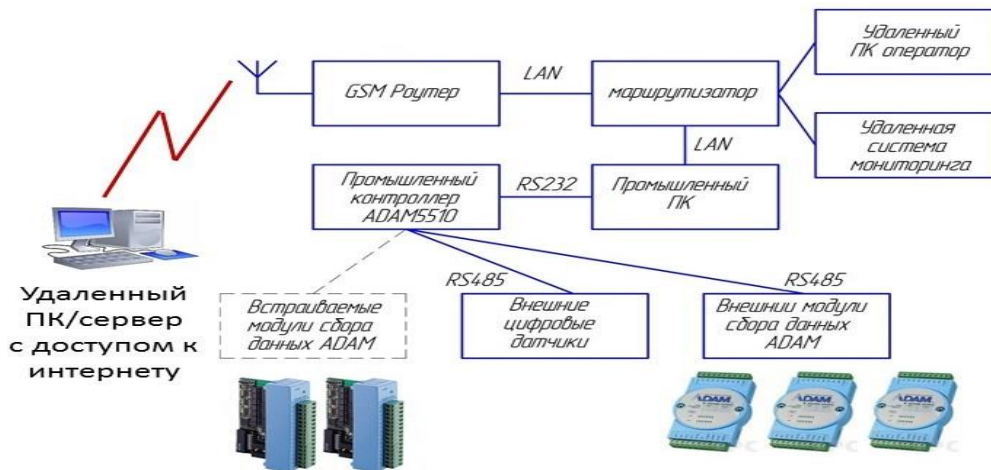
Атмосферно-электрические характеристики вблизи поверхности земли тесно связаны с глобальной грозовой активностью, приливными эффектами, метеорологическими явлениями, сейсмической и солнечной активностью, показателями здоровья человека [1-5]. На физическом экспериментальном полигоне с 1972 года проводятся работы по мониторингу вертикальной составляющей напряженности электрического поля приземного слоя атмосферы, компонент геомагнитного поля, метеофакторов.

Задачи проводимых исследований связаны с прогнозированием воздействия сейсмической активности на ЭМПЗ и выявлением предвестников; изучением приливных процессов геофизического и астрофизического происхождения. Анализ характера сигналов в ЭМПЗ, связанных с изучаемыми процессами, осуществляется в условиях таких меняющихся факторов как метеоусловия и солнечная активность.

Задача данных исследований связана с изучением характера влияния указанных факторов на ЭМПЗ, что позволит повысить достоверность выделяемых сигналов изучаемых процессов с помощью ЭМПЗ.

### **Приемно-регистрирующий комплекс физического полигона ВлГУ**

Система сбора данных мониторинга электрического поля приземного слоя атмосферы, геомагнитного поля, метеоданных разработана на кафедре общей и прикладной физики, представлена на рис. 1 и расположена на физическом экспериментальном полигоне в 50 км от Владимира в загородной зоне.



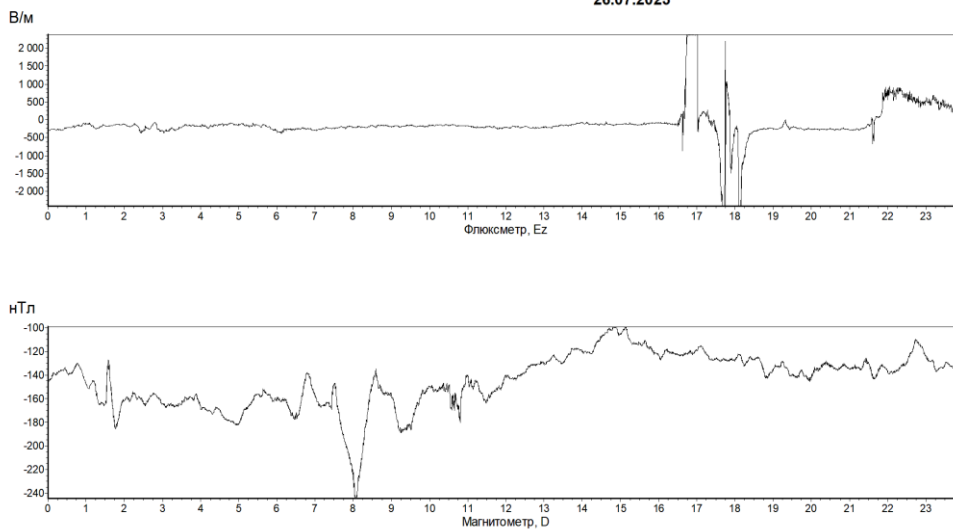
**Рис. 1 - Структура приемно-регистрирующей системы мониторинга на физическом полигоне ВлГУ с дистанционной передачей данных мониторинга**

Комплекс имеет характер телеметрии и работает в непрерывном режиме с 2000 года и предназначен для сбора и регистрации измеренной информации, поступающей с датчиков в виде стандартных аналоговых сигналов напряжения и силы постоянного тока, дискретных и цифровых сигналов. Вертикальная составляющая, напряженности электрического поля в приземном слое атмосферы Земли регистрируется с помощью разработанного и созданного в ВлГУ электростатического флюксметра. Мониторинг геомагнитного поля осуществляется магнитовариационной станции (МВС) на базе датчика «Кварц-7.1». МВС предназначена для проведения измерений вариаций в аналоговом виде данных D - составляющей геомагнитного поля Земли. Метеоданные регистрируются цифровой метеостанцией (температура, давление, влажность).

### **Вариации электромагнитного поля Земли в инфранизкочастотном диапазоне при воздействии метеофакторов**

На рис. 2 приведен пример суточных записей электрического и геомагнитного полей на полигоне ВлГУ в условиях грозы с ливневым дождем с 16 часов и до конца дня 26.07.23. На записи электрического поля зарегистрировано искажение в виде амплитудных скачков в диапазоне 2000 В/м до -2000 В/м. В геомагнитном поле зарегистрировано нарушение типичного для D компоненты периодического характера вариаций с резким изменением уровня поля до -100 нТл в 8 часов.

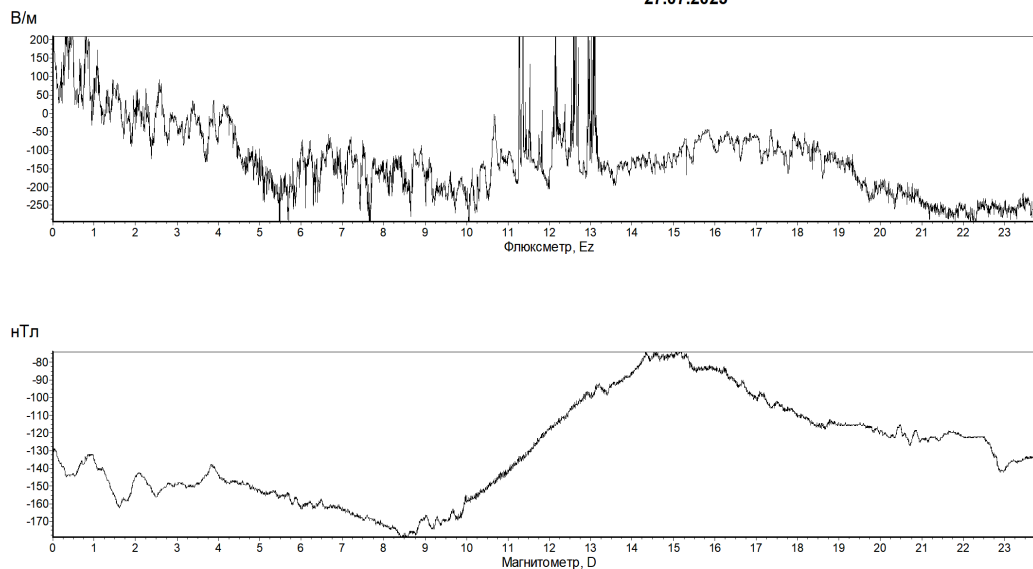
Данные мониторинга электромагнитного поля Земли на экспериментальном полигоне ВлГУ  
26.07.2023



**Рис. 2 - Синхронные записи геомагнитного поля (компонента D) и электрического поля (Ez) по результатам мониторинга станции ВлГУ. Гроза с ливневым дождем с 16 часов и ливневые дожди до конца дня**

На рис. 3 представлен характер суточных записей на следующий день в условиях спокойной метеобстановки. В геомагнитном поле восстановлен периодический характер вариаций.

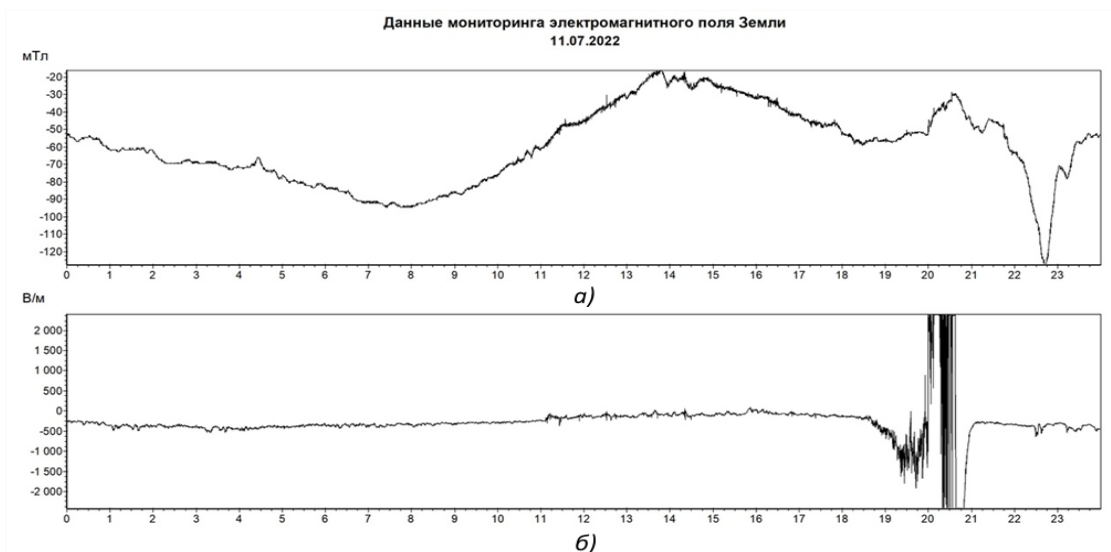
Данные мониторинга электромагнитного поля Земли на экспериментальном полигоне ВлГУ  
27.07.2023



**Рис. 3 - Синхронные записи геомагнитного поля (компонента D) и электрического поля (Ez) по результатам мониторинга станции ВлГУ, 26.07.2023.**

На рис. 4 приведен пример суточных записей в условиях «сухой» грозы – без дождя. Во время грозовых разрядов скачки напряженности

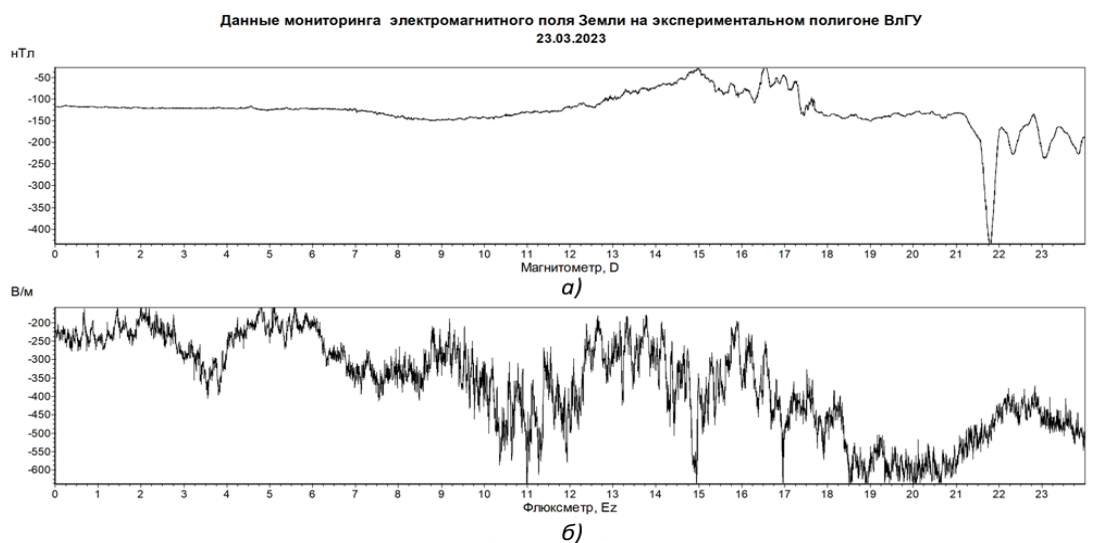
электрического поля выходят за пределы от 2000 В/м до -2000 В/м. В геомагнитном поле также наблюдается скачок до -120 нТл.



**Рис. 4 - Суточные записи геомагнитного поля 11.07.22 (а-компонента D, мТл) и электрического поля (б-Ez,В/м), полигон ВлГУ; гроза без осадков с 18.00 до 21.00.**

### **Вариации электромагнитного поля приземного слоя атмосферы во время солнечных магнитных бурь**

На рис.5 приведен пример синхронных суточных записей электрического и геомагнитного поля по данным станции ВлГУ в условиях сильной магнитной бури уровня G3-G423.03.23. Усиление магнитной бури до G3 отмечалось с 15ч.00м. до 24ч.00м.



**Рис. 5 - Синхронные суточные записи геомагнитного поля (а-компонента D,нТл) и электрического поля (б-Ez,В/м) по результатам мониторинга станции ВлГУ; магнитная буря уровня G3 с 15ч.00м. до 24ч.00м. 23.03.23.**



На рис.6 приведен пример воздействия на Землю магнитной бури, явившейся результатом вспышки на солнце 21 апреля 2023г.



**Рис.6 - Синхронные суточные записи геомагнитного поля (компонента D) и электрического поля ( $E_z$ ) по результатам мониторинга станции ВлГУ. Магнитная буря класса G3 и G4 от вспышки до 15 часов.**

Особенность вспышки - наблюдалась почти точно на линии Солнце-Земля. Магнитная буря возникла на Земле 24.04.23, магнитная буря класса G3 и G4 от вспышки до 15 часов. И в электрическом и особенно в геомагнитном поле наблюдаются аномалии в записях в виде резких выбросов в геомагнитном поле и снижением уровня напряженности электрического поля.

### Выводы

Проводимые исследования показывают, что такие метеофакторы, как дождь, снег, грозовая активность, высокая солнечная активность проявляются в записях как вертикальной составляющей электрического поля приземного слоя атмосферы, так и в геомагнитном поле в виде резкого изменения характера записей как скачкообразного характера, так и в виде нарушения периодичности вариаций (в геомагнитном поле).

Данные исследования позволят более точно дифференцировать влияние исследуемых геофизических и астрофизических процессов в инфранизкочастотном диапазоне электромагнитного поля Земли и сопутствующие изменения метеоусловий и солнечной активности.

## Список использованных источников

1. Грунская Л.В. Оценка параметров электрического поля приземного слоя атмосферы на основе метода корреляционного прием: Монография / Л.В. Грунская. - Владимир: Владимирский государственный университет 2010. – 123 с.
2. Грунская Л.В., Сушкова Л.Т. Методы и средства диагностики природной среды // Медицинская техника, 2021.- №1(325) Москва, изд-во «Международное НТО приборостроителей и метрологов». - с.42-44.
3. Грунская Л.В. Мобильный приемно-регистрирующий комплекс для мониторинга электромагнитного поля приземного слоя атмосферы // Проектирование и технология электронных средств. – 2005. – № 2. – С. 69 – 74.
4. Грунская Л. В., Морозов В. Н., Ефимов В. А., Золотов А.Н., Рубай Д. В., Закиров А. А. Мониторинг электромагнитных полей пограничного слоя атмосферы Земли // Монография Издатель: Germany, LAPLAMBERTAcademicPublishing. – ISBN: 978-3-659-32919-7. -2013 г, 192 с.
5. Грунская Л.В. Геофизика и биоритмы / Учебное пособие. Часть I. Владим.гос.ун-т; сост. Л.В.Грунская. – Владимир: Изд-во Владим. Гос. ун-та, 2018. –176с.

УДК 627.157

**Е.Ю. Дорожко**

Институт природопользования Национальной академии наук Беларуси  
Минск, Беларусь

## **ГЕОТЕКСТИЛЬНОЕ ТУБИРОВАНИЕ КАК МЕТОД ПО СНИЖЕНИЮ УГЛЕРОДНОГО СЛЕДА ПРИ ОБЕЗВОЖИВАНИИ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ВОДОХРАНИЛИЩ**

*Аннотация.* В настоящее время большое внимание научного сообщества уделяется проблеме Глобального потепления. Один из антропогенных источников метана – это водохранилища. В данной статье описана высокоэффективная технология по обезвоживанию донных отложений водохранилищ, которая предусматривает использование потенциала донных отложений.

**E.Y. Dorozhko**

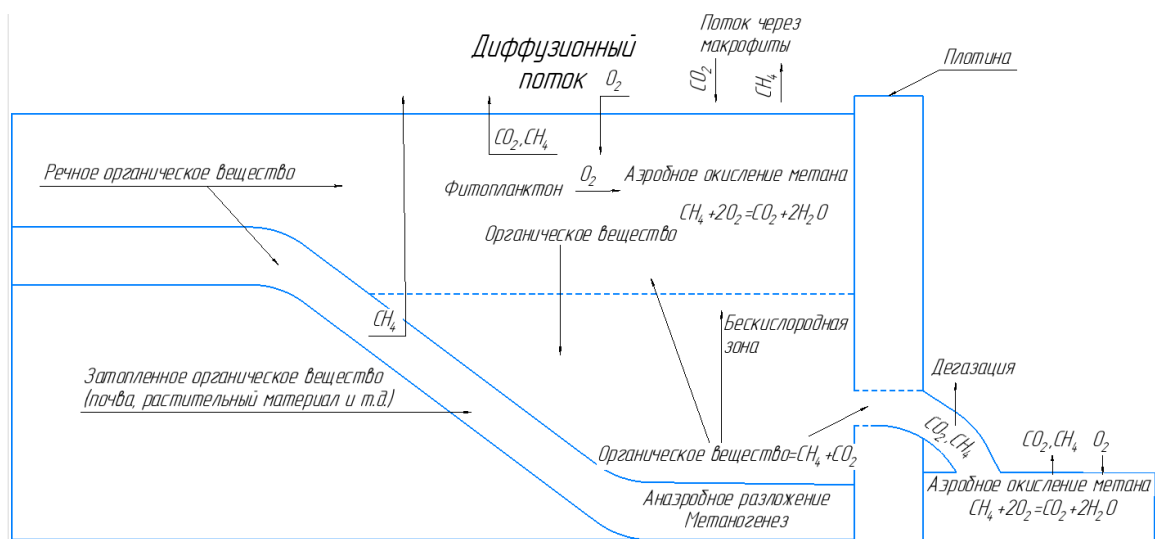
The Institute for Nature Management of the National academy of sciences of Belarus  
Minsk, Belarus

## **GEOTEXTILE TUBING AS A METHOD FOR REDUCING THE CARBON FOOTPRINT DURING THE DEWATERING OF BOTTOM SEDIMENTS IN RESERVOIRS**

*Abstract. The issue of global warming is currently receiving much attention from the scientific community. One of the anthropogenic sources of methane is reservoirs. This article describes a highly effective technology for the dewatering of bottom sediment reservoirs, which involves the use of the potential of bottom sediments.*

Как известно, основная причина возникновения парникового эффекта, приводящего к росту температур на планете, это парниковые газы. Один из основных парниковых газов – метан. Хотя его содержание в атмосфере невелико, его потенциал глобального потепления в 72 раза выше, чем у CO<sub>2</sub>, поэтому даже небольшие изменения его концентрации в атмосфере могут привести к усилению парникового эффекта [1]. Источники поступления метана в атмосферу могут быть как природные (океан, болота, озера, леса), так и антропогенные (свалки, рисовые поля, крупный рогатый скот). В природе метан очень интенсивно образуется в илах водоемов в результате сложных процессов бактериального разложения органического вещества. Поэтому важный антропогенный источник поступления метана в атмосферу – это водохранилища. Эмиссия CH<sub>4</sub> с поверхности водохранилищ мира оценивается в 5–10% от общей эмиссии в атмосферу [2].

Эмиссия метана из донных отложений водохранилищ является значительной проблемой, которая может иметь негативное воздействие на окружающую среду и климат. Донные отложения водохранилищ содержат большое количество органического материала, который подвергается биологическому разложению в анаэробных условиях. В результате этого процесса образуется метан, который затем выделяется в атмосферу (рис.1).



**Рис.1 -Схема распределения потоков метана в водохранилище**

Существует несколько факторов, которые могут влиять на уровень эмиссии метана из донных отложений водохранилищ. Один из таких факторов – температура воды и донного грунта. Повышение температуры способствует активации бактерий, ответственных за разложение органического материала и образование метана. Также влияние на эмиссию метана оказывает уровень кислорода в воде. В условиях низкого содержания кислорода происходит биологический процесс, называемый анаэробным разложением, который приводит к образованию метана [3].

Одним из методов снижения эмиссии метана из донных отложений водохранилищ является очистка водных объектов от образовавшихся донных отложений. Очистка водохранилищ от донных отложений не только снижает образование метана, но также может улучшить качество воды, предупреждая загрязнение. Однако, выбор методов очистки должен основываться на специфических условиях каждого водохранилища и оценке их возможных эффектов на биологическое разнообразие и экосистемные функции [4].

Дальнейшее использование донных отложений ограничено высоким содержанием влаги. В настоящее время применяются следующие методы по обезвоживанию донных отложений – с применением иловых площадок, механическое обезвоживание и геотекстильное тубирование.

Иловые площадки – это специальные конструкции, предназначенные для разделения отложений на твердую и жидкую фазы. Иловая площадка состоит из системы каналов, шлюзов и фильтров, которые позволяют управлять потоком и осаждают твердые

частицы. Жидкая фаза стекает через фильтры, а твердые частицы остаются на иловой площадке. Этот метод позволяет эффективно высушивать донные отложения и получать сухой осадок. Однако, в настоящее время использование иловых площадок ограничено ввиду большого отчуждения территорий и вторичного загрязнения грунтов и прямой эмиссии метана из донных осадков.

Механическое обезвоживание – это процесс разделения жидкой и твердой фаз отложений с помощью механических устройств. Наиболее часто используемым оборудованием для этого метода является фильтр-пресс. Отложения подвергаются высокому давлению, что позволяет отделять жидкость от твердой фазы. Полученный осадок может быть высушен или дальше обработан. Применение ограничено ввиду больших эксплуатационных затрат.

Геотекстильное тубирование – это метод, при котором используется геотекстильные трубы для обезвоживания донных отложений. Геотекстильные трубы размещаются на дне водоема, а с помощью насосов жидкость подается через трубы в специальные контейнеры для осушения. Твердые частицы остаются в контейнерах, а жидкость стекает обратно в водоем. Данный метод позволяет удалить влагу из отложений и снизить их объем.

Каждый из этих методов имеет свои преимущества. Иловые площадки удобны в использовании и позволяют получить сухой осадок без использования специализированного оборудования. Механическое обезвоживание позволяет получить высокую степень высушивания и обработать большие объемы отложений. Геотекстильное тубирование также эффективно удаляет влагу из донных отложений, особенно в труднодоступных местах. Однако, каждый из этих методов имеет свои ограничения.

Таким образом, наиболее приемлемой технологией является геотубирование донных отложений в геотекстильных контейнерах, которая позволяет как обезвоживать донные отложения, так и в перспективе использовать метан, образующийся при обезвоживании донных отложений в контейнер.

При обезвоживании донных отложений происходит выделение метана, который накапливается внутри геотекстильных контейнеров. Он загоняется в специальный сборный бак, где проводится его сбор и накопление. Далее метан может быть использован в различных сферах деятельности.

Одной из возможных областей использования метана является производство энергии. Методы переработки метана позволяют его использовать в качестве топлива для генерации электроэнергии. Для

этого метан сжимается и отправляется в специальные электростанции, оборудованные газовыми турбинами или двигателями внутреннего сгорания. Полученная энергия может быть использована для питания различных устройств и механизмов.

Кроме того, метан может быть использован в качестве сырья для химической промышленности. Он может служить исходным материалом для производства различных органических соединений, таких как метанол, формальдегид, уксусная кислота и прочее. Эти вещества широко применяются в производстве пластмасс, лакокрасочных материалов, текстильной и пищевой промышленности.

Таким образом, использование метана, образованного при обезвоживании донных отложений в геотекстильных контейнерах, является эффективным способом его переработки. Это позволяет не только предотвратить выход метана в атмосферу, но и получить ценную энергию или использовать его в химической промышленности [5].

Таким образом, преимущества использования метана, образованного при обезвоживании донных отложений в геотекстильных контейнерах, очевидны. Во-первых, это позволяет снизить выбросы метана в атмосферу, что имеет положительное влияние на борьбу с глобальным потеплением. Во-вторых, использование метана в качестве альтернативного источника энергии помогает снизить зависимость от традиционных источников энергии, таких как уголь и нефть, и тем самым способствует решению энергетических проблем. Кроме того, этот метод является экономически эффективным, поскольку позволяет сократить расходы на энергию и уменьшить затраты на обслуживание и содержание водохранилищ.

### **Список использованных источников**

1. World Bank. Greenhouse Gases from Reservoirs Caused by Biogeochemical Processes [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/29151>. – Дата доступа: 25.10.2023.
2. Федоров, Ю.А. Метан в водных экосистемах / Ю.А. Федоров, Н.С. Тамбиев, Д.Н. Гарькуша. – Ростов: Ростовский Государственный Университет, 2005. – 329 с.
3. Алекин, О. А. Основы гидрохимии / О. А. Алекин. – Л: Гидрометеоиздат. – 40 с.

4. Gulati R.D. Lake restoration studies: failures, bottlenecks and prospects of new ecotechnological measures / R. D. Gulati, L. M. D. Pires, E Van Donk // *Limnologica*. – 2008. – Vol. 38. – P. 233–247.

5. Jansen J.B. Global increase in methane production under future warming of lake bottom waters / J.B. Jansen // *Global change biology*. – 2022. – Vol. 28. – №. 18. – P. 5427-5440.

УДК 504.4.062.2

**С.А. Дубенок<sup>1</sup>, Ю.В. Голод<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Белорусский национальный технический университет

<sup>2</sup>РУП «Центральный научно-исследовательский институт комплексного использования водных ресурсов»

Минск, Беларусь

**КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД В РЕШЕНИИ ЗАДАЧ ЦУР 6  
«ОБЕСПЕЧЕНИЕ НАЛИЧИЯ И РАЦИОНАЛЬНОЕ  
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ И САНИТАРИИ ДЛЯ  
ВСЕХ», СВЯЗАННЫХ С СОКРАЩЕНИЕМ ОБЪЕМОВ СБРОСА  
НЕДОСТАТОЧНО ОЧИЩЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД В  
ПОВЕРХНОСТНЫЕ ВОДНЫЕ ОБЪЕКТЫ**

*Аннотация.* Задача сокращения сброса недостаточно очищенных сточных вод является одной из приоритетных в области использования и охраны вод в Беларуси. Решение этой задачи возможно только путем реализации комплекса институциональных, научных и технических мероприятий на межведомственном уровне.

**S.A. Dubenok<sup>1</sup>, Y.V. Holad<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Belarusian National Technical University

<sup>2</sup>Central Research Institute for Complex Use of Water Resources  
Minsk, Belarus

**AN INTEGRATED APPROACH TO SOLVING THE TASKS  
OF SDG 6 "ENSURE ACCESS TO WATER AND SANITATION  
FOR ALL" RELATED TO REDUCING THE DISCHARGE OF  
INSUFFICIENTLY TREATED WASTEWATER INTO SURFACE  
WATER BODIES**

*Abstract.* The task of reducing the discharge of insufficiently treated wastewater is one of the priorities in the field of water use and protection in Belarus. The solution of

*this problem is possible only through the implementation of a set of institutional, scientific and technical measures at the interdepartmental level.*

Принятие Генеральной Ассамблеей ООН резолюции A/RES/70/1 от 25 сентября 2015 г. под названием «Преобразование нашего мира: Повестка дня в области устойчивого развития на период до 2030 года» [1] дало новый толчок реализации международных экологических инициатив по достижению целей устойчивого развития (ЦУР).

В Республике Беларусь также активно ведутся работы по реализации ЦУР, в том числе и экологической направленности.

ЦУР 6 «Обеспечение наличия и рациональное использование водных ресурсов и санитарии для всех» является комплексным многозадачным подходом к устойчивому использованию водных ресурсов на национальном, региональном и международном уровне и включает 8 задач и 11 показателей (по 1-2 для каждой задачи), которые позволяют оценить текущий прогресс достижения каждой задачи. Необходимо отметить, что все 8 задач признаны актуальными для Республики Беларусь, соответственно, все 11 показателей должны использоваться для мониторинга достижения ЦУР 6 на национальном уровне и предоставления национальных данных по прогрессу достижения страной ЦУР 6 на международный уровень [2].

Одной из задач в составе ЦУР 6 является задача 6.3 «К 2030 году повысить качество воды посредством уменьшения загрязнения, ликвидации сброса отходов и сведения к минимуму сбросов опасных химических веществ и материалов, сокращения вдвое доли неочищенных сточных вод и значительного увеличения масштабов рециркуляции и безопасного повторного использования сточных вод во всем мире». Успешность реализации задачи 6.3 ЦУР 6 оценивается через прогресс двух целевых показателей:

- показатель 6.3.1 «Доля безопасно очищаемых сточных вод»;
- прокси-показателя 6.3.2.1 «Доля поверхностных водных объектов, которым присвоен «хороший» и выше экологический (гидробиологический) статус».

Показатель 6.3.1 «Доля безопасно очищаемых сточных вод» является одним из основных показателей ЦУР 6 и дает возможность оценить тенденции по снижению поступления загрязнений в водные объекты в составе сточных вод и эффективность работы очистных сооружений сточных вод.

В соответствии с Водным кодексом Республики Беларусь сброс сточных вод в окружающую среду с применением гидротехнических сооружений и устройств, в том числе через систему дождевой



канализации, а также сброс сточных вод в окружающую среду после очистки на сооружениях биологической очистки в естественных условиях (на полях фильтрации, полях подземной фильтрации, в фильтрующих траншеях, песчано-гравийных фильтрах) относится к специальному водопользованию и осуществляется на основании разрешений на специальное водопользование или комплексных природоохранных разрешений (КПР), выдаваемых территориальными органами Минприроды. При этом водопользователь обязан осуществлять учет сточных вод, сбрасываемых в окружающую среду и ежегодно заполнять статистическую отчетность по форме 1-вода (Минприроды), в которой отражается объем сброса сточных вод по каждому выпуску сточных вод с разбивкой по следующим категориям:

- без предварительной очистки (качество сточной воды позволяет сбрасывать ее в поверхностный водный объект без предварительной очистки);

- недостаточно очищенной (сброс сточных вод с нарушением действующего законодательства, в том числе в результате аварийного сброса, либо содержание загрязняющих веществ в сточной воде превышает нормативы допустимого сброса химических и иных веществ в составе сточных вод, установленные в разрешениях на специальное водопользование или КПР);

- нормативно очищенной (сброс сточных вод, содержание загрязняющих веществ в которых не превышает нормативы допустимого сброса химических и иных веществ в составе сточной воды, установленные в разрешениях на специальное водопользование или КПР).

Таким образом, статистическая отчетность водопользователей является исходной информационной базой для расчета показателя и, соответственно, он может быть рассчитан на любом уровне агрегации: по республике в целом, по областям и г. Минску, по речным бассейнам, по видам экономической деятельности.

Показатель 6.3.1 определяется, как отношение суммы всех типов сточных вод, сброшенных в поверхностные водные объекты без превышения нормативов допустимых сбросов химических и иных веществ (нормативно чистые и нормативно очищенные сточные воды), установленных в разрешениях на специальное водопользование или КПР, ко всему объему сточных вод, сброшенных в поверхностные водные объекты.

Динамика показателя 6.3.1 по Республике Беларусь за 2016-2022 гг. приведена в таблице.

**Таблица - Динамика показателя 6.3.1 по Республике Беларусь за 2016-2022 гг.**

№ п/п	Показатель	Единица измерения	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
1	Сброс воды в поверхностные водные объекты	млн м <sup>3</sup> /год	1048,44	1052,68	1033,97	1019,11	1033,89	1133,95	1120,68
1.1	без предварительной очистки	млн м <sup>3</sup> /год	339,13	354,02	340,90	325,84	338,65	386,27	380,91
1.2	нормативно очищенной	млн м <sup>3</sup> /год	702,98	694,40	689,07	689,21	692,57	745,33	736,97
1.3	недостаточно очищенной	млн м <sup>3</sup> /год	6,34	4,27	4,00	4,06	2,67	2,34	2,81
	<b>Показатель 6.3.1</b>	<b>%</b>	<b>99,40</b>	<b>99,59</b>	<b>99,61</b>	<b>99,60</b>	<b>99,74</b>	<b>99,79</b>	<b>99,75</b>

В целом, объем сброса недостаточно очищенных сточных вод по Республике Беларусь составляет менее 1% от общего объема сточных вод, сброшенных в поверхностные водные объекты. При этом распределение данного показателя в разрезе видов экономической деятельности указывает, что основной объем недостаточно очищенных сточных вод (более 80%) в поверхностные водные объекты поступает от предприятий жилищно-коммунального хозяйства (ЖКХ) и водопроводно-канализационного хозяйства (ВКХ), обслуживающих очистные сооружения населенных пунктов.

На очистные сооружения населенных пунктов поступают городские сточные воды, которые представляют собой смесь хозяйственно-бытовых и производственных, а также поверхностных сточных вод (при отсутствии централизованных систем дождевой канализации).

Система водоотведения населенных пунктов в Республике Беларусь формировалась в основном в период 1960-80-х гг. и большинство действующих очистных сооружений сточных вод населенных пунктов по техническим и экономическим причинам не обеспечивают требуемую эффективность очистки сточных вод перед их сбросом в поверхностные водные объекты.

В текущий период основную нагрузку на большинство очистных сооружений населенных пунктов оказывают производственные сточные воды предприятий, доля которых от общего поступления сточных вод на приёмную камеру очистных сооружений в отдельных городах достигает 70-75%. В составе производственных сточных вод фиксируется большой перечень загрязняющих веществ и показателей и широкий диапазон изменения их концентраций.

В настоящее время общие требования по установлению допустимых концентраций загрязняющих веществ и показателей

регламентированы Правилами пользования централизованными системами водоснабжения, водоотведения (канализации) в населенных пунктах [4]. При этом отсутствуют методические подходы к расчету допустимых концентраций загрязняющих веществ и показателей, учитывающие условия формирования сточных вод, поступающих на очистные сооружения, фактическую эффективность работы очистных сооружений населенных пунктов и допустимые концентрации, установленные для предприятий ВКХ (ЖКХ) на выпусках сточных вод с этих очистных сооружений в поверхностные водные объекты.

Учитывая вышеизложенное, для успешного выполнения задачи 6.3.1 ЦУР 6 по сокращению сброса недостаточно очищенных сточных вод в поверхностные водные объекты должен быть реализован комплекс следующих институциональных, научных и технических мероприятий:

- совершенствование технологий очистки сточных вод на очистных сооружениях населенных пунктов путем их модернизации и реконструкции;

- совершенствование национального законодательства в части нормирования поступления загрязняющих веществ в составе производственных сточных вод от предприятий в централизованные системы канализации населенных пунктов.

### **Список использованных источников**

1. Официальный сайт Конференции ООН по торговле и развитию [Электронный ресурс]: [http://unctad.org/meetings/en/SessionalDocuments/ares70d1\\_ru.pdf](http://unctad.org/meetings/en/SessionalDocuments/ares70d1_ru.pdf). Дата доступа: 11.11.2023.

2. Дубенок С. А. Имплементация показателей Целей устойчивого развития, связанных с водой: опыт Республики Беларусь / С. А. Дубенок, А. Ю. Кулаков. – Минск: Четыре четверти, 2020. – 124 с.

3. Государственный водный кадастр [Электронный ресурс] // Официальный сайт РУП «Центральный научно-исследовательский институт комплексного использования водных ресурсов»: <http://www.cricuwr.by>. Дата доступа: 11.11.2023.

4. Об утверждении Правил пользования централизованными системами водоснабжения, водоотведения (канализации) в населенных пунктах [Электронный ресурс]: постановление Совета Министров Респ. Беларусь, 30 сен. 2016 г., № 788 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. –Режим доступа: <https://ilex-private.ilex.by/view-document/BELAW/193587/#M100939>. Дата доступа: 11.11.2023.

## **СОВРЕМЕННЫЕ МЕЖДУНАРОДНЫЕ ПОДХОДЫ ПО УПРАВЛЕНИЮ ПОВЕРХНОСТНЫМИ СТОЧНЫМИ ВОДАМИ НА ТЕРРИТОРИЯХ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ И ВОЗМОЖНОСТИ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ В БЕЛАРУСИ**

*Аннотация.* В настоящее время возникает потребность в использовании «зелёной» и «синей» инфраструктур в городах, поскольку вследствие застроенных площадей и неправильного управления поверхностными сточными водами возникает множество проблем в городах.

**S.A. Dubenok, K.N. Shaveiyko**

Belarusian National Technical University  
Minsk, Belarus

## **MODERN INTERNATIONAL APPROACHES TO SURFACE WASTEWATER MANAGEMENT IN POPULAR AREAS AND THE POSSIBILITIES OF THEIR APPLICATION IN BELARUS**

*Abstract.* Currently, there is a need to use “green” and “blue” infrastructures in cities, because due to built-up areas and improper management of surface wastewater, many problems arise in cities.

В Европейском Союзе уже в начале 2000-х гг. проблеме обращения с поверхностными сточными водами начали уделять повышенное внимание. Рамочная водная директива ЕС 2000/60 [1] закрепляет для стран ЕС необходимость достижения хорошего и отличного экологического статуса всех водных объектов. Согласно Директиве, достижение такого статуса осуществляется в результате реализации планов управления речными бассейнами, которые должны предусматривать перечень водных объектов, подверженных риску недостижения хорошего и отличного экологического статуса, а также конкретные меры по его достижению. К основным мерам, как правило относятся, мероприятия по снижению уровня загрязнения водных объектов, в том числе и за счёт поступления поверхностных точных вод с территорий населенных пунктов.

Директива ЕС 2007/60/ЕС об оценке и управлении рисками, связанными с наводнениями [2] предписывает разработку планов по управлению рисками, связанными с наводнениями, для каждого отдельного речного бассейна, а также необходимость проведения

предварительной оценки рисков наводнений на всей территории страны, связанных в том числе с дождевыми паводками.

В 2002 г. Комиссия по защите морской среды Балтийского моря (HELCOM) разработала рекомендацию № 23/5-2002 «О сокращении сбросов с городских районов путем надлежащего управления дождевыми системами» [3]. Документ определил и закрепил такие понятия, как «зеленая» и «синяя» инфраструктура. «Зеленая» инфраструктура представляет собой спланированные территории с использованием разной растительности в сооружениях для отвода и удержания дождевых вод (биодренажные каналы, проницаемые поверхности, траншеи для зеленых насаждений, дождевые сады, плантаторы для дождевых вод и др.). «Синяя» инфраструктура ориентирована на присутствие воды в общественных пространствах города в виде различных гидротехнических сооружений, максимально близких к естественным водным объектам, и интегрированных в городские территории («дождевые ручьи», кюветы, водоотводящие каналы, фильтрационные колодцы и др.).

В странах ЕС активно инвестируются средства в «зеленую» и «синюю» инфраструктуру для создания возможности улавливать воду там, где она выпадает, и использовать ее как ресурс до того, как она превратится в сточные воды. Следовательно, наземная система управления дождевыми водами играет более важную роль, чем подземная (сети канализации), и при этом наземные и подземные системы интегрированы. Все это позволяет повысить устойчивость городов к экстремальным погодным и климатическим явлениям.

Сети общесплавной канализации, зачастую, трудно разделить в уже сформировавшейся городской среде из-за отсутствия достаточного количества места и высоких экономических затрат по их перекладе в условиях интенсивной застройки, как на поверхности, так и в виде подземных коммуникаций. Однако неправильное управление поверхностными сточными водами в городах является основным источником поступления в водные объекты значительного количества загрязнений: песка, плавающего мусора, органических загрязнений (соединения азота и фосфора), тяжелых металлов (свинец, цинк, кадмий).

Таким образом, в странах ЕС в настоящее время определена необходимость применения комплексного подхода к управлению поверхностными сточными водами в черте населенных пунктов с учетом как количества, так и качественного состава.

В рамках исследования проведен анализ значительного количества информационных ресурсов стран ЕС, США, Канады,

содержащих теоретические знания и практические решения по реализации принципов «зелёной» и «синей» инфраструктуры в городах. При этом основное внимание было уделено возможности применения «зелёной» и «синей» инфраструктуры на территориях, близких по климатическим особенностям к Республике Беларусь. Например, «зелёной» инфраструктурой активно пользуются в таких городах как Хельсинки, Рига, Стокгольм, Берлин, Оттава, Торонто и др.

Одним из перспективных направлений мировой практики по обращению с поверхностными сточными водами является подход Low Impact Development (LID) или «развитие с низким уровнем воздействия», широко реализуемый в США и Канаде [4]. Это инновационный комплексный подход к управлению дождевыми сточными водами, базовый принцип которого смоделирован по образцу природы: управлять осадками на территории их образования с помощью равномерно распределённых экономически эффективных ландшафтных элементов. Основная цель LID - имитировать естественные гидрологические процессы участка перед застройкой, используя методы проектирования, которые фильтруют, накапливают, испаряют и задерживают дождевые и талые воды в пределах территории их формирования. Методы основаны на предположении, что управление дождевой сточной воды не следует рассматривать как удаление дождевых вод с территории их образования. Вместо сбора, транспортировки и очистки дождевых и талых вод на крупных очистных сооружениях, расположенных в нижней части больших зон канализования на уровне отдельных городских районов, LID решает проблему дождевых и талых вод с помощью небольших экономичных элементов ландшафта, расположенных в пределах небольших зон канализования.

Анализ применяемых технологических решений по управлению дождевыми и талыми водами показывает, что наиболее часто реализуемыми проектными решениями в части «зелёной» инфраструктуры в городах, схожих в климатическом отношении с белорусскими, являются зелёные крыши и зелёные стены, дождевые сады, дренажные покрытия тротуаров и парковок, плантаторы для дождевых вод, биодренажные каналы.

В части «синей» инфраструктуры широко применяются биофильтрационные установки (инженерные сооружения, имитирующие естественный гидрологический процесс фильтрации), водоотводные каналы и дождевые ручьи, бассейны аккумуляции (различные инженерные сооружения по сбору дождевых вод с

возможностью их последующего использования или сброса через дождевую канализацию в период отсутствия осадков).

В настоящее время применение элементов «зеленой» и «синей» инфраструктуры в Беларуси затруднено, так как, прежде всего, отсутствуют соответствующие решения в национальном законодательстве. Существующая практика проектирования и строительства дождевой канализации показывает, что централизованные системы дождевой канализации в населенных пунктах Беларуси организуются через максимальное асфальтирование площади водосбора поверхностного стока и укладку закрытых дождевых коллекторов для транспортирования поверхностных сточных вод по уклону местности, зачастую без очистки или с минимальной механической очисткой, в поверхностные водные объекты.

Проведенный анализ международного опыта внедрения различных технических решений по обращению с поверхностными сточными водами, образующимися на территориях городов, позволил выделить три основные задачи, решение которых будет способствовать развитию данного направления в Беларуси:

- совершенствование национального законодательства по обращению с поверхностными сточными водами в населенных пунктах;

- формирование набора типовых проектных решений, которые могут быть реализованы с учётом различных климатических, гидрогеологических, ландшафтных и иных условий;

- формирование национальной базы практических решений по управлению поверхностными водами в городах по мере их реализации на территории страны.

Совершенствование национального законодательства по обращению с поверхностными сточными водами в населенных пунктах необходимо проводить комплексно, поскольку помимо законодательства в области архитектурной, градостроительной и строительной деятельности затрагиваются вопросы законодательства в области охраны окружающей среды и законодательства в области санитарно-эпидемиологического благополучия населения.

Формирование набора типовых проектных решений может быть осуществлено путем анализа лучших международных практик и технических решений по обращению с поверхностными сточными водами, выбранных по совокупности заранее определенных и согласованных всеми заинтересованными органами госуправления критериев по их применению.

Формирование национальной базы практических решений по управлению поверхностными водами в городах по мере их реализации на территории страны является важной информационной основой для продвижения данного направления и может быть реализовано в виде общедоступного Интернет-ресурса, включающего как теоретические (законодательные, научно-методические, исследовательские), так и практические вопросы обращения с поверхностными сточными водами.

Только комплексный всесторонний подход к проблеме обращения с поверхностными сточными водами населенных пунктов позволит максимально эффективно с экологической и экономической точки зрения осуществлять планирование и развитие современной городской инфраструктуры.

### **Список использованных источников**

1. Рамочная водная директива ЕС 2000/60 [Электронный ресурс] // <http://www.cabri-volga.org/DOC/WaterCode/WFD-Russian1.html> Дата доступа: 25.10.2023

2. Директива ЕС 2007/60/ЕС об оценке и управлении рисками, связанными с наводнениями [Электронный ресурс] // [https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%94%D0%B8%D1%80%D0%B5%D0%BA%D1%82%D0%B8%D0%B2%D0%B0\\_2007/60/%D0%95%D0%A1](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%94%D0%B8%D1%80%D0%B5%D0%BA%D1%82%D0%B8%D0%B2%D0%B0_2007/60/%D0%95%D0%A1) Дата доступа: 25.10.2023

3. Рекомендация № 23/5-2002 «О сокращении сбросов с городских районов путем надлежащего управления дождевыми системами» [Электронный ресурс] // [https://www.bsrwater.eu/sites/bsrw/files/rekomendacii\\_livnevye\\_vody\\_bsr\\_water\\_v2\\_print.pdf](https://www.bsrwater.eu/sites/bsrw/files/rekomendacii_livnevye_vody_bsr_water_v2_print.pdf) Дата доступа: 25.10.2023.

4. Зеленая инфраструктура [Электронный ресурс] // <https://www.epa.gov/green-infrastructure> - Дата доступа: 25.10.2023.



УДК 621.316

**С.В. Жерносек, П.М. Буденный, Е.А. Каленько**  
Витебский государственный технологический университет  
Витебск, Беларусь

## **АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕПЛОНАСОСНОЙ УСТАНОВКИ В СИСТЕМЕ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ АДМИНИСТРАТИВНОГО ЗДАНИЯ**

*Аннотация.* В мировой энергетике наблюдается рост развития низкопотенциальных источников теплоты и вторичных энергоресурсов, который определяет изменения в подходах к организации систем теплоснабжения. В работе проведен анализ эффективности использования теплонасосной установки (ТНУ) в системе теплоснабжения административного здания.

**S.V. Zhernosek, P.M. Budyonny, E.A. Kalenko**  
Vitebsk State Technological University  
Vitebsk, Belarus

## **ANALYSIS OF THE EFFECTIVENESS OF USING A HEAT PUMP INSTALLATION IN THE HEAT SUPPLY SYSTEM OF AN ADMINISTRATIVE BUILDING**

*Abstract.* In the global energy sector, there is an increase in the development of low-potential heat sources and secondary energy resources, which determines changes in approaches to the organization of heat supply systems. The work analyzes the effectiveness of using a heat pump unit (HPU) in the heat supply system of an administrative building.

По данным Международного энергетического агентства, к началу 2022 года во всем мире использовалось около 177 миллионов тепловых насосов, которые обеспечивали 7% мировых потребностей в отоплении. Лидерами в использовании ТНУ являются Китай и страны Северной Америки. В Европе ТНУ наибольшее распространение тепловые насосы получили в Норвегии (обеспечивают порядка 60 % потребностей систем отопления), Швеция (43%) и Финляндия (41%).

Согласно прогнозам экспертов, к 2030 году количество установленных ТНУ в мире увеличится более чем в три раза. При этом развитие рынка тепловых насосов во многом определяется динамикой цен на энергоносители и задачами международных проектов в области энергоэффективности и развития использования возобновляемых источников энергии.

Цель работы состоит в анализе эффективности использования теплонасосных установок для организации систем теплоснабжения на примере административного здания, что направлено на решение актуальных задач повышения энергоэффективности в рамках Государственной программы «Энергосбережение» Республики Беларусь на 2021–2025 годы.

Организация систем теплоснабжения с применением тепловых насосов позволяет обеспечить экономию использования первичного топлива по сравнению с использованием традиционных теплогенерирующих установок, децентрализацию теплоснабжения с ликвидацией длинных и незагруженных паро- и теплотрасс, способствует внедрению автономных систем теплоснабжения, снижению негативного воздействия токсичных отходов и выбросов на экологическую систему (таблица 1) [1–5].

**Таблица 1 – Вредные выбросы за отопительный сезон (4968 ч) от различных теплоисточников тепловой мощностью 1,16 МВт [1]**

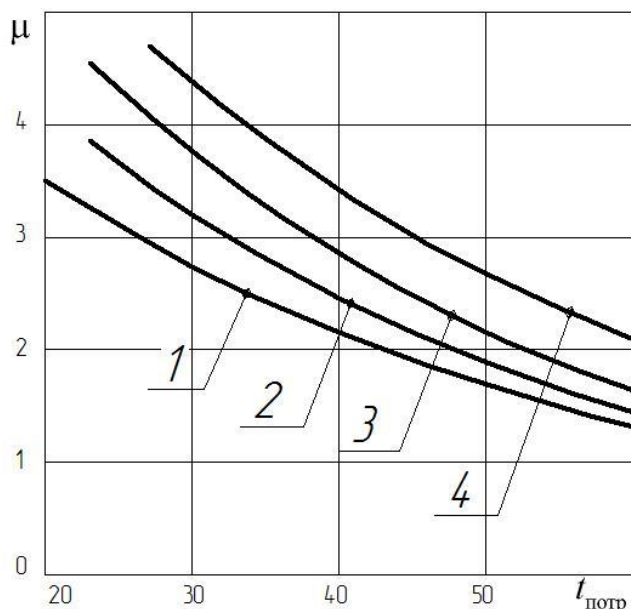
Наименование выброса, т/г	Угольная котельная	Электрообогрев, газовая котельная	Тепловой насос
SO <sub>x</sub>	21,77	38,02	10,56
NO <sub>x</sub>	7,62	13,31	3,70
Твёрдые частицы	5,8	8,89	2,46
Фтористые соединения	0,182	0,313	0,087
Всего	34,65	60,53	16,81

Анализ эффективности производства тепловой энергии удобно проводить прямым счетом, по изменению удельных расходов топливно-энергетических ресурсов (ТЭР) на производство тепловой энергии на заменяемом оборудовании, по изменению расхода ТЭР на единицу оборудования, по относительному снижению расхода топлива и т. п.

При анализе эффективности теплонасосной установки большое значение имеет определение реального коэффициента преобразования с учетом суммарного коэффициента потерь ТНУ (потери цикла, потери в компрессоре, потери от необратимости при теплопередаче и т.п.) [1, 4, 5].

На рис. 1 приведена зависимость коэффициента преобразования от температуры теплоносителя, подаваемого к потребителю теплоты  $t_{\text{потр}}$ , при различных температурах низкопотенциального источника теплоты, построенная в соответствии с данными источника [5].

Изображенные на рисунке зависимости указывают, что коэффициент преобразования теплового насоса резко уменьшается при увеличении температуры теплопотребителя и при уменьшении температуры низкопотенциального источника теплоты.



**Рис. 1 – Зависимость коэффициента преобразования ТНУ от температуры воды потребителя теплоты  $t_{\text{потр}}$ , при различных температурах источника теплоты: 1 – 15 °C; 2 – 18 °C; 3 – 20 °C; 4 – 25 °C**

В рамках работы проведен расчет расхода ТЭР при использовании ТНУ в системе отопления на примере различных тепловых источников систем теплоснабжения промышленного объекта: 1) электрического котла; 2) котлоагрегата на дизельном топливе; 3) твердотопливного пеллетного котла; 4) газового котлоагрегата; 5) теплонасосной установки Weswen WWHRC 10.

Расчет проводился на основе технических характеристик теплонасосной установки WWHRC 10: теплопроизводительность в режиме отопления 12,2 кВт (0,01049 Гкал/ч) при температуре теплоносителя (раствор пропиленгликоля) на входе/выходе со стороны источника 15/8 °C, температура на входе/выходе со стороны потребителя 40/45 °C.

Для расчета принята стоимость топлива для Республики Беларусь на 01.11.2023 года.

- дизельное топливо – 2,46 р/литр ( $\rho = 840 \text{ кг/м}^3$ );
- топливные пеллеты – 380 р / т;
- природный газ для бюджетных организаций 0,68489 р /  $\text{м}^3$ ;
- электрическая энергия для юридических лиц – 0,33432 р / (кВт ч).

При анализе эффективности работы теплового насоса приняты значения коэффициента преобразования энергии  $\mu = 3-4$ , указанные производителем, затратами электрической энергии на работу циркуляционных насосов можно пренебречь, поскольку аналогичные устройства применяются при всех рассматриваемых схемах теплоснабжения.

В расчетах использована методика определения расхода топлива [1].

Удельный расход топлива - это масса топлива, необходимая для выработки 1 ГДж (Гкал) тепловой энергии (1 ГДж = 0,2388 Гкал)

$$B_{\text{уд.н}} = \frac{B}{3,6Q}, \frac{\text{кг}}{\text{ГДж}},$$

где  $B$  – расход топлива в кг/ч;  $Q$  – тепловая производительность котла в МВт.

Удельный расход условного топлива определяется по формуле

$$B_{\text{уд.у.т}} = B_{\text{уд.н}} \cdot \frac{Q_{\text{н}}^{\text{р}}}{29,3} = \frac{B}{3,6Q} \cdot \frac{Q_{\text{н}}^{\text{р}}}{29,3}, \frac{\text{кг у.т.}}{\text{ГДж}},$$

где  $B$  – расход топлива в кг/ч;  $Q$  – теплопроизводительность котла в МВт;  $Q_{\text{н}}^{\text{р}}$  – низшая рабочая теплота сгорания в МДж/кг.

Среднечасовой расход  $B$  отопительного котла можно определить по формуле:

$$B = \frac{Q \cdot 360000}{Q_{\text{н}}^{\text{р}} \cdot \eta_{\text{к}}}, \frac{\text{кг}}{\text{ч}},$$

где  $Q$  – теплопроизводительность котлоагрегата, МВт;  $Q_{\text{н}}^{\text{р}}$  – низшая теплота сгорания рабочего топлива, МДж/кг;  $\eta_{\text{к}}$  – коэффициент полезного действия котла, %.

Результаты расчета сведены в таблицу 2. Коэффициенты для пересчета в тонны условного топлива в таблице 2 выбраны в соответствии со справочными значениями. Анализ результатов показал, что при коэффициенте трансформации  $\mu = 3-4$  (среднегодовой показатель) экономия топлива от применения ТНУ по сравнению с электрической котельной составляет до 0,25 т.у.т. / Гкал (при идеальных условиях). При  $\mu = 2-3$  расход ТЭР сопоставим с котлоагрегатами на органическом топливе.

**Таблица 2 – Среднечасовая стоимость тепловой энергии при приведенных условиях (12,2 кВт = 0,01049 Гкал/ч)**

Источника тепловой энергии	Удельный расход натурального топлива, кг/Гкал (м <sup>3</sup> /Гкал)	Удельный расход условного топлива, кг у.т. / Гкал	Среднечасовой расход топлива, ед.	Среднечасовая стоимость, руб.
Электрокотел	–	392,6	12,2 кВт	4,07
Дизельный котел	107,8	156,4	1,1 л	2,71
Пеллетный котел	279,4	100,6	2,9 кг	1,24
Газовый котел	136,5	157,0	1,4 м <sup>3</sup>	0,98
ТНУ (μ = 3–4)	–	118,1	3,7 кВт	1,22

### **Список использованных источников**

1. Энергосберегающие, экологически чистые технологии теплоснабжения производственных и жилых помещений [Электронный ресурс]. – 2015. – URL: <http://www.ekip-tnu.ru> (дата обращения 09.09.2023).
2. Калькулятор тепловых насосов [Электронный ресурс]. – 2023. – URL: <https://e-solarpower.ru/kalkulyator-teplovyyh-nasosov> (дата обращения 11.09.2023).
3. Расход топлива для котлов [Электронный ресурс]. – 2019. – URL: <http://sibheat.ru>. (дата обращения 09.09.2023).
4. Руководство по применению тепловых насосов с использованием вторичных энергетических ресурсов и нетрадиционных возобновляемых источников энергии: ОАО "ИНСОЛАР-ИНВЕСТ" [Электронный ресурс]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200029077>. (дата обращения 15.09.2023).
5. Антипов, Ю. А. Влияние температур низкопотенциального источника и потребителя теплоты на эффективность теплового насоса / Ю. А. Антипов [и др.] // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Инженерные исследования. – 2019. Т.20. № 1. – С. 14–19. DOI10.22363/2312-8143-2019-20-1-14-19.

## **ЭКОНОМИЧЕСКАЯ АКТУАЛЬНОСТЬ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ**

*Аннотация.* В данной статье описаны новые модификации существующих генераторов с вертикальной осью, преобразующих энергию ветра в электрическую энергию. Также были представлены более эффективные методы создания экономически дешевого, экологически чистого источника энергии.

## **ECONOMIC IMPORTANCE OF RENEWABLE ENERGY SOURCES**

*Abstract.* This article describes new modifications to the existing vertical axis generators that convert wind energy into electrical energy. It also presents more efficient ways to create an economically cheaper, ecologically clean energy source.

Производство энергии за счет эффективного использования возобновляемых источников энергии, совершенствования структуры энергосистемы, диверсификации источников энергии, улучшения условий жизни населения, обеспечения энергетической безопасности Туркменистана, защиты окружающей среды, планомерного использования природных ресурсов и устойчивое развитие экономики является основной целью принятия Закона «О возобновляемых источниках энергии». Аналогичным образом, данный Закон определяет задачи повышения энергоэффективности за счет использования возобновляемых источников энергии, укрепления энергетической безопасности, развития конкурентоспособной энергетической системы и обеспечения защиты окружающей среды [1, 2].

По статистическим данным, в местных условиях Туркменистана во многих районах государства достаточно горных, равнинных и пустынных ветров, поэтому имеются все условия для использования энергии ветра. Использование энергии ветра также подходит для использования в районах, где трудно вырабатывать электроэнергию, или в районах, где есть рабочие, работающие на полях, пастухи,

работающие в пустынях, маяки на море, нефтяные и газовые скважины [3].

В целом, экономические и экологические проблемы добычи и использования органического топлива для производства электроэнергии с годами возрастают. Кроме того, мы должны учитывать, что природные запасы органического топлива не являются неисчерпаемыми. Возобновляемые источники энергии неисчерпаемы. Большое количество солнечных дней в течение года в стране дает нам большие возможности для использования возобновляемых источников энергии, то есть солнечной и ветровой энергии.

По результатам экспериментов в уже известный ветрогенератор были внесены конкретные реформы с целью строительства в стране мощных ветроэлектростанций. Это не одиночный ветрогенератор, а система, которая преобразует всю кинетическую энергию фронтального ветра в электрическую энергию путем размещения нескольких ветрогенераторов с вертикальной осью на прямой линии, перпендикулярной направлению ветра.

Ветрогенератор с вертикальной осью имеет несколько лопастей, вращающихся в направлении ветра для выполнения полезной механической работы, а несколько лопастей, вращающихся против ветра, выполняют противоположную механическую работу. Для устранения этого дефекта был получен очень хороший результат при установке защитно-охлаждающих направляющих. Он устроен таким образом, что несколько ветряных турбин с вертикальной осью расположены рядом и объединяют свои силы, не мешая друг другу, для питания генератора. Каждый из них имеет противоохлаждающие дефлекторы, расположенные перед крыльями, направленными против ветра. Эти дефлекторы направляют ветер к полезным лопастям, а также гарантируют, что ветер течет в более узком направлении. Соответственно, скорость ветра увеличивается по закону Бернулли. Мощность ветрогенератора прямо пропорциональна кубу скорости ветра, т.е.:

$$N = 0,6 \cdot S \cdot V^3$$

где  $N$  – мощность ветрогенератора,  $0,6$  – постоянный коэффициент,  $S$  – площадь крыла,  $V$  – скорость ветра [4].

Следующая формула рассчитывает, какая часть энергии ветрового потока с шириной сечения один километр и скоростью ветра  $5$  м/с может быть преобразована в электричество.

$$N = 0,6 \cdot S \cdot V^3 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3$$

где  $N$  - мощность системы,  $0,6$  - постоянный коэффициент,  $S$  - площадь системы преобразования энергии ветра в электрическую,  $V$  - скорость ветра,  $\eta_1$ -ПТК системы,  $\eta_2$ -ПТК редуктора,  $\eta_3$ -ПТК генератора.

Давайте посчитаем, как выбрать шестеренчатый редуктор для данной системы ветрогенераторов. Для начала давайте посчитаем, сколько метров должен пройти кончик лопасти ветряной турбины, чтобы сделать один оборот.

$$C = 2 \cdot \pi \cdot R = 2 \cdot 3,14 \cdot 8 = 25,12 \text{ метр.}$$

Это означает, что ветровой поток длиной около 25 метров совершает полный оборот вокруг ветряной турбины. Тогда при скорости ветра 5 м/с ветрогенератор делает 0,5 оборота в секунду [4].

Направление ветров почти всегда постоянно. Это связано с тем, что они вызваны конвекционным потоком воздуха в результате неравномерного нагревания и охлаждения различных природных объектов в течение суток и года (например: суши и моря). Они текут периодическими движениями вперед и назад в одном направлении. Мы можем создать мощную ветряную электростанцию, установив систему между двумя такими природными объектами. Система сжатия защищает от аэродинамического воздействия верхнего ветра и увеличивает давление, оказываемое ветром на крылья. Давление масла повышается под углом  $30^\circ$  к горизонту с наветренной стороны. Это гарантирует, что воздух, проходящий под пропеллером, находится под высоким давлением, помогающим вращать крылья. Ветрогенераторы с вертикальной осью, являющиеся основными компонентами этой системы, имеют лопасти, соединенные с осью под углом  $120^\circ$  относительно друг друга. Все крылья изогнуты в одну сторону, чтобы уменьшить сопротивление при вращении.

В развитый век науки и техники использование возобновляемых источников энергии—непрерывных и неисчерпаемых возобновляемых источников, генерируемых солнцем, ветром, водными течениями и другими природными явлениями, является одним из важных направлений, пропагандируемых во всем мире. Использование возобновляемых источников энергии является одним из необходимых условий защиты окружающей среды, атмосферного воздуха и озонового слоя за счет снижения количества вредных газов, выбрасываемых в атмосферу, за счет сокращения использования ископаемых углеводородных ресурсов [2].

Внедрение в нашу национальную экономику технологии преобразования энергии ветра в электрическую энергию позволит нам



решить глобальные проблемы, такие как эффективное и результативное использование наших природных ресурсов, защита окружающей среды и энергетическая безопасность. Также данная работа показала более эффективные пути создания экономически дешевого и экологически чистого источника энергии. Результатом является более экономичный способ строительства ветряных электростанций промышленного масштаба.

#### **Список использованных источников**

1. Gurbanguly Berdimuhamedow. Türkmenistanyň elektroenergetika kuwwaty. – А.: Türkmen döwlet neşirýat gullugy, 2022.
2. Türkmenistanyň Gurluşyk we energetika toplumyny ösdirmegiň 2019-2025-nji ýyllar üçin maksatnamasy. – А.:TDNG, 2019.
3. С.Сейиткурбанов, В. Сергеев, Ветроэнергетические режимы Туркмении, 1983.
4. Анапольская Л.Е. и др. Ветроэнергетические ресурсы и методы их оценки Метеорология и гидрология. - 1978. - № 7. - С.11-17.

УДК 66.02

**Д.Г. Калишук, А.Э. Левданский, Е.Г. Федарович,  
Н.П. Саевич, А.А. Ковалева**  
Белорусский государственный технологический университет  
Минск, Беларусь

#### **АНАЛИТИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ МНОГОСТУПЕНЧАТОЙ РЕКТИФИКАЦИОННОЙ УСТАНОВКИ**

*Аннотация.* Описана установка регенерации жидких продуктов производства полисульфонового волокна. Указаны энергетические и иные проблемы, возникающие при работе ее ректификационных колонн при сниженной производительности. Проведено аналитическое определение технологических параметров колонн в различных режимах ее работы.

**D.G. Kalishuk, A.E. Levdansky, E.G. Fedarovich,  
N.P. Saevich, A.A. Kovaleva**  
Belarusian State Technological University  
Minsk, Belarus

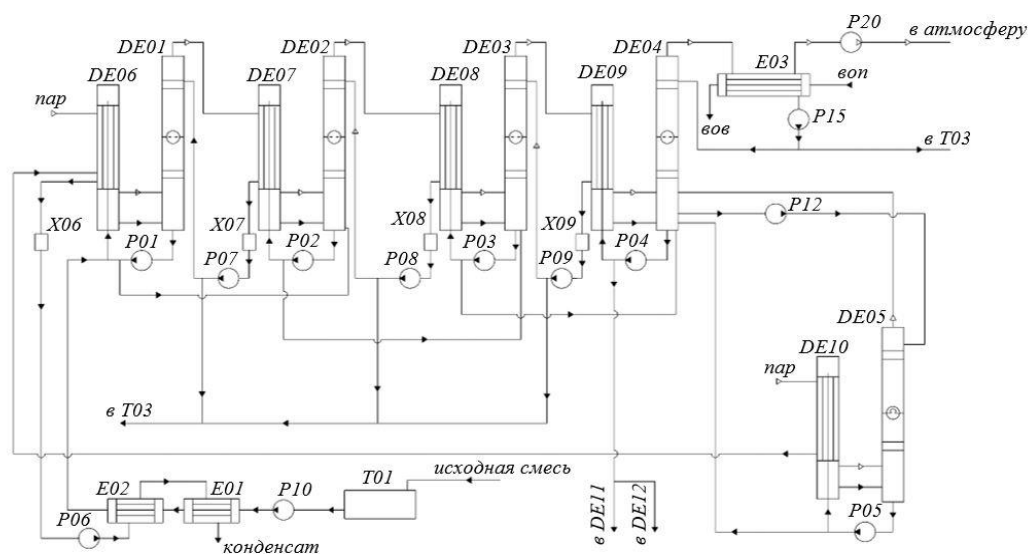
## ANALYTICAL DETERMINATION OF TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF A MULTISTAGE RECTIFICATION PLANT

**Abstract.** An installation for the regeneration of liquid products from the production of polysulfone fiber is described. Energy and other problems that arise when its distillation columns operate at reduced productivity are indicated. An analytical determination of the technological parameters of the columns in various operating modes was carried out.

При изготовлении гемодиализаторов на ПУП «Фребор» (г. Борисов) мембранными элементами являются полисульфоновые волокна. При их производстве образуются регенерируемые продукты, ценными компонентами которых являются диминерализованная вода и диметилацетамид (ДМАЦ), а примесями – поливинилпирролидон (ПВП), мелкодисперсные механические включения и др.

Регенерацию продуктов осуществляют в многоступенчатой ректификационной установке, включающей 5 тарельчатых колонн и две роторных. В результате получают воду и ДМАЦ, заданной чистоты и остаток, направляемый на сжигание.

Схема установки регенерации жидких продуктов производства полисульфонового волокна (УРЖПППВ) показана на рис. 1.



**Рис. 1 - Упрощенная схема ректификационной установки регенерации жидких отходов производства полисульфонового волокна**

DE01–DE05 – ректификационные колонны; DE06–DE10 – испарители; X06–X09 – сборники конденсата; P01–P10, P12, P15 – насосы; P20 – вакуумный насос; E01, E02 – подогреватели; E03 – конденсатор; T01 – сборник жидких отходов; T03 – сборник регенерированной воды

Исходную смесь из сборника Т01 подают в подогреватели E01 и E02, в них смесь подогревают конденсатом из испарителя E06. Затем смесь подают как питание в колонну DE01. Часть кубового остатка из DE01 направляют в испаритель DE06, а другую используют в качестве питания колонны DE02. Паровая фаза из DE06 направляется в DE01 под нижнюю тарелку и движется вверх, взаимодействуя с жидкостью. На выходе из DE01 эта фаза – вода заданной чистоты, ее используют для обогрева DE07. Конденсат из DE07 в основном используют в качестве флегмы DE01. Часть его отбирают в виде продукта регенерации и направляют в сборник Т03. Кубовый остаток, поступающий из колонны DE01 в DE02, смешивается с кубовым остатком последней.

Работа колонн DE02 – DE04 и испарителей DE07 – DE09 организована подобно работе колонны DE01 и испарителя DE06. Паровую фазу из DE04 направляют в конденсатор E03. Часть конденсата из E03 используют в качестве флегмы в DE04, другую его часть направляют в сборник Т03. За счет вакуумирования конденсатора E03 создается перепад давлений в колоннах DE01 – DE04 и испарителях DE06 – DE09. Указанное позволяет использовать пар предыдущей колонны для обогрева испарителя последующей. В кубовых остатках колонн DE01 – DE04 последовательно концентрируются ДМАЦ и ПВП. Греющий теплоноситель в испарителе DE10 – водяной пар. Паровая фаза из DE05 поступает в DE04 для более глубокого удаления воды из продуктов, направляемых в роторные колонны DE11 и DE12. В колонне DE05 создается разрежение за счет ее сообщения с колонной DE04.

Производство волокон и объемы регенерируемых продуктов на ПУП «Фребор» снижены примерно вдвое из-за изменившегося спроса на гемодиализаторы. При уменьшении производительности колонн DE01 – DE05 на 15–20 % наблюдается их неэффективная работа. Поэтому УРЖПППВ эксплуатируют в полунепрерывном режиме, вызывающем увеличение удельных энергозатрат и ряд других негативных явлений. Внедрение новой установки непрерывного действия и сниженной производительности требует значительных времени и материальных затрат. Поэтому принято решение о поисках путей модернизации существующей установки. Для этого проведены аналитические исследования по определению недостающих технологических параметров колонн DE01 – DE05.

При работе УРЖПППВ до ее предполагаемой модернизации зафиксировано: расход водяного пара в DE06 – до 3000 кг/ч; расход флегмы в DE01 – DE04 – до 2,3 м<sup>3</sup>/ч; расход флегмы в DE04 –

до 2,4 м<sup>3</sup>/ч; расход водяного пара в DE10 – до 750 кг/ч. При расходе водяного пара в DE06 меньшем 2400 кг/ч наблюдается неустойчивая работа установки. Она возникает из-за снижения скорости пара через DE01 – DE05 (провальный режим ситчатых тарелок в DE01 – DE04, малая скорость истечения пара через прорези колпачковых тарелок в DE05, в итоге – значительное уменьшение их эффективности [1, 2]). Снижение производительности установки в два раза вызывает пропорциональное изменение величин материальных потоков. Очевидным является, что существующая установка без модернизации ее ректификационных колонн не будет работать эффективно.

При обследовании УРЖПППВ дополнительно установлены только температуры жидкости в кубах DE01 – DE05 и пара вверху DE05. Для определения параметров потоков в DE01 – DE05 необходимо знать в них: температуры пара вверху, давления пара в кубах, давления пара вверху, составы пара и жидкости фаз в кубах и вверху. Технологический регламент УРЖПППВ не содержит данной информации. Требуемые для определения условий работы тарелок сведения мы получили приближенно на основании косвенных характеристик, приняв ряд допущений, например: сопротивление ситчатых тарелок в колоннах DE01 – DE04 – 0,5 кПа; пар вверху колонн DE01 – DE04 – чистый водяной пар; давление водяного пара DE06 и DE10 – 0,4 МПа; давление пара вверху колонны DE04 – 15 кПа.

Для работы установки необходимо соблюдение условия:  $t_{п} > t_{к1} > t_{п1} > t_{к2} > t_{п2} > t_{к3} > t_{п3} > t_{к4} > t_{п4}$ , где:  $t_{к1}, t_{к2}, t_{к3}, t_{к4}$  – температуры кипения кубовой жидкости в DE01, DE02, DE03 и DE04;  $t_{п1}, t_{п2}, t_{п3}$  – температуры пара вверху DE01, DE02 и DE03. Давление в кубах колонн DE01 – DE04 принято на 9 кПа выше, чем в верхних частях (допущение). При этом давление в кубе колонны DE04 равно 24 кПа. Для определения температуры кипения жидкости в кубах используем данные по равновесию для системы вода – ДМАЦ [3] и констатируем: повышение температуры кубовой жидкости по сравнению с температурой кипения воды от 1 до 3°С. В таком случае температура кубовой жидкости в колонне DE04 составит примерно 67°С.

При давлении в кубе DE01 0,15 МПа температура жидкости в нем 112°С, а пара вверху колонны – 109°С. При температурных напорах в испарителях DE07 и DE08 в 5°С для колонн DE02 и DE03 соответственно температуры: кипения кубовых жидкостей 105 и 95°С; паров вверху колонн 100 и 89°С. Температура верха колонны DE05 примерно 64°С при давлении 24 кПа и допущении, что через ее верх движется пар, состоящий в основном из воды.

Для определения расходов пара вверху колонн DE01 – DE05 использованы уравнения материальных и тепловых балансов их и испарителей. Рассчитанные массовые расходы пара вверху колонн DE01, DE02, DE03, DE04 и DE05 – 0,76, 0,75, 0,74, 0,71 и 0,18 кг/с, а объемные – 0,93, 1,24 м<sup>3</sup>/с, 1,82, 7,15 и 1,23 м<sup>3</sup>/с соответственно.

Тарелки колонн DE01, DE02, DE03 и DE04 имеют диаметр 1292, 1390, 1490 и 2188 мм при относительных свободных сечениях 0,068, 0,064, 0,063 и 0,077 м<sup>2</sup>/м<sup>2</sup> соответственно. Длина сливных порогов упомянутых тарелок составляет примерно 75 % от их диаметра. Колонна DE05 имеет колпачковые тарелки диаметром 1290 мм с относительным свободным сечением 0,144 м<sup>2</sup>/м<sup>2</sup>.

Важнейшие параметры работы массообменных тарелок – значения фактора газовой нагрузки в расчете на их полное сечение  $F_s$ , Па<sup>0,5</sup> и этого фактора для потока в отверстиях тарелки  $F_{so}$ , Па<sup>0,5</sup>, а также линейная плотность орошения сливного порога  $L_v$ , м<sup>3</sup>/(м·с) [4]. Их величины определяют по формулам:

$$F_s = w_y \sqrt{\rho_{пв}}; \quad (1)$$

$$F_{so} = \frac{F_s}{f_{св}}; \quad (2)$$

$$L_v = \frac{V_x}{L_{сл}}, \quad (3)$$

где  $w_y$  – скорость пара в расчете на полное сечение тарелки, м/с;  $\rho_{пв}$  – плотность пара, кг/м<sup>3</sup>;  $f_{св}$  – относительное свободное сечение тарелки, м<sup>2</sup>/м<sup>2</sup>;  $V_x$  – объемный расход жидкости через тарелку, м<sup>3</sup>/с;  $L_{сл}$  – длина сливного порога тарелки, м.

Результаты расчетов по формулам (1) – (3) для тарелок колонн DE01 – DE05 при их работе до предполагаемой модернизации приведены в таблице.

**Таблица – Параметры работы тарелок колонн DE01 – DE05**

Колонна	$w_y$ , м/с	$F_s$ , Па <sup>0,5</sup>	$F_{so}$ , Па <sup>0,5</sup>	$L_v \cdot 10^4$ , м <sup>3</sup> /(м·с)
DE01	0,714	0,644	9,65	6,72
DE02	0,820	0,636	9,97	6,14
DE03	1,046	0,666	10,53	5,81
DE04	1,903	0,601	7,82	4,02
DE05	0,945	0,360	-	-

Минимальное значение  $F_{so}$ , при котором невозможен провал жидкости через отверстия тарелок колонн DE01 – DE04, по нашим расчетам составляет примерно  $8,7 \text{ Па}^{0.5}$  [1, 2]. При снижении производительности УРЖПППВ в два раза приведенные в таблице параметры работы тарелок колонн DE01 – DE05 также уменьшаются вдвое. При этом для ситчатых тарелок колонн DE01 – DE04 явно будет характерен неэффективный провальный гидродинамический режим.

Для стабильной и эффективной работы УРЖПППВ при сниженной вдвое производительности требуется модернизация колонн DE01 – DE05, затрагивающая изменения конструкции их тарелок с целью уменьшения их относительного свободного сечения. Результаты выполненных нами расчетов и анализа согласуются с информацией о диапазонах допустимых нагрузок по жидкости и газу, изложенной в стандарте [4].

#### Список использованных источников

1. Касаткин А. Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. – М.: Альянс, 2005. – 753 с.
2. Рамм В. М. Абсорбция газов. – М.: Химия, 1976. – 656 с.
3. Людмирская Г. С., Барсукова Т. А., Богомольный А. М. Равновесие жидкость – пар. – Л.: Химия, 1987. – 336с.
4. ОСТ 26-01-125-81. Тарелки стальных колонных аппаратов. Типы, основные параметры и размеры.

УДК 621.039.7:339.9

**Т.А. Кананчук**

Белорусский государственный университет  
информатики и радиоэлектроники  
Минск, Республика Беларусь

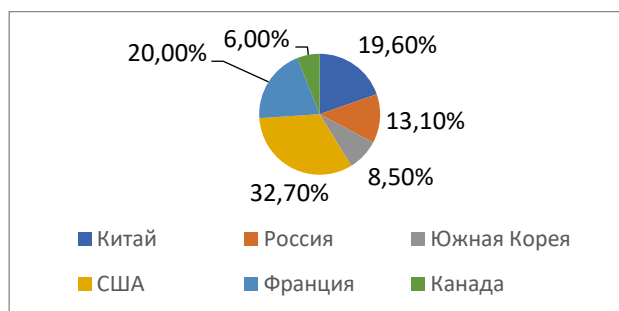
#### **СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ МИРОВОГО РЫНКА ОТРАБОТАННОГО ЯДЕРНОГО ТОПЛИВА**

*Аннотация.* В статье анализируются основные тенденции и направления развития мирового рынка отработанного ядерного топлива; оцениваются перспективы развития рынка, анализируется вклад России, Франции, США, Китая в развитие отрасли по переработке отработанного ядерного топлива.

## **CURRENT TRENDS IN THE DEVELOPMENT OF THE GLOBAL SPENT NUCLEAR FUEL MARKET**

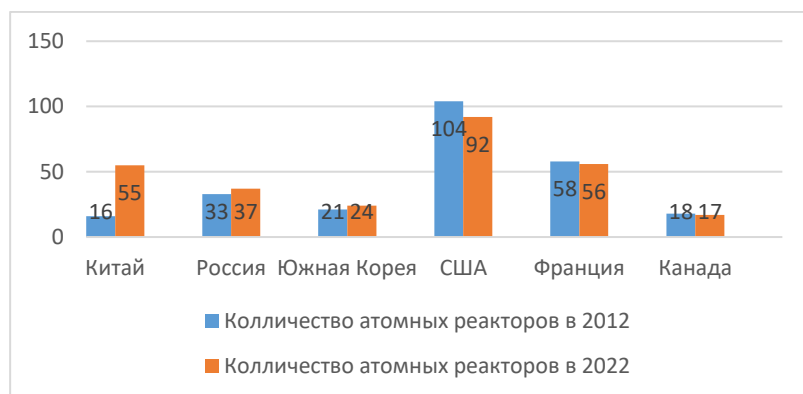
***Abstract.** The article analyzes the main trends and directions of development of the global spent nuclear fuel market; assesses the prospects for market development, analyzes the contribution of Russia, France, the USA, China to the development of the spent nuclear fuel reprocessing industry.*

В настоящее время ядерная энергия является практически единственным природным ресурсом, способным удовлетворить все возрастающие энергетические потребности человечества. Вводимые в эксплуатацию современные атомные станции позволяют сократить вредные выбросы в атмосферу и воздействие на окружающую среду, а повторное использование отработанного ядерного топлива (ОЯТ) подразумевает не только экологические, но и экономические выгоды. Атомную энергетику, согласно отчету МАГАТЭ за 2023 г., развивают 32 страны; абсолютное лидерство в данной сфере принадлежит США и России (в ядерной отрасли РФ насчитывается около 440 предприятий, на которых трудится примерно 250 тыс. человек, ведется строение шести новых энергоблоков) [1].



**Рис.1 - Соотношение между 6 крупнейшими странами по количеству реакторов в 2022**

Производство и потребление атомной энергии наращивают Россия, Китай, тогда как в Европе потребление, наоборот, сокращается.



**Рис.2 -Динамика изменения количества реакторов**

Одним из важнейших трендов в мировой экономике современности является рециклинг - стремление наладить повторное использование и переработку отработанного ядерного топлива. Данное направление ядерной энергетики связано с проблемой его переработки и хранения. Экономически развитые страны, развивающие атомную отрасль, по-разному подходят к этому вопросу: отработанное ядерное топливо (ОЯТ) либо передают на хранение и последующее захоронение (Швеция, Финляндия, Канада, Италия, Швейцария, Нидерланды, США, Китай и др.) либо пытаются переработать с целью повторного использования (Россия, Франция, Япония, Индия, Англия) [1]. Канада и США на данный момент являются держателями приблизительно 50% накопленных мировых ОЯТ, и не располагают достаточными мощностями для их длительного хранения. Объем ОЯТ в десятках стран мира на сегодня - более 250 000 тонн, из которых переработано около 35%. Исследователи прогнозируют, что к 2040 г. накопленное количество ОЯТ увеличится в два раза [4].

Лидерство по переработке отработанного ядерного топлива сохраняется за Францией – в этой стране до 80% ядерного топлива является результатом собственной переработки, что позволяет сохранять первенство на рынке ядерной энергетики и обеспечить население необходимым количеством энергии. Россия также располагает достаточными мощностями для хранения ОЯТ: в стране созданы площадки для утилизации топлива, предприятия по их переработке, функционируют лаборатории, изучающие проблемы захоронения отработанного топлива [2].

В связи с накоплением продуктов переработки растет рынок отработанного ядерного топлива, поэтому его рециклинг является экономически целесообразным для стран, развивающих атомную энергетику. Переработка ОЯТ позволит существенно снизить риски хранения радиоактивных отходов, уменьшит их объемы, сложность обеспечения безопасности их хранения, минимизирует вред для



окружающей среды и даст возможность более полно использовать энергетический потенциал ядерного топлива.

Выделенные из ОЯТ уран и плутоний могут повторно использоваться в последующем производстве ядерного топлива; помимо этого в продуктах распада являются и другие элементы, применимые в современной промышленности: нептуний используется в медицинской отрасли для создания кардиостимуляторов, радиоактивные изотопы металлов платиновой группы (платина, палладий, родий, иридий и др.) – в химическом производстве. Данный тип переработки также позволяет получить ксенон, применяемый в медицине и для создания ионных двигателей космических аппаратов. Таким образом, переработка ОЯТ предполагает получение экономических выгод как для атомно-энергетической отрасли, так и для химической и медицинской промышленности.

Указанные преимущества переработки ОЯТ вызвали расширение рынка переработки ядерного топлива, который показывает растущую конкуренцию в развитии технологий переработки между западноевропейскими странами. До 2010 г. безусловным лидером переработки ОЯТ считалась Франция; с 2014-15 гг. на рынке появляются новые игроки: Бангладеш, Бразилия, Индия, Китай, Иран, ЮАР и др.) [2]. Значительно продвинулась в технологиях переработки ОЯТ за последнее десятилетие и Российская Федерация. Принятая в России федеральная целевая программа «Ядерные энерготехнологии нового поколения на период 2010-2015 гг.» для инновационного развития Госкорпорации Росатом, позволила ей укрепить позиции на атомном рынке, благодаря активной разработке и внедрению производства МОКС-топлива, получаемого из отработанного смешанного урано-плутониевого топлива. Согласно данным, полученным Всемирной ядерной ассоциацией (World Nuclear Association, WNA), в мире накоплено около 1,6 миллиона тонн обедненного урана; выработка на его основе МОКС-топлива позволит удовлетворить нужды мирового рынка потребления энергии на 326 лет.

Основными потребителями МОКС-топлива являются европейские страны и Япония. В 2022 г. госкорпорацией Росатом впервые были осуществлены международные поставки МОКС-топлива в Китай, для реактора CFR-600 (АЭС «Сяпу»). Реактор БН-800 на четвертом блоке Белоярской АЭС РФ также полностью перевели на МОКС-топливо, что для России является важным шагом в выстраивании и укреплении двухкомпонентной атомной энергетики, основанной на замыкании ядерного топливного цикла.

Атомная отрасль России активно развивается, не смотря на введенные санкции: Росатом сотрудничает со странами СНГ, странами БРИКС и Африкой. В октябре 2023 г., выступая на международном форуме «Российская энергетическая неделя», президент Российской Федерации В. В. Путин отметил, что Госкорпорация Росатом в настоящее время строит 22 энергоблока в других странах, что составляет около 80% мирового рынка строительства атомных станций. Таким образом, активность России в данной области показывает стремление страны занять лидирующие позиции на рынке переработки отработанного ядерного топлива в частности и рынке ядерной энергетики в целом. Российские специалисты в области атомной энергетики считают ее областью, имеющей стратегическое значение для развития страны.

Между РФ и Республикой Беларусь заключено соглашение об отправке отработанного ядерного топлива на переработку в Россию: первая партия ОЯТ будет сформирована и отправлена туда в 2032 г. На уровне правительства были изучены различные технико-экономические варианты обращения с ОЯТ, и в качестве приоритетного был выбран вариант переработки ОЯТ с БелАЭС в России с последующим возвратом в Беларусь. Для Беларуси более целесообразна переработка в России по экономическим причинам: создавать подобные собственные структуры достаточно сложно и экономически затратно, тогда как РФ располагает развитой структурой переработки ОЯТ и активно помогает в решении данных вопросов зарубежным партнерам, не имеющим соответствующего опыта и технологий.

Войти на рынок переработки ОЯТ стремится и Китай: быстрый рост и развитие атомной энергетики здесь также вызвал необходимость в принятии решения о переработке либо хранении отработанных материалов, поскольку их запасы в Китае к 2019 г. составляли примерно 5,67 тысяч тонн, а к концу 2020 г. возросли до 7,8 тысяч тонн. Основным местом хранения отработанного топлива там являются бассейны выдержки на атомных станциях, чего явно недостаточно при росте использования атомной энергии. В Китае строятся как хранилища отходов, так и заводы по их переработке; планируется введение в эксплуатацию завода по переработке производительностью до 800 тонн отходов в год совместно с Францией, о чем в 2018 г. было заключено соглашение. Хотя китайское правительство заинтересовано в развитии атомной энергетики, поскольку с ее помощью надеется преодолеть зависимость от других видов топлива, атомный потенциал

Китай расширяется скорее в другой нише – в строительстве атомных станций [3].

Таким образом, проведенное исследование современных тенденций мирового рынка переработки ядерных отходов показывает растущую роль Российской Федерации, стремящейся стать лидером в данной отрасли, что обусловлено постоянными разработками в данной сфере, начатыми еще в СССР. Развитие технологий переработки ОЯТ в настоящее время обусловлено и экономической целесообразностью, поскольку повторное использование отработанного ядерного топлива позволит не только снизить расходы на захоронение ОЯТ, но и уменьшит его объёмы, снизит стоимость нового топлива и риски для окружающей среды.

### Список использованных источников

1. Ефименко, Н. А. Конкурентные преимущества России на мировом рынке отработанного ядерного топлива / Н.А. Ефименко, И.А. Ухалина // Глобальная ядерная безопасность - 2014. - №4(13). - С. 96-98.
2. Осецкая, М.М., Текущие тенденции на мировом рынке ядерной энергетики / М. М.Осецкая, В.Ф. Украинцев// Пространственная экономика. - 2018. - № 1. - С. 154-169.
3. Китай - и вновь об ОЯТ [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.atominfo.ru/newsz05/a0500.htm>. – Дата доступа: 11.11.23.
4. Кудрявцев, Е. Г. Отработавшее ядерное топливо: факты и тенденции [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.atominfo.ru/newsz05/a0500.htm>. – Дата доступа: 11.11.23.

УДК 634

**Э.И. Михневич<sup>1</sup>, В.Е. Левкевич<sup>1</sup>, Г.И. Касперов<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Белорусский национальный технический университет

<sup>2</sup>Белорусский государственный технологический университет  
Минск, Беларусь

### **ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ НА КАРЬЕРАХ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

*Аннотация.* В статье рассмотрены вопросы, связанные с оценкой структуры карьеров, расположенных на территории Республики Беларусь.

*Приведены количественные и качественные данные по добываемым строительным материалам. Рассмотрены вопросы, связанные с оценкой устойчивости бортов карьерных водоемов. Приведены результаты исследований по расчету критериев устойчивости откосов карьеров.*

**E.I. Mihnevich<sup>1</sup>, V.E. Levkevich<sup>1</sup>, G.I. Kasperov<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Belarusian National Technical University

<sup>2</sup> Belarusian State Technological University  
Minsk, Belarus

## **EMERGENCY PREVENTION AT THE QUARRIES OF THE REPUBLIC OF BELARUS**

***Abstract.** The article discusses the issues related to the evaluation of structures of quarries in the Republic of Belarus. Quantitative and qualitative data on the extracted building materials are given. The article discusses issues related to the assessment of quarry lakes slopes stability. The results of research on quarry lakes slopes stability criteria calculation are presented.*

Добыча полезных ископаемых открытым способом приводит к образованию горных выработок различной глубины и конфигурации. Одной из сопутствующих причин характерных для всех карьеров является образование карьерных водоемов, затрудняющих разработку ресурсов, приводящих к развитию риска возникновения чрезвычайных ситуаций. Прогнозирование интенсивности и масштабов опасных геодинамических процессов с оценкой экологической безопасности с учетом сложившихся горнотехнических, геологических и гидрогеологических условий, а также техногенных факторов на основе данных натурных обследований карьеров является актуальной и важной задачей.

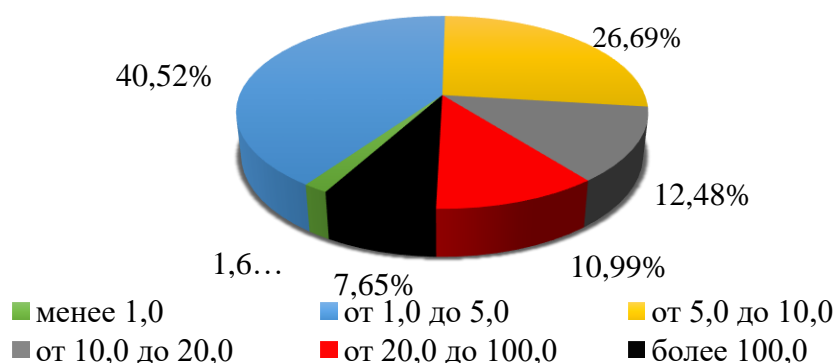
Обеспечение безопасности населения и территорий при чрезвычайных ситуациях природного и техногенного характера является неотъемлемой частью работы органов управления разных уровней власти [1]. Поэтому деятельность по установлению и исключению причин возникновения чрезвычайных ситуаций, а также существенное снижение потерь и ущерба в случае их возникновения является актуальной задачей. В данной работе, как территория, на которой могут произойти чрезвычайные ситуации, рассматриваются карьеры Республики Беларусь. В настоящее время на территории Республики Беларусь эксплуатируются 2251 промышленных и внутрихозяйственных карьеров общей площадью 6970,8 га [2]. Распределение карьеров по АТЕ Республики Беларусь приведено в таблица 1.1.

**Таблица 1.1. – Распределение карьеров по АТЕ**

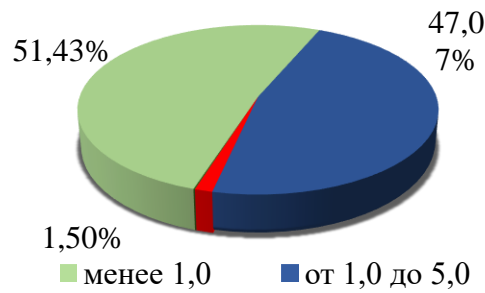
Кол-во карьеров	АТЕ					
	Брестская	Витебская	Гомельская	Гродненская	Минская	Могилевская
Промышленные	72	90	64	102	88	51
Внутрихозяйственные	410	300	307	262	298	207
Всего	482	390	371	364	386	258
Площадь области, км <sup>2</sup> x1000	32,79	40,05	40,37	25,13	39,85	29,07

Для промышленных карьеров по ранее проведённым исследованиям [3] были установлены следующие группы, в зависимости от установленного интервала численного значения занимаемой площади одним карьером, га: Iпр – от 1,0 до 5,0; IIпр – от 5,0 до 10,0; IIIпр – от 10,0 до 15,0; IVпр – от 15,0 до 20,0; Vпр – от 20,0 до 100,0; VIпр – более 100,0. Соответственно, для внутрихозяйственных карьеров, га: Iвх – менее 1,0; IIвх – от 1,0 до 5,0; IIIвх – от 5,0 до 10,0. Процентное соотношение количества карьеров Республики Беларусь по группам площадей приведено для: промышленных на рис. 1, внутрихозяйственных на рис. 2.

Как следует из диаграмм в структуре карьеров преобладают промышленные карьеры площадью от 1,0 до 5,0 га (40,5%) и от 5,0 до 10,0 га (26,7%). Для внутрихозяйственных карьеров с площадью менее 1,0 га их количество составляет 51,3% и от 1,0 до 5,0 га – 47,1%.

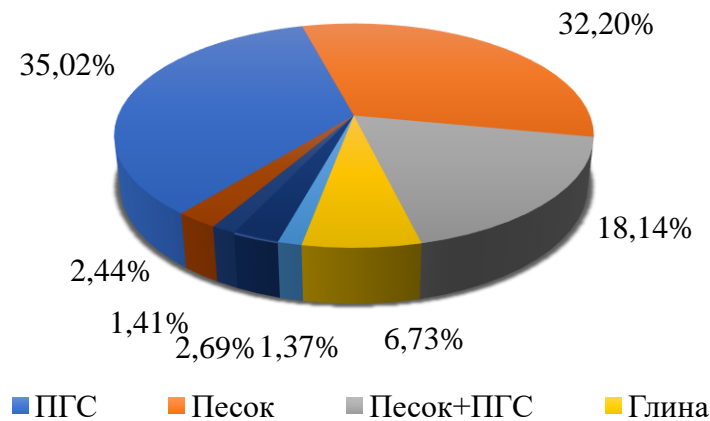


**Рис. 1 – Распределение промышленных карьеров по группам площадей**

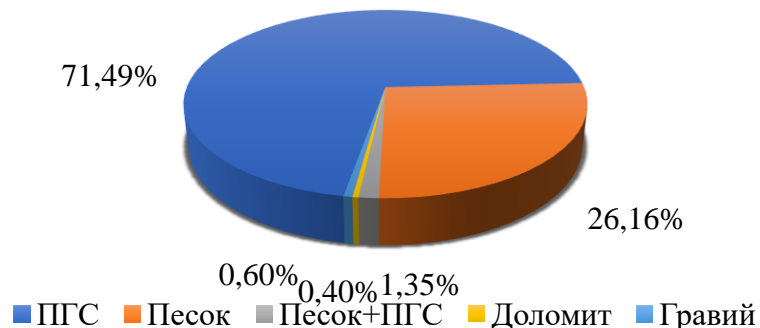


**Рис. 2 – Распределение внутрихозяйственных карьеров по группам площадей**

Процентное распределение добываемых строительных материалов по карьерам приведено для: промышленных на рис. 3, внутрихозяйственных на рис. 4. Как видно в структуре промышленных карьеров преобладают песчано-гравийная смесь (35,02%) и песок (32,25%).



**Рис. 3 – Добываемые строительные материалы в промышленных карьерах**



**Рис. 4 – Добываемые строительные материалы во внутрихозяйственных карьерах**

При карьерной разработке месторождений полезных ископаемых возможны два основных класса опасных явлений. Первый связан с неконтролируемым перемещением масс породы. Сюда относится образование деформаций бортов карьеров: оползни, обрушения и обвалы, осыпи и оплывины, просадки. Второй класс опасных явлений связан с неконтролируемым затоплением карьеров грунтовыми водами.

По данным института ВИОГЕМ (г. Белгород, РФ) случаи деформаций откосов карьеров распределяются по типам нарушений следующим образом: оползни – 42,7 %, обрушения – 20,6 %, осыпи – 14,7 %, оплывины и просадки – по 10 %. Для карьеров по добыче агрохимического сырья и стройматериалов доля оползней составляет 85 %, а на остальные деформации приходится всего 15 % [4].

Последствиями чрезвычайных ситуаций в карьерах могут быть гибель или травмы работников, повреждение или полная утрата карьерной техники, полное или частичное прекращение добычи полезных ископаемых.

В рамках выполнения работ по заданию 3.1.33 ГПНИ «Информатика, космос и безопасность» были проведены исследования устойчивости откосов карьеров [2]. Методика расчета общей устойчивости откосов базируется на представлении, что откосы в зоне высачивания грунтовых вод подвержены действию фильтрационных сил, которые создают дополнительные сдвигающие усилия, вызывающие нарушения местной устойчивости: оплывание поверхностных разуплотненных водонасыщенных грунтовых масс. Оплывание протекает особенно интенсивно в несвязных мелкозернистых и пылеватых песчаных и малосвязных супесчаных грунтах. В мелкозернистых, сравнительно однородных грунтах коэффициент  $m$  заложения откоса может увеличиваться в 2–3 раза по сравнению с коэффициентом сухого откоса [5].

Исследования песчаных откосов в грунтовом лотке (длиной 8 м, шириной 1 м, высотой 2,2 м) на крупномасштабной модели показали, что можно выделить две основные стадии деформации откоса под влиянием фильтрационного потока [2]. На первой стадии процесс оплывания грунта и уполаживания откоса происходит быстро до некоторого промежуточного заложения с коэффициентом  $m_0$ , отвечающим предельному равновесию насыщенного водой грунта. Затем начинается вторая, более длительная стадия - эрозионное действие поверхностного потока за счет высачивающейся через откос воды. В нижней части откос становится более пологим, чем в верхней. Как показали опыты, этот процесс может длиться в условиях уста-

новившейся фильтрации несколько суток. В мелкозернистых, сравнительно однородных грунтах коэффициент  $m$  заложения откоса может увеличиваться в 2..3 раза по сравнению с коэффициентом  $m_0$ .

Для оценки устойчивости откосов карьеров фактические значения коэффициента заложения откосов  $m_0$  сравнивали с расчетными значениями  $m$ , полученных по приведенным в [2] формулам или графикам. Отношение  $k_r = m_0 / m$  может быть принято в качестве критерия устойчивости откоса. Если  $k_r \geq 1$ , то откос будет находиться в устойчивом состоянии, а если  $k_r < 1$ , то устойчивость откоса может быть обеспечена или путем его уположивания до значения критерия  $k_r \geq 1$  или назначением соответствующего крепления.

### Список использованных источников

1. Закон Республики Беларусь «О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера» от 14 июня 2005 года № 23–З.

2. Разработать комплексную оценку влияния карьерных водоемов на безопасность эксплуатации карьеров в местах добычи полезных ископаемых: отчет о НИР (промеж.) /БГТУ; рук. темы Г.И.Касперов. – Минск, 2019. –92 с. –ГР №20192245.

3. Касперов Г.И., Новиков М.Э., Зязюля У.В. Оценка параметров карьеров Могилевской области – основа безопасности региона. / Обеспечение безопасности жизнедеятельности: проблемы и перспективы: сб. материалов XVI междунар. науч.-практ. конф. молодых ученых: курсантов (студентов), слушателей магистратуры и адъюнктов (аспирантов), В 2 т. Т.1. ч.1. – Минск: УГЗ, 2022. – С. 72-75

4. Ковров А.С. Устойчивость бортов карьеров в сложноструктурном массиве мягких пород. – Днепропетровск, 2013. – 131 с.

5. Михневич, Э.И. Устойчивость русел открытых водотоков / Э.И.Михневич.- Минск: Ураджай, 1988.- 240 с.



**С.Е. Баранцева<sup>1</sup>, Ю.А. Климош<sup>1</sup>, Г.Б. Захаревич<sup>1</sup>,  
М.А. Курилович<sup>1</sup>, Б.Ю. Вонсик<sup>1</sup>, К.Ю. Балашов<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Белорусский государственный технологический университет  
<sup>2</sup>«НПЦ по геологии»  
Минск, Беларусь

## **ПУТИ РЕШЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ ПРИ РАЗРАБОТКЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ МАГМАТИЧЕСКИХ И ОСАДОЧНЫХ ПОРОД БЕЛАРУСИ**

*Аннотация.* Приведены возможные пути решения экологических проблем при разработке месторождений магматических и осадочных пород, включающие утилизацию отходов их добычи для получения силикатных материалов; рекультивацию нарушенных земель; устройство прудов на месте карьеров и их дальнейшее использование.

**S.E. Barantseva<sup>1</sup>, Yu.A. Klimosh<sup>1</sup>, G.B. Zakharevich<sup>1</sup>,  
M.A. Kurilovich<sup>1</sup>, B.Yu. Vonsik<sup>1</sup>, K.Yu. Balashov<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Belarusian State Technological University  
<sup>2</sup>"SPC for Geology"  
Minsk, Belarus

## **WAYS TO SOLVE ENVIRONMENTAL PROBLEMS DURING THE DEVELOPMENT OF DEPOSITS OF IGNEOUS AND SEDIMENTARY ROCKS OF BELARUS**

*Abstract.* Possible ways of solving environmental problems in the development of deposits of igneous and sedimentary rocks, including the disposal of waste from their extraction to obtain silicate materials; recultivation of disturbed lands; arrangement of ponds on the site of quarries and their further use are given.

Цель работы – обосновать и подтвердить возможные пути решения экологических проблем при разработке месторождений природного минерального сырья на территории республики.

В недрах Беларуси открыто более 10 тыс. месторождений минерального сырья, включающих около 30 видов полезных ископаемых. Часть полезных ископаемых в настоящее время добывается, часть разведана и может разрабатываться в будущем [1].

По условиям залегания полезные ископаемые Беларуси делятся на 2 группы: приуроченные к кристаллическому фундаменту и платформенному чехлу. К первой группе относятся преимущественно

магматические полезные ископаемые (строительный камень, железные руды, руды цветных металлов и др.), большая часть полезных ископаемых второй группы отнесена к платформенному чехлу и имеет осадочное происхождение (нефть, торф, каменная и калийные соли, мел и др.).

По условиям использования полезные ископаемые делятся на 4 группы: горючие, металлические, неметаллические и жидкие (рис.1).



**Рис. 1 – Деление полезных ископаемых по условиям потребления**

Неметаллические (нерудные) полезные ископаемые делятся на строительные материалы и химическое сырье. Многие полезные ископаемые (доломит, гипс, мел, мергель и др.) могут использоваться и как химическое сырье, и как строительные материалы.

Согласно детальному анализу состояния вопроса в области экологической безопасности одной из основных важных проблем является эколого-геохимическая, связанная с задачей снижения негативного воздействия так называемой «нулевой» фракции (отсева), образующегося при дроблении горных пород, на геологическую среду. Учитывая преобладающую окислительную обстановку, присущую почвенным растворам прилегающих к горно-промышленным предприятиям территорий, и миграционную способность породообразующих химических элементов, можно предположить накопление в поверхностных отложениях большого количества Ba, Sr, Zn, Cr, Pb, Zr, Fe, Mn, Ti, Al. Возможно также активное биогенное накопление Zr, Ba, Mn, Zn, Cu и их соединений в пойменных отложениях, что приводит к возникновению техногенных геохимических аномалий.

Одним из путей решения экологических проблем является рекультивация нарушенных земель, устройство прудов на месте карьеров и их использование для культурных целей, рыборазведения, сохранения природных соковыщ.

По нашему мнению вторым важнейшим путем решения экологических проблем при разработке месторождений строительного камня и других магматических пород на территории Беларуси является использование отходов их добычи и дробления в качестве основных компонентов сырьевых композиций для получения силикатных материалов различного назначения (стекло, керамических, стеклокерамических и др.), что приведет к сокращению количества отходов и, соответственно, ликвидации отвалов, занимающих огромные площади.

Естественный (природный) строительный камень на территории Беларуси представлен разнообразными породами кристаллического фундамента (граниты, гнаодиориты, диориты, мигматиты и др.). В Брестской области разведаны два месторождения строительного камня (Микашевичи и Ситница), в Гомельской – месторождение строительного камня (Глушковичи, участок Крестьянская Нива) и месторождение облицовочных материалов (Карьер Надежды). Наиболее крупным из них является месторождение Микашевичи. Промышленные запасы строительного камня в Республике Беларусь составляют 645,835 млн.м<sup>3</sup>. В том числе: месторождения Микашевичи – 322,305 млн.м<sup>3</sup>; месторождения Глушковичи – 62,223 млн.м<sup>3</sup>; месторождения Ситницкое (Житковичи) – 261,307 млн.м<sup>3</sup>.

На детально разведанном месторождении базальтов и сапонитсодержащих туфов их запасы утверждены в количестве 164153,9 тыс.т. по категориям С<sub>1</sub>+С<sub>2</sub>. Попутные полезные ископаемые представлены вскрышными глауконитсодержащими породами – песками, алевролитами и алевролитами, предварительно оцененные запасы которых по категориям С<sub>1</sub>+С<sub>2</sub> составляют 77,098 млн.м<sup>3</sup>.

Поскольку в вышеприведенных горных породах присутствуют практически все необходимые оксиды, участвующие в формировании силикатных материалов (таблица1), они по химико-минеральному составу являются ценным кремнийсодержащим сырьевым компонентом.

В течение ряда лет в Белорусском государственном технологическом университете при активном участии Государственного предприятия «НПЦ по геологии» проводились исследования возможности получения широкой линейки силикатных материалов различного назначения. В качестве основного компонента использовались вышеперечисленные магматические и осадочные породы, предоставленные Слуцкой ГРП филиала «БКГРЭ».

**Таблица 1– Химический состав сырьевых компонентов**

Компоненты	Содержание оксидов, мас. %									
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	FeO+ Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O+ Na <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	MnO	п.п.п.
Гранитоиды	61,63	14,86	4,38	3,32	8,94	2,52	0,93	0,35	0,19	2,87
Базальт	46,11	11,49	5,00	7,87	14,00	4,30	1,74	0,31	–	9,18
Диабазы и габбро-диабазы	45,54	14,84	7,78	9,43	11,30	4,67	0,59	0,20	0,42	5,23
Глауконитсодержащая порода	74,26	8,28	1,21	1,79	9,29	2,30	0,79	–	0,14	1,94

Разработана рецептура сырьевых композиций, содержащих в качестве основного компонента магматические и осадочные породы разведанных месторождений республики Беларусь, получены теплоизоляционные пористые заполнители, керамические материалы, стекла, петроситаллы и каменное литье. Проведенная экспериментально-теоретическая оценка физико-химических процессов, происходящих при нагревании исследуемых пород, структуро- и фазообразования в образцах при их термической обработке, позволила разработать научные основы получения силикатных материалов с необходимым комплексом физико-химических свойств.

Следует отметить, что при получении вышеуказанных материалов роль и влияние используемых пород практически аналогичны, требуется лишь корректировка рецептуры сырьевых композиций в зависимости от химико-минерального состава исходных материалов и их назначения. Поэтому отклонения показателей физико-химических свойств образцов, полученных на основе и с использованием магматических (гранитоидных, базальтовых, диабазовых) пород и осадочных (глауконитсодержащих вскрышных отложений), находятся в допустимых пределах и не имеют значительных отличий [2–4]. Так, для теплоизоляционных пористых заполнителей наиболее востребованной фракции (14–16 мм) они следующие: объемная плотность 650–780 кг/м<sup>3</sup>, насыпная плотность 420–470 кг/м<sup>3</sup>, механическая прочность при сжатии 2,1–2,3 МПа, коэффициент теплопроводности 0,070–0,078 Вт/м·К, водопоглощение 7,4–8,2 %, коэффициент вспучивания 2,6–2,9; для керамического кирпича – механическая прочность при сжатии 10–12 МПа, морозостойкость 65–75 циклов; водопоглощение 9–10 %; для стекол – плотность 2600–2700 кг/м<sup>3</sup>, микротвердость 6650–6700 МПа, кислотостойкость в 1н H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 67,5–68,2 %, щелочестойкость в 1н NaOH 95,3–96,1 %; для петроситалла и каменного литья – плотность 2800–3300 кг/м<sup>3</sup>, микротвердость 8100–8800 МПа, износостойкость 0,01–

0,03 г/см<sup>2</sup>, кислотостойкость в 1н Н<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 99,3–99,8%, щелочестойкость в 1н NaOH 97,1–97,7 %.

Технологические характеристики и физико-химические свойства образцов из разработанных материалов удовлетворяют требованиям нормативно-технической документации, предъявляемым к материалам аналогичного назначения.

Таким образом, решение экологических проблем при разработке месторождений строительного камня и других магматических и осадочных пород на территории Беларуси подтверждается необходимостью использования как пути рекультивации освобождаемых от отходов земель, так и пути использования отходов горнопромышленных предприятий в качестве основных сырьевых компонентов при получении новых силикатных материалов для нужд строительства, химической, горнодобывающей, машиностроительной промышленности и индустриального текстиля.

#### **Список использованных источников**

1. Полезные ископаемые Беларуси: К 75-летию БелНИГРИ / Редкол.: П.З. Хомич [и др.] – Мн.:Адукацiя i выхаванне, 2002. – 528с.

2. Теплоизоляционный пористый материал на основе глауконитсодержащих песков и алевритов Новодворского месторождения Республики Беларусь / С.Е. Баранцева [и др.] // Весці Нац.акад.навук Беларусі. Сер. хiм. навук. – 2021. – Т. 57, №4. – С.463–471.

3. Научные и технологические аспекты рационального использования магматических и осадочных пород для получения силикатных материалов / С.Е. Баранцева [и др.] // Труды Кольского научного центра РАН. Серия: Технические науки.– 2023. Т. 14, №4.– С.139–144.

4. Использование глауконитсодержащих вскрышных осадочных пород для получения стеклокерамических материалов. С.Е. Баранцева [и др.] // Труды БГТУ. Сер.2. Химические технологии, биотехнологии, геоэкологии. –2023. №1 (265). – С.122–130.

УДК 628.316

**И.Ю. Козловская<sup>1</sup>, А.А. Павлова<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Белорусский государственный технологический университет

<sup>2</sup>УО «Национальный детский технопарк»

Минск, Беларусь

## **ВОЗМОЖНОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ СОРБЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ИЗ ОТРАБОТАННОГО КАТАЛИЗАТОРА КРЕКИНГА**

*Аннотация.* В статье содержится информация о возможностях использования отработанного цеолитсодержащего отхода после кислотной обработки в качестве сорбционного материала для очистки сточных вод от тяжелых металлов. Показано, что полученные продукты сравнимы по величине сорбционной емкости с синтетическими цеолитами.

**I.Y. Kozlovskaya<sup>1</sup>, A.A. Pavlova<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Belarusian State Technological University

<sup>2</sup>National Children`s Technopark,

Minsk, Belarus

## **POSSIBILITIES OF PRODUCTION SORPTION MATERIALS FROM SPENT CRACKING CATALYST**

*Abstract.* The article contains information about using spent zeolite-containing waste after acid processing for wastewater treatment of the heavy metals. The article shows the obtained products are comparable in sorption capacity to synthetic zeolites.

Цеолитсодержащие материалы и цеолиты активно используют в технологии очистки сточных вод. Для повышения сорбционной емкости проводят их активацию (кислотную, щелочную, солевую, термическую). Для активации преимущественно используют природные цеолиты, в то время как на предприятиях накапливаются отработанные цеолитсодержащие катализаторы, утратившие свои каталитические свойства, в частности, отработанный катализатор крекинга нефти (ОКК). ОКК является композиционным материалом, состоящим из алюмосиликатной матрицы и цеолита типа Y, содержание которого достигает 30 %, что делает его перспективным сырьем

Целью работы являлось изучение сорбционных свойств материалов, полученных после кислотной обработки отработанного катализатора крекинга.

При выполнении работы проводили химическую активацию ОКК 10%-ми растворами серной кислот и азотной кислот. Сорбцию с

использованием полученных продуктов вели в статических условиях из водных растворов с заданной концентрацией ионов железа двух- и трехвалентного (диапазон концентраций от 1 мг/дм<sup>3</sup> до 100 мг/дм<sup>3</sup>, доза сорбента – 2,5 г/дм<sup>3</sup>, температура 20±2 °С, время сорбции – 3 ч). Концентрацию ионов металла определяли фотометрически с сульфосалициловой кислотой. При исследовании сорбции для исключения осаждения железа в виде гидроксидов, контролировали значение рН растворов.

По результатам экспериментальных исследований установлено, что величина полной статической обменной емкости (ПСОЕ) по ионам железа трехвалентного для отработанного катализатора крекинга составляет 0,64 мг-экв/г, для ОКК после обработки раствором серной кислоты – 2,78 мг-экв/г, азотной – 1,93 мг-экв/г. Величина ПСОЕ по ионам железа двухвалентного равна соответственно 0,59 мг-экв/г, 1,90 мг-экв/г и 1,07 мг-экв/г. Более высокая величина ПСОЕ для ионов железа трехвалентного, вероятно, объясняется тем, что при сорбции ионов с разными зарядами лучше сорбируется ион с более высоким зарядом. Полученные результаты согласуются с выполненными ранее исследованиями по получению сорбционных материалов из рассматриваемого отхода [1, 2].

По результатам исследования кинетики сорбции можно отметить, что для достижения ПСОЕ при сорбции ионов железа трехвалентного достаточно 3х часов, для ионов железа двухвалентного необходимо более 3х часов. Отмечено, что наиболее эффективным является сорбционный материал после сернокислотной обработки, степень очистки от ионов железа трехвалентного достигает 93%, двухвалентного – 81% (доза сорбента 1 г/дм<sup>3</sup>).

Результаты исследования показали, что материал, полученный после обработки ОКК раствором серной кислоты, сравним по сорбционным характеристикам с синтетическим цеолитом типа NaX, что свидетельствует о возможности и целесообразности использования цеолитсодержащего отхода в качестве сырья для его получения.

### **Список использованных источников**

1. Козловская, И.Ю. Кислотное выщелачивание лантана из отработанного катализатора крекинга / И. Ю. Козловская, В.Н. Марцуль // Журнал прикладной химии. – 2014. – Т.87, Вып.12. – С. 1735–1741.

2. Поконова, Ю.В. Органоминеральные сорбенты, полученные на основе цеолитов с использованием крекинг-остатков / Ю.В. Поконова //

УДК 66.071.6

**М.С. Кудрявцева, Е.А. Степанова,  
Д.Н. Шаблыкин, А.Н. Петухов**

Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского  
Нижний Новгород, Россия

**ОЧИСТКА ПРИРОДНОГО ГАЗА ОТ СЕРОВОДОРОДА И  
ДИОКСИДА УГЛЕРОДА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ  
ТЕХНОЛОГИИ ГАЗОГИДРАТНОЙ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ:  
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ  
ТЕМПЕРАТУРЫ, ДАВЛЕНИЯ И СОСТАВА СМЕСИ**

*Аннотация.* Проведено математическое моделирование возможности газогидратного извлечения сероводорода и диоксида углерода из природного газа. На основании полученных коэффициентов газогидратного распределения сделан вывод, что возможно эффективное газогидратное извлечение  $H_2S$  при температуре 268 К, давлении выше 6 МПа и начальной концентрации  $H_2S$  менее 5 об.%.

**M.S. Kudryavtseva, E.A. Stepanova,  
D.N. Shablykin, A.N. Petukhov**

National Research Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod  
Nizhny Novgorod, Russia

**REMOVAL OF HYDROGEN SULFIDE AND CARBON DIOXIDE  
FROM NATURAL GAS BASED ON GAS HYDRATE  
CRYSTALLIZATION TECHNOLOGY: MATHEMATICAL  
MODELING OF OPTIMAL TEMPERATURE, PRESSURE AND  
MIXTURE' COMPOSITION**

*Abstract.* Mathematical modeling of the possibility of gas hydrate extraction of hydrogen sulfide and carbon dioxide from natural gas was carried out. Based on the obtained gas hydrate distribution coefficients, it was concluded that effective gas hydrate extraction of  $H_2S$  is possible at a temperature of 268 K, a pressure above 6 MPa and an initial  $H_2S$  concentration of less than 5 vol.%.

Природный газ является самым чистым видом топлива, обеспечивая 24% от общего потребления энергии. Согласно международному энергетическому агентству, спрос на природный газ



увеличивается со скоростью 2% в год. Прежде чем природный газ с месторождения поступит потребителю, необходима его очистка с целью удаления вредных примесей. Например, кислых газов – сероводорода ( $\text{H}_2\text{S}$ ) и диоксида углерода ( $\text{CO}_2$ ). Около 40% месторождений природного газа содержат высокие количества  $\text{H}_2\text{S}$  и  $\text{CO}_2$ . Концентрация  $\text{H}_2\text{S}$  на Астраханском месторождении природного газа РФ может достигать 25 об.%, а концентрация  $\text{CO}_2$  может составлять 50 об.%. Присутствие  $\text{H}_2\text{S}$  и  $\text{CO}_2$  в природном газе недопустимо, т.к. их присутствие приводит к коррозии трубопровода, в низкотемпературных процессах  $\text{CO}_2$  замерзает и откладывается на поверхности теплообменного оборудования,  $\text{H}_2\text{S}$  токсичен, опасен для окружающей среды и вреден для катализаторов, используемых в газопереработке.

Таким образом, природный газ должен быть очищен от  $\text{H}_2\text{S}$  и  $\text{CO}_2$ . Конвенциональные технологии очистки природного газа (абсорбция, адсорбция, низкотемпературная ректификация) характеризуются высокими капитальными, операционными и эксплуатационными затратами, а также низкой производительностью, потерями растворителя и негативным воздействием на окружающую среду. В связи с этим, необходима разработка и внедрение энергоэффективной и экологически безопасной технологии разделения и очистки природного газа.

Одной из перспективных технологий газоразделения является технология газогидратной кристаллизации. Ее преимуществами являются низкие затраты энергии (т.к. процесс гидратообразования возможен при температурах выше 273.15 К и умеренных давлениях, в том числе при термобарических условиях, соответствующих блоку очистки природного газа), конструктивная простота модуля газогидратной кристаллизации и легкость масштабирования, высокая эффективность разделения из-за разницы в давлениях диссоциации газовых гидратов, единственным материалом является вода, которая может быть удалена на последующих стадиях, высокая емкость газа в газогидратной фазе из-за клатратной структуры газовых гидратов, благодаря которой 1 м<sup>3</sup> газового гидрата может вмещать до 180 объемов чистого газа. Таким образом, технология газогидратной кристаллизации представляется энергоэффективной и экологически безопасной.

В случае природного газа, основным компонентом которого является метан ( $\text{CH}_4$ ), вероятно, что газогидратная фаза будет обогащена  $\text{H}_2\text{S}$  и  $\text{CO}_2$  по сравнению с  $\text{CH}_4$ . Это связано с различным химическим средством  $\text{CH}_4$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{CO}_2$  в структуре газового гидрата.

Давление и температура блока очистки на различных месторождениях природного газа может значительно отличаться. Температура может составлять от 268.15 до 283.15 К, давление от 2.00 до 8.00 МПа [1-3]. Кроме того, состав месторождений природного газа может значительно отличаться [4-5]. В связи с этим, проведено математическое моделирование оптимальных условий процесса гидратообразования  $\text{H}_2\text{S}$  и  $\text{CO}_2$ . Это позволит подобрать оптимальные месторождения природного газа.

Моделирование проведено на модельных газовых смесях, приближенных к составу природного газа:  $\text{CH}_4$  (концентрация нормирована) –  $\text{C}_2\text{H}_6$  (4.00 об.%) –  $\text{C}_3\text{H}_8$  (1.00 об.%) –  $\text{n-C}_4\text{H}_{10}$  (1.00 об.%) –  $\text{CO}_2$  (1.50 об.%) –  $\text{H}_2\text{S}$  (0.30–22.50 об.%) –  $\text{N}_2$  (5.00 об.%) (смесь 1) и  $\text{CH}_4$  (концентрация нормирована) –  $\text{C}_2\text{H}_6$  (4.00 об.%) –  $\text{C}_3\text{H}_8$  (1.00 об.%) –  $\text{n-C}_4\text{H}_{10}$  (1.00 об.%) –  $\text{CO}_2$  (0.15–21.55 об.%) –  $\text{H}_2\text{S}$  (1.50 об.%) –  $\text{N}_2$  (5.00 об.%) (смесь 2).

Оценка эффективности проведена на основании коэффициентов газогидратного распределения ( $K_j$ ).  $K_j$  характеризует извлечение рассматриваемого  $j$ -го газа в газогидратной фазе относительно газовой смеси:

$$K_j = \frac{\langle \theta_{ji} \rangle \cdot \Sigma f_j}{f_j \cdot \Sigma \langle \theta_{ji} \rangle}, \quad (1)$$

где  $\langle \theta_{ji} \rangle$  – средняя доля  $i$ -ых газогидратных полостей, заполненных  $j$ -м газом;  $f_j$  – фугитивность  $j$ -го газа, МПа.

Из результатов математического моделирования получено, что при увеличении температуры процесса (в случае постоянной концентрации  $\text{H}_2\text{S}$ ), коэффициент газогидратного распределения  $\text{H}_2\text{S}$  уменьшается. Это связано с тем, что при увеличении температуры (в случае постоянного давления), уменьшается растворимость газов, следовательно, меньше растворенного  $\text{H}_2\text{S}$  адсорбируется в газогидратных полостях.

При увеличении температуры процесса (в случае постоянной концентрации  $\text{CO}_2$ ), коэффициент газогидратного распределения  $\text{CO}_2$  увеличивается, но незначительно. Это не является общепринятой зависимостью. Происходит конкурирующая адсорбция в газогидратных полостях. Это связано с различным изменением отношения константы Ленгмюра к фугитивности для  $\text{H}_2\text{S}$  и  $\text{CO}_2$ .

При увеличении давления процесса (при постоянных концентрациях  $\text{H}_2\text{S}$  и  $\text{CO}_2$ ), коэффициент газогидратного распределения  $\text{H}_2\text{S}$  и  $\text{CO}_2$  увеличивается.

При увеличении концентрации  $\text{H}_2\text{S}$  в исходной газовой смеси (при постоянном давлении и температуре), коэффициент

газогидратного распределения  $H_2S$  уменьшается. Несмотря на увеличение доли газогидратных полостей, заполненных  $H_2S$  (при увеличении концентрации  $H_2S$ ), сжимаемость, следовательно, фугитивность  $H_2S$  уменьшается. Таким образом, определяющую роль в Ур. (1) имеет фугитивность газовой фазы, а не средняя доля газогидратных полостей, заполненных  $H_2S$ .

При увеличении концентрации  $CO_2$  (при постоянном давлении и температуре), коэффициент газогидратного распределения  $CO_2$  увеличивается незначительно. Это связано с малым изменением средней доли газогидратных полостей, заполненных  $CO_2$ .

В случае исследованных параметров, максимальный коэффициент газогидратного распределения  $CO_2$  составил 0.49 при  $T=283.15$  К и  $P=8.00$  МПа. Таким образом, в рассматриваемой газовой смеси  $CO_2$  плохо концентрируется в газогидратной фазе. Следовательно, для его удаления необходимо применять другие методы газоразделения, например, мембраны. Максимальный коэффициент газогидратного распределения  $H_2S$  составил 42.05 при  $T=268.15$  К и  $P=8.00$  МПа. Таким образом, возможно эффективное газогидратное извлечение  $H_2S$  из природного газа на месторождении природного газа с низкими температурами (около 268.15 К), при давлении выше 6.00 МПа и начальной концентрации  $H_2S$  менее 5.00 об.%.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-79-01060, <https://rscf.ru/project/23-79-01060/>.

### Список использованных источников

1. Патент N 2576738 Российская Федерация, МПК F25J 3/08 (2006.01). Способ очистки природного газа и устройство для его осуществления : N 2014145778 : заявл. 14.11.2014 : опубл. 10.03.2016 / Крючков В.А. и др. - 19 с.
2. Gallagher J.E. Natural gas Measurement handbook. - Houston: Gulf Publishing Company, 2006. - 425 p.
3. Широкова Г.С., Елистратов М.В. Комплексная очистка природного газа для получения СПГ // Транспорт на альтернативном топливе. - 2011. - Т. 20, № 2. - С. 42-47.
4. Mokhatab S., Poe W.A., Mak J.Y. Handbook of natural gas transmission and processing: principles and practices: 4th ed. - Cambridge: Gulf Professional Publishing, 2018. - 862 p.
5. Speight J.G. Natural gas: A basic handbook: 2nd ed. - Cambridge: Gulf Professional Publishing, 2018. - 462 p.

УДК 621.313.12

**Д.В. Кукис, Т.Г. Климова, Я.Е. Тепикин, И.С. Резников,  
А.М. Балабанов**  
НИУ «МЭИ»  
Москва, Россия

## **АЛГОРИТМ МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА ПО ДАННЫМ УСВИ**

*Аннотация.* В работе рассмотрен метод мониторинга синхронного генератора и предложены алгоритмы для определения параметров генераторов по данным тока и напряжения. Также представлена пространственная модель генератора.

**D.V. Kukis, T.G. Klimova, Y.E. Tepikin, I.S. Reznikov,  
A.M. Balabanov**  
National Research University "MPEI"  
Moscow, Russia

## **ALGORITHM OF SYNCHRONOUS GENERATOR CONDITION MONITORING BASED ON PMU DATA**

*Abstract.* In this paper, a method of synchronous generator monitoring is considered and algorithms are proposed to determine generator parameters from current and voltage data. A spatial model of the generator is also presented.

### **Введение**

Одной из ключевых частей электроэнергетической системы является генератор. От его состояния напрямую зависит надёжность электроснабжения потребителей, а его непредвиденный отказ может привести к большому недоотпуску электроэнергии и, как следствие, к экономическим потерям. Необходимо снижать риск отказа генераторного оборудования, чтобы избежать этого. На состояние генератора сильно влияет срок его эксплуатации. Жизненный цикл турбогенератора по ГОСТ 533-2000 в настоящее время составляет 40 лет. Отечественная и зарубежная практика показывает, что фактический срок эксплуатации турбогенераторов зачастую существенно превышает срок, заявленный производителем. В таких обстоятельствах одной из важнейших задач становится оценка остаточного ресурса турбогенератора по результатам комплексного обследования.

В данной работе для осуществления принципа непрерывного мониторинга предполагается использовать цифровую модель генератора, параметры которого будут сравниваться с параметрами

эталонной модели в ходе эксплуатации. Любое изменение в конструктивных параметрах генератора, будь то смещение ротора или слом зубца, ведет к изменению собственных и взаимных индуктивностей обмоток генератора. Это значит, что, отслеживая фазные параметры обмоток, мы способны оценить и общее состояние машины.

На основе параметров режима, измеряемых устройствами синхронизированных векторных измерений, возможно получить значения синхронных, переходных и сверхпереходных сопротивлений по продольной и поперечной осям. Также используется пространственная модель генератора для анализа сложных процессов, происходящих в машине. На основе этих данных строится цифровой двойник, считающийся отправной точкой. Далее вследствие эксплуатации ненормальных режимов и общего старения параметры станут изменяться, что будет видно из режима. Зная, как изменились параметры генератора в  $dq0$ -координатах, мы сможем оценить, как изменились амплитуды составляющих индуктивностей обмоток, что позволит нам судить о поломке или состоянии, близком к поломке.

#### ***Описание используемой модели генератора***

Рассмотрим идеальный трехфазный генератор в установившемся режиме, что позволяет не рассматривать демпферные контуры. В такой машине имеется четыре замкнутых контура: фазные обмотки  $A$ ,  $B$ ,  $C$  и обмотка возбуждения  $f$ . Для описания машины в фазных координатах необходимо рассчитать значения собственных и взаимных индуктивностей. Допущения модели не отличаются от введенных Горевым А.А [1]. Отметим, что использование модели генератора в фазных координатах позволяет рассматривать внутренние повреждения генератора, в то время как модель в  $dq0$  требует симметричности машины. В случае повреждения генератора индуктивности и взаимные индуктивности можно представить в виде:

$$L_a = k_{wa}^2 (L_{ls} + L_A - L_B \cos(2\gamma));$$

$$L_b = k_{wb}^2 \left( L_{ls} + L_A + L_B \cos\left(2\gamma + \frac{2\pi}{3}\right) \right);$$

$$L_c = k_{wc}^2 \left( L_{ls} + L_A + L_B \cos\left(2\gamma - \frac{2\pi}{3}\right) \right);$$

$$M_{ab} = k_{wa} k_{wb} \left( \frac{1}{2} L_A + L_B \cos\left(2\gamma - \frac{2\pi}{3}\right) \right);$$

$$M_{bc} = k_{wb}k_{wc} \left( \frac{1}{2}L_A + L_B \cos(2\gamma) \right);$$

$$M_{ac} = k_{wa}k_{wc} \left( \frac{1}{2}L_A + L_B \cos(2\gamma + 2\pi/3) \right);$$

Задача мониторинга сводится к нахождению коэффициентов  $L_A$ ,  $L_B$ ,  $L_{ls}$ ,  $L_{sfd}$ ,  $R_a$ ,  $R_b$ ,  $R_c$ ,  $R_f$ . Задача идентификации симметричной машины на этом можно считать поставленной, однако для несимметричного повреждения стоит учесть, что параметры будут изменяться от фазы к фазе. С одной стороны, можно ограничиться введением переменных для каждой фазы, что является универсальным способом, однако требует большие вычислительные мощности. С другой стороны, можно ввести коэффициенты  $k_{wa}$ ,  $k_{wb}$ ,  $k_{wc}$ ,  $k_{wf}$ , которые бы характеризовали количество неповрежденных витков в обмотке.

### **Создание пространственной модели**

*ANSYS Maxwell* позволяет реализовать пространственную модель синхронного генератора методом конечных элементов (*Finite Element Method — FEM*) [2]. Выбор данного программного обеспечения был сделан по причине возможности моделирования развивающихся дефектов в синхронном генераторе, таких как: межвитковые замыкания, замыкания на землю и так далее.

Объектом моделирования стал генератор ТВФ-110-2ЕУЗ со следующими параметрами. Для определения параметров необходимо провести следующие опыты: определение характеристик холостого хода, определение синхронного индуктивного сопротивления по продольной оси, определение переходного индуктивного сопротивления, определение постоянных времени. В ходе выполнения опытов были проведены представленные выше опыты и вычисления на модели синхронного генератора ТВФ-110-2ЕУЗ в *Ansys Maxwell*. Были получены следующие параметры, сведенные в таблицу 1.

**Таблица 1 – Параметры модели генератора**

	Реактивность, о.е.		Постоянная времени, сек.		
	$X_d$	$X'_d$	$T'_{d0}$	$T'_{d3}$	$T_{a3}$
Реальное значение	2,037	0,271	6,7	0,89	0,41
Модель Ansys	2,03	0,1777	7,43	0,65	0,55
Погрешность, %	0,34	34,42	-10,94	27,28	-34,21

Погрешность определения достигает 34%, однако это может быть связано как с неверно снятыми данными с реальной машины, так и с ошибками в исходных данных. Так или иначе, на этом этапе нас в

большей степени интересует характер изменения величин, нежели их точное значение.

### **Определение параметров генератора**

При мониторинге на вход программы будут поступать данные тока и напряжения с генератора. Это значит, что с заданной частотой дискретизации можно получать мгновенные значения токов и напряжений, которые дают уравнения. Для определения параметров можно использовать аналитические методы, методы оптимизации и методы машинного обучения. Аналитические методы не дают достаточной точности и применимы только для определенных режимов, к тому же по ним можно определить лишь ограниченное число параметров. Методы оптимизации позволяют искать большее число параметров в различных режимах, однако они могут найти локальный минимум, в силу чего требуется использовать дополнительные уравнения [3]. Также, для облегчения нахождения параметров генератора, можно, зная параметры холостого хода, определить  $L_{sfd}$  не составляя при этом системы линейных алгебраических уравнений.

Определим с помощью вышеописанных способов сначала  $L_{md}$  из режима холостого хода, а затем, с помощью метода оптимизации, из нагрузочного режима определим  $L_A$ ,  $L_{ls}$  и  $L_B$ . Верификация работы алгоритма требует данных либо с реального оборудования, либо с математической модели. Так как требуется генерация данных в несимметричных режимах, то необходим комплекс, в котором используется модель в фазных координатах. Таким комплексом выступает ПАК *RTDS*. Для каждого генератора при определении параметров были использованы режимы холостого хода и нагрузочный режим. В данной статье рассматриваются симметричные режимы, однако дальнейшие исследования проводятся в том числе для режимов с внутренними короткими замыканиями.

Далее, с помощью перехода к паспортным параметрам генератора, описанного выше получим следующие значения:

	$X_d$ , о.е.	$X_q$ , о.е.	$L_{ls}$ , о.е.
Генератор 1	2,130	1,090	0,330
Рассчитанные параметры для генератора 1	2,123	1,073	0,323
Погрешность, %	0,330	1,560	2,120
Генератор 2	1,880	1,600	0,208
Рассчитанные параметры для генератора 2	1,878	1,582	0,206
Погрешность, %	0,100	1,125	0,960

Относительная погрешность лежит в пределах 2%, что свидетельствует о достаточной точности проведенных расчетов. Точность определения параметров напрямую зависит от апериодической составляющей в токе статора: чем выше уровень апериодической составляющей, тем больше ошибка определения паспортных параметров. Особенно сильно это сказывается на синхронном сопротивлении поперечной оси.

### ***Заключение***

Предложенный в работе метод позволяет определять параметры генератора и на основе данных пространственного моделирования предупреждать о витковых замыканиях и других распространенных повреждениях. Полученные результаты соответствуют требованиям точности определения параметров, что говорит о том, что представленные алгоритмы могут быть использованы для дальнейших исследований. По мнению авторов, перспективными направлениями дальнейших исследований являются:

- уточнение методов мониторинга и диагностики генераторов и областей их применимости;
- изучение влияния различных повреждений на параметры генератора;
- уточнение перечня необходимых параметров и электрических величин для их идентификации и сравнения с математической моделью синхронного генератора.

### **Список использованных источников**

1. Горев А.А. Переходные процессы синхронной машины. Л.: Наука, 1985.
2. Буль О.Б. Методы расчета магнитных систем электрических аппаратов. Программа ANSYS, учеб. пособие для студентов высших учебных заведений. М.: Академия, 2006. 288 с.
3. Тепикин Я.Е., Клинов И.В., Рафиков В.Р. и др., Определение параметров в трехконтурной модели Горева//V Международная молодёжная научно-техническая конференция IEEE «Релейная защита и автоматика, 2022.



**ЗАКОН СОХРАНЕНИЯ ЭНЕРГИИ СМЕСИ ИДЕАЛЬНЫХ  
ГАЗОВ**

*Аннотация.* На основе исследований в электрических цепях делается предположение, что запись закона сохранения энергии идеальных газов должна содержать коэффициент взаимосвязи от конфигурации взаимодействующих объемов. Приводится вывод выражения для коэффициента взаимосвязи и численный пример, доказывающий выдвинутое предположение.

**T.A. Kuliev, M.G. Kelova**Turkmen State Architecture and Construction Institute  
Ashgabat, Turkmenistan**LAW OF CONSERVATION OF ENERGY OF A MIXTURE OF  
IDEAL GASES**

*Abstract.* Based on research in electrical circuits, it is assumed that the record of the law of conservation of energy for ideal gases should contain a coefficient of interaction from the configuration of interacting volumes. The derivation of the expression for the relationship coefficient and a numerical example proving the assumption are given.

При исследовании электрических цепей с реактивными элементами (конденсаторы и индуктивные катушки) было установлено, что при изменении конфигурации электрической цепи (например, последовательное или параллельное соединение) в запись законов сохранения необходимо вводить коэффициент электрической взаимосвязи [1].

Например, закон сохранения магнитных потоков должен выглядеть для двух индуктивных катушек в таком виде

$$I_1 \cdot L_1 + I_2 \cdot L_2 = K_L \cdot I \cdot L \quad (1)$$

Закон сохранения зарядов для двух конденсаторов – в таком виде

$$C_1 \cdot U_1 + C_2 \cdot U_2 = K_C \cdot C \cdot U \quad (2)$$

где  $K_L$  и  $K_C$  – коэффициенты электрической взаимосвязи;  $L_1, L_2, C_1, C_2$  – индуктивности катушек и емкости конденсаторов;  $L$  и  $C$  –

индуктивность и емкость в результате соединения индуктивных катушек и конденсаторов;  $I_1, I_2, U_1, U_2$  – токи и напряжения на индуктивных катушках и конденсаторах;  $I$  и  $U$  – ток и напряжение после соединения индуктивных катушек, конденсаторов.

При этом в записях законов сохранения можно выделить следующие элементы: постоянный параметр; параметр, характеризующий воздействие на систему; параметр, характеризующий реакцию на воздействие; параметр, характеризующий результат воздействия.

В законе сохранения энергии идеальных газов, для смеси двух газов должен также присутствовать коэффициент взаимосвязи газов  $K_V$

$$P_1 \cdot V_1 + P_2 \cdot V_2 = K_V \cdot P \cdot U \quad (3)$$

Для газовых законов постоянным параметром является объем –  $V$ , температура  $T$  – параметр воздействия на систему, давление  $P$  – параметр реакции на воздействие, энергия газа  $W = P \cdot V$  – результат воздействия.

По результатам воздействия законы сохранения носят то или иное название: закон сохранения магнитных потоков  $\Phi = I \cdot L$ ; закон сохранения зарядов  $q = C \cdot U$ ; закон сохранения энергии идеальных газов  $W = P \cdot V$ .

Экспериментально установлено, что коэффициенты взаимосвязи равны единице, если при изменении конфигурации системы постоянный параметр меняется в виде суммы постоянных параметров исходных элементов [2], то есть

$$V = V_1 + V_2; L = L_1 + L_2; C = C_1 + C_2 \quad (4)$$

Если при изменении конфигурации системы постоянный параметр меняется в виде

$$\frac{1}{V} = \frac{1}{V_1} + \frac{1}{V_2}; \quad \frac{1}{L} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2}; \quad \frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}; \quad (5)$$

то коэффициент взаимосвязи намного больше единицы. Выясним, что представляет собой коэффициент взаимосвязи для газовой смеси идеальных газов  $K_V$ .

Для простоты рассмотрим два объема идеальных газов, для которых энергетические состояния при  $T = \text{const}$  будут определяться по уравнению Менделеево-Клапейрона

$$P_1 V_1 = \frac{m_1}{\mu_1} RT, \quad P_2 V_2 = \frac{m_2}{\mu_2} RT \quad (6),$$

где  $m_1$  и  $m_2$  – массы газов, кг

$\mu_1, \mu_2$  – молярные массы газов, кг/моль

$R=8,314 \frac{\text{Дж}}{\text{моль}\cdot\text{К}}$  – универсальная газовая постоянная,

$T$  – постоянная температура, К

Отсюда имеем

$$P_1 V_1 + P_2 V_2 = \frac{m_1}{\mu_1} + \frac{m_2}{\mu_2} RT \quad (7),$$

Для смеси газов

$$PV = \frac{m_1 + m_2}{\mu_{\text{см}}} RT \quad (8),$$

где  $\mu_{\text{см}}$  – молярная масса смеси газов.

После преобразования, имеем

$$\frac{P_1 V_1 + P_2 V_2}{PV} = \frac{\frac{m_1 + m_2}{\mu_1} + \frac{m_2}{\mu_2}}{\frac{m}{\mu_{\text{см}}}} RT, \quad P_1 V_1 + P_2 V_2 = PV \cdot \left( \frac{\frac{m_1 + m_2}{\mu_1} + \frac{m_2}{\mu_2}}{\frac{m}{\mu_{\text{см}}}} \right)$$

$$P_1 V_1 + P_2 V_2 = K_V \cdot P \cdot V \quad (9),$$

где  $K_V = \frac{\frac{m_1 + m_2}{\mu_1} + \frac{m_2}{\mu_2}}{\frac{m}{\mu_{\text{см}}}}$  – коэффициент взаимосвязи газов

В случае равенства молярных масс газов  $\mu_1 = \mu_2 = \mu_{\text{см}}$  коэффициент взаимосвязи газов равен единице  $K_V = 1$ .

В случае неравенства молярных масс  $\mu_{\text{см}} = \frac{m}{\frac{m_1}{\mu_1} + \frac{m_2}{\mu_2}}$  и  $K_V$  тоже равен единице.

Таким образом для данной конфигурации газов, когда  $V = V_1 + V_2$ , коэффициент взаимосвязи газов равен единице  $K_V = 1$ , поэтому закон сохранения для идеальных газов выглядит так

$$P_1 V_1 + P_2 V_2 = P \cdot V \quad (10),$$

В данном случае справедливы законы Дальтона и Амага [3, 4]

$$P = \frac{P_1 V_1}{V} + \frac{P_2 V_2}{V} = P' + P'' \text{ – закон Дальтона} \quad (11),$$

$$V = \frac{P_1 V_1}{P} + \frac{P_2 V_2}{P} = V' + V'' \text{ – закон Амага} \quad (12),$$

где  $P', P'', V', V''$  – парциальные составляющие давления и объема.

Закон Дальтона и Амага являются проявлениями принципа парциальных составляющих [5] для физических линейных систем.

Можно рассмотреть численный пример, подтверждающий, что при конфигурации постоянного параметра  $V = V_1 + V_2$  коэффициент взаимосвязи  $K_V = 1$  и выполняются законы Дальтона и Амага.

Пусть даны следующие параметры объединяемых газов:

He – гелий	Ne – неон	
$P_1 = 40 \cdot 10^2 \text{ Па}$	$P_2 = 10 \cdot 10^2 \text{ Па}$	$T = 280 \text{ К}$
$V_1 = 1,0 \text{ л} = 1 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$	$V_2 = 3 \text{ л} = 3 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$	
$R = 8,314 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$		
$\mu_1 = \mu_{\text{He}} = 4 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{моль}}$	$\mu_2 = \mu_{\text{Ne}} = 20 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{моль}}$	

Найдем массы газов из выражений

$$P_1 V_1 = \frac{m_1}{\mu_1} RT, \quad P_2 V_2 = \frac{m_2}{\mu_2} RT$$

$$m_{\text{He}} = m_1 = \frac{P_1 V_1 \mu_1}{RT} = \frac{40 \cdot 10^2 \cdot 1 \cdot 10^{-3} \cdot 4 \cdot 10^{-3}}{8,314 \cdot 280} = 6,87 \cdot 10^{-6} \text{ кг}$$

$$m_{\text{Ne}} = m_2 = \frac{P_2 V_2 \mu_2}{RT} = \frac{10 \cdot 10^2 \cdot 3 \cdot 10^{-3} \cdot 20 \cdot 10^{-3}}{8,314 \cdot 280} = 25,8 \cdot 10^{-6} \text{ кг}$$

Молярная масса смеси газов равна

$$\mu_{\text{см}} = \frac{m}{\frac{m_1}{\mu_1} + \frac{m_2}{\mu_2}} = \frac{(6,87 + 25,8) \cdot 10^{-6}}{\frac{6,87 \cdot 10^{-6}}{4 \cdot 10^{-3}} + \frac{25,8 \cdot 10^{-6}}{20 \cdot 10^{-3}}} = 10,85 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{моль}}$$

Коэффициент взаимосвязи газов равен

$$K_V = \frac{\frac{6,87 \cdot 10^{-6}}{4 \cdot 10^{-3}} + \frac{25,8 \cdot 10^{-6}}{20 \cdot 10^{-3}}}{\frac{32,67 \cdot 10^{-6}}{10,85 \cdot 10^{-3}}} = 0,9996 \cong 1$$

Проверим выполнение законов Дальтона и Амага

$$P = \frac{P_1 V_1}{V} + \frac{P_2 V_2}{V} = \frac{40 \cdot 10^2 \cdot 1 \cdot 10^{-3}}{4 \cdot 10^{-3}} + \frac{10 \cdot 10^2 \cdot 3 \cdot 10^{-3}}{4 \cdot 10^{-3}} = 1000 + 750 = 1750 \text{ Па}$$

$$V = \frac{P_1 V_1}{P} + \frac{P_2 V_2}{P} = \frac{40 \cdot 10^2 \cdot 1 \cdot 10^{-3}}{1750} + \frac{10 \cdot 10^2 \cdot 3 \cdot 10^{-3}}{1750} = 2,286 \cdot 10^{-3} + 1,714 \cdot 10^{-3} = 4 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$$

$$P_1 V_1 + P_2 V_2 = P \cdot V \quad 4+3=1750 \cdot 4 \cdot 10^{-3}=7$$

### Список использованных источников

1. Т. Kuliýew, А. Çoşşiyewa. Üýtgeýän toguň elektrik zynjyrlarynda magnit meýdanynyň akymilişmesiniň saklanmak kanuny. Garaşsyzlyk ýyllarynda gurluşyk senagat pudagyň ylmy-innowasion özgerişleri. Makalalar ýygýndysy (TDBGI-niň ylmy işleri, 2-nji goýberiliş). – Aşgabat: Ýlym, 2021. – 352 sah.
2. Т. Kuliýew, Ý. Tyllanurow. Üýtgeýän toguň elektrik baglanyşykly ulgamlarynda energiýanyň saklanmak kanunlary. Berkarar döwletiň täze eýýamynyň Galkynyşy döwrüniň ylmy gadamlary (makalalar ýygýndysy). – А.: Ýlym, 2022. – 400 sah.
3. Казин В.Н. Курс физической химии. – Ярославль; ЯРГУ, 2011. – 236 с.
4. Цивилев Р.П. Введение в физическую химию газов и жидкостей. – Ухта.: УГТУ, 2004. – 72 с.
5. Т. Kuliýew, А. Çoşşiyewa. Fiziki hadysalarda parsional düzjileriň prinsipi. Berkarar döwletiň täze eýýamynyň Galkynyşy döwrüniň ylmy gadamlary (makalalar ýygýndysy). – А.: Ýlym, 2022. – 400 sah.

UDC 66.021.3

**R.I. Lankin, V.S. Frantskevich**  
Belarussian State Technological University  
Minsk, Belarus

### RESEARCH OF MASS TRANSFER APPARATUS WITH A MOVABLE PACKING

*Abstract.* In the chemical industry, petrochemical, construction, metallurgical, mining and chemical and other industries, packed and plate columns are used for the mass transfer process.

**Р.И. Ланкин, В.С. Франкевич**

Белорусский государственный технологический университет  
Минск, Беларусь

## **ИССЛЕДОВАНИЕ МАССООБМЕННЫХ АППАРАТОВ С ПОДВИЖНОЙ НАСАДКОЙ**

*Аннотация.* В химической промышленности, а также в нефтехимической, строительной, металлургической, горно-химической и других промышленности применяются насадочные и тарельчатые колонны для процесса массообмена.

The development of industry with an increase in production volume is accompanied by emissions of industrial gases into the atmosphere. Purification of waste gases should ensure the recovery of valuable components and protection of the environment pollution. generally, a large volume of gas phase is supplied for purification, which requires a high degree of component extraction [1].

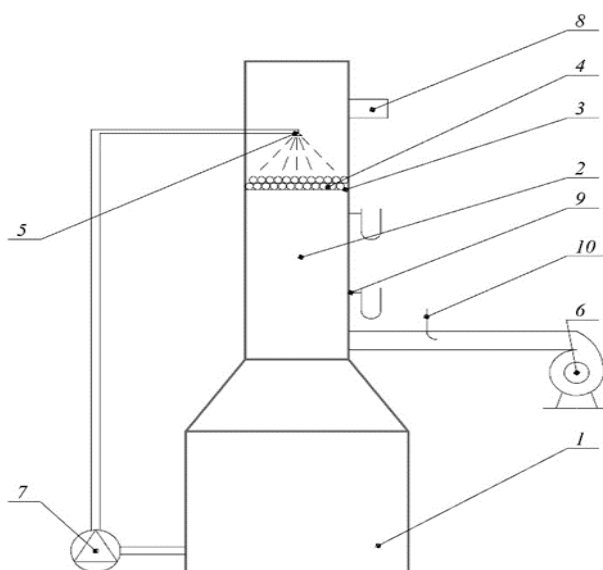
Absorption and desorption are the main applications of randomly packed columns, since separation processes generally occur in a moderate temperature range. Accentuation should be given to packed fills with random filling, which are characterized by low pressure drop, low specific gravity, good wettability by liquid, which leads to a reduction in the size of the structure and a reduction in operating costs. The discrepancy between disordered and structured packings in terms of hydraulic and mass transfer behavior has decreased over the past 10 years [2].

Absorption devices with a movable nozzle are most often used. Such apparatus is simple in design and effective. One of the significant advantages is the ability to work with liquids that, in contact with gases, release a solid phase and clog the plates and packing of typical absorbers. They differ from other classes of mass transfer apparatus in that the packed fills perform chaotic movements, and the path traveled by each element of the packing is different and unique in its own way, which significantly complicates their study [3].

The movable nozzle in the absorption columns works as apparatus for dispersing liquid, as well as distributing gas throughout the entire cross-sectional volume of the layer, which increases the degree of utilization of the kinetic energy of gas and allows working with high efficiency on distribution devices with a large free cross-section.

The disadvantages of this apparatus, noted during exploitation, can be considered the irregularly distribution of the gas phase in the over-plate space, both across the cross section and along the height of the column, and formation of dead area inside the packing.

The laboratory absorber was designed for the study (pic. 1) [3].



1 – tank; 2 – casing of apparatus; 3 – plate; 4 – packing; 5 – nozzle; 6 – fan; 7 – pump; 8 – outlet pipe; 9 – valve for measuring differential pressure with U-shaped differential pressure gauges, 10 – pitot tube

**Pic. 1 - Laboratory absorber**

The laboratory absorber consists of a cylindrical tank 1 with a conical part, on which a cylindrical vertical casing 2 is attached using a flange connection. A plate 3 with a ball packing 4 poured onto it is installed inside.

During operation of the absorber, gas moves in the voids between the packing and inside them in countercurrent to the liquid circulating in a closed circuit.

Before starting work, tank 1 was filled with water, from which the liquid was pumped by pump 7 and entered the column. To ensure uniform supply of liquid across the cross-section of the device, a nozzle 5 is provided. Under the influence of gravity, it flows back into the tank. Air was supplied using a fan 6, passed through the column and left it through the outlet pipe 8.

Water consumption was measured with a flow meter. The air flow rate was adjusted by changing the rotation speed of the impeller using a frequency converter. The air flow was determined by a differential pressure gauge connected to a pitot tube 10, the pressure drop was determined through a valve for measuring the differential pressure with a U-shaped differential pressure gauge 9. During the experiment, three types of plates were manufactured [4].

During experiments and modeling, a plate was selected, which subsequently underwent industrial testing at one of the plants of the Republic of Belarus. As a result, it was found that the hydraulic resistance of the plate decreased, and a more equable distribution of the movable ball packing

across the cross section of the apparatus during its operation was noted, which was observed through the viewing window.

Due to the fact that the elements of the packing, being in a suspended state, perform chaotic and pulsating movements, and also in the volume of the gas purification layer, the direction of movement and the length of the travel path of each element of the packing are of an equally probable and random nature, an absorption installation was designed with a diameter slightly larger than the diameter of the ball. This absorber uses one element of a movable packing, 4 different designed packing designs [5].

At the moment, computer modeling is being carried out to study the hydraulic resistance of the packing element using a computer model of the hydrodynamics of gas-liquid flows.

### References

1. Ланкин Р.И., Францкевич В.С. Гидравлическое сопротивление абсорбера с подвижной шаровой насадкой / Труды БГТУ. Сер. 2, Хим. технологии, биотехнология, геоэкология. – 2022. – № 2(259). – С. 107–114.
2. Maćkowiak J. Fluid Dynamics of Packed Columns. Principles of the Fluid Dynamic Design of Columns for Gas/Liquid and Liquid/Liquid Systems. – Heidelberg: Springer-Verlag, 2010. – 355 p.
3. Ланкин, Р.И., Францкевич В.С. Влияние геометрических параметров опорно-распределительных решеток на гидродинамику в массообменном аппарате с подвижной шаровой насадкой / Вестник Полоцкого государственного университета. Серия В, Промышленность. Прикладные науки. – 2023. – № 2. – С. 108–112.
4. Ланкин Р.И., Францкевич В.С. Влияние конструкции опорной решетки на гидродинамику в массообменном аппарате // Химическая технология и техника: Химическая технология и техника: материалы 87-й науч.-техн. конф. професс.-преподават. состава, науч. сотрудников и аспирантов / Минск (31 янв. – 12 февр. 2023 г.) – Минск: БГТУ, 2023. – С. 85–87.
5. Ланкин Р.И., Францкевич В.С. Исследование формы элемента насадки на гидродинамику в массообменном аппарате с подвижной насадкой // Нефтегазохимия-2023: материалы VI Международного научно-технического форума по хим. технологиям и нефтегазопереработке / Минск (1–3 ноября 2023 г.) – Минск: БГТУ, 2023. – С. 199–203.



УДК 620.95:662.638

**А.В. Ледницкий, П.А. Протас, Ю.И. Мисуно**  
Белорусский государственный технологический университет  
Минск, Беларусь

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ В ЦЕЛЯХ РАЗВИТИЯ ЗЕЛЕННОЙ ЭКОНОМИКИ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ**

*Аннотация.* В материале приведены результаты исследований в области внедрения ВИЭ в Республике Беларусь, которые свидетельствуют, что дальнейшее внедрение возобновляемых источников энергии будет способствовать обеспечению «зеленого» экономического роста, энергетической безопасности страны и достижению Целей устойчивого развития.

**A.V. Lednitskiy, P.A.I. Protas, Yu.I. Misuna**  
Belarusian State Technological University  
Minsk, Belarus

## **USING RENEWABLE ENERGY SOURCES TO DEVELOP A GREEN ECONOMY IN THE REPUBLIC OF BELARUS**

*Abstract.* The material presents the results of research in the field of RES implementation in the Republic of Belarus, which show that further introduction of renewable energy sources will contribute to ensuring «green» economic growth, energy security of the country and achievement of the Sustainable Development Goals.

В Республике Беларусь валовое потребление топливно-энергетических ресурсов в 2020 году составило 37 млн. тонн угольного эквивалента (26 млн. тонн нефтяного эквивалента или 1 086 ПетаДж) и только на 17,1% обеспечивается собственными ресурсами (таблица 1) [1]. Энергетическая зависимость страны составляет 83% (отношение чистого импорта топливно-энергетических ресурсов к их валовому потреблению). Согласно данным Национального статистического комитета Республики Беларусь – Беларусь входит в двадцатку наиболее энергозависимых стран мира [1, 2].

В структуре валового потребления топливно-энергетических ресурсов наибольшую долю занимает газ природный – 59%, который импортируются из России [2].

**Таблица 1 - Сводный энергетический баланс Республики Беларусь, тысяч тонн условного топлива (в угольном эквиваленте)**

Показатель	Годы					
	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Производство (добыча)	5 143	5 270	5 665	5 964	6 261	6 341

из него из ВИЭ	2 028	2 023	2 271	2 394	2 689	2 881
Импорт	57 345	51 036	51 750	52 909	52 679	46 496
Экспорт	26 713	21 396	20 456	19 765	20 445	15 439
Изменение запасов	+495	+895	-108	-702	-485	-339
Валовое потребление топливно-энергетических ресурсов	36 270	35 805	36 851	38 406	38 010	37 059

Среди добываемых, заготавливаемых и производимых топливно-энергетических ресурсов на территории Республики Беларусь преобладают нефть (39%), древесное топливо (27%) и торф (8%). Доля попутного горючего газа составляет всего 6%. Совсем незначительной в 2020 году была доля ветро-, гидро-, солнечной и геотермальной энергии – 1,5%, однако этот показатель выше по сравнению с 2015 годом, когда процент использования данного вида энергии составлял всего – 0,4% (таблица 2) [1].

**Таблица 2 - Производство (добыча) топливно-энергетических ресурсов, тыс. т у.т.**

Вид ТЭР	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Нефть	2 352	2 352	2 360	2 388	2 417	2 445
Газ природный попутный	371	355	338	348	360	361
Торф топливный	340	495	654	789	767	529
Дрова	1 357	1 457	1 532	1 721	1 781	1 719
Биогаз	14	13	16	17	16	74
Прочая биомасса	637	523	650	589	805	993
Ветро-, гидро-, солнечная и геотермальная энергия	20	30	73	67	87	95
Атомная энергия	–	–	–	–	–	112
Невозобновляемые отходы	52	45	42	45	28	13
Всего	5 143	5 270	5 665	5 964	6261	6341

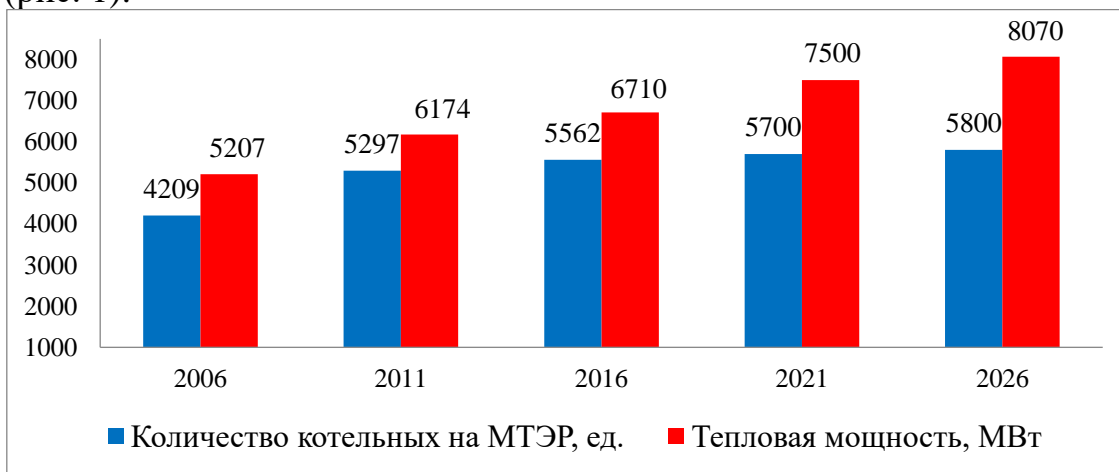
В целях диверсификации поставщиков энергоресурсов, сокращения выбросов загрязняющих веществ и парниковых газов в атмосферу в Республике Беларусь предусмотрены меры по вытеснению

органического топлива из топливного баланса энергосистемы ядерным топливом и возобновляемыми источниками энергии (ВИЭ). Повышение потенциала использования ВИЭ является одним из приоритетов развития «Зеленой экономики» и выполнения Республикой Беларусь обязательств в области достижения Целей устойчивого развития (ЦУР) на период до 2030 года.

По состоянию на 01.04.2022 в Республике Беларусь действовали установки по использованию ВИЭ с суммарной установленной электрической мощностью 627,8 МВт (в том числе солнце 43,4 %, ветер 19,1 %, ГЭС 15,3 %, биомасса 16 %, биогаз 6,1 %), что в семь раз превышает этот же показатель восьмилетней давности – 88 МВт. Планируется, что к 2025 году в результате строительства установок по использованию ВИЭ, их установленная электрическая мощность возрастет до 700 МВт [3].

Технический потенциал белорусских рек оценивается в 200 МВт, и в настоящее время практически половина его уже используется. При этом потенциал энергии ветра и солнца может быть развит в Беларуси значительно больше. Однако по экономическим соображениям в последние 20 лет наибольшее развитие среди возобновляемых источников энергии получило древесное топливо.

Необходимо отметить, что в Республике Беларусь уже длительное время функционирует рынок древесного топлива. На начало 2023 года в Беларуси работало 11 мини-ТЭЦ и более 5000 котельных, использующих в качестве топлива дрова и топливную щепу (рис. 1).



**Рис. 1 - Динамика строительства энергоисточников на местных ТЭР в период с 2006 по 2026 годы [3]**

В некоторых случаях на мини-ТЭЦ, например, Осиповичской мини-ТЭЦ и Белорусской ГРЭС, в качестве топлива используют смесь из древесной топливной щепы и торфа. В стране насчитывается более

10000 котлов, работающих на древесной биомассе, при этом их тепловая мощность варьируется от 12 кВт до 20 МВт. Мощность турбин на мини-ТЭЦ варьируется от 1,3 до 4,3 МВт.

В настоящее время в Беларуси имеются мощности по заготовке более 10 млн. м<sup>3</sup> дровяной древесины, производству более 3 млн. м<sup>3</sup> в год древесной топливной щепы и более 600 тыс. тонн древесных топливных пеллет. При этом только в лесхозах Министерства лесного хозяйства действует 54 производства по изготовлению древесной топливной щепы суммарной мощностью 1,8 млн. м<sup>3</sup> в год и 13 производств древесных топливных гранул суммарной мощностью 280 тыс. тонн в год.

Для заготовки возрастающих объемов древесины и производства древесного топлива в Белорусском государственном технологическом университете (г. Минск) был разработан комплекс технологий и ряд отечественных машин с использованием импортных узлов и агрегатов [4]. Кроме того, учеными университета были сформированы «Рекомендации по переходу на торговлю древесной биомассой на основании ее теплотворной способности в Беларуси». Также был разработан «Проект инструкции по приемке и учету древесного топлива на энергетических объектах» [5].

При этом доля возобновляемых источников энергии в валовом потреблении ТЭР выросла, начиная с 2005 года с 4,2% до 7,8% в 2020 году и должна составить 9% к 2035 году (рис. 2). Данные тенденции по использованию ВИЭ в Республике Беларусь, а также динамика выбросов парниковых газов позволяют сделать вывод о том, что установившаяся практика и дальнейшая реализация государственных программ позволят осуществить дальнейшее сокращение выбросов парниковых газов и выполнить Республике Беларусь взятые на себя обязательства.

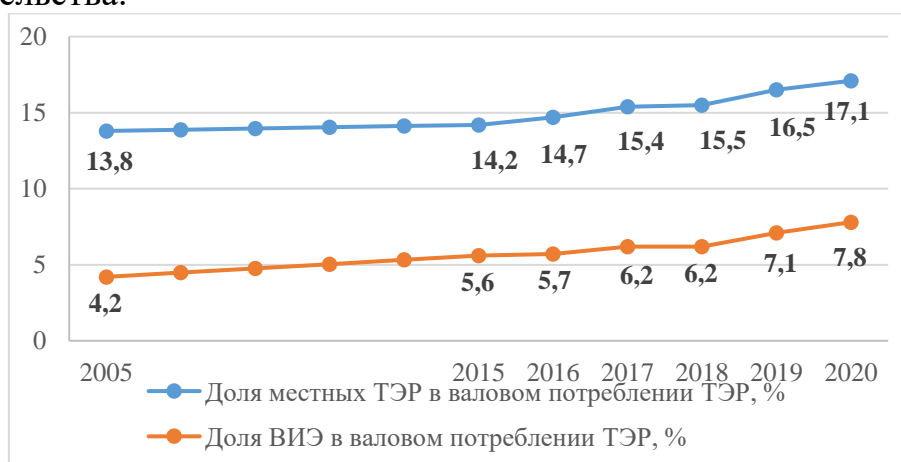


Рис. 2 - Динамика изменения доли местных ТЭР, в том числе ВИЭ в валовом потреблении ТЭР Республики Беларусь [3]

С учетом ввода в эксплуатацию Белорусской АЭС возобновляемая энергетика в Республике Беларусь будет развиваться совместно с повышением энергоэффективности с акцентом на распространении технологий использования возобновляемых источников энергии для собственных нужд в секторах «здания» и «промышленность», на транспорте и в сельском хозяйстве, интеграции ВИЭ в энергосистему за счет развития «умных» сетей, применения технологий аккумулирования электрической и тепловой энергии, что позволит достигнуть Цели 7 устойчивого развития «Обеспечение всеобщего доступа к недорогим, надежным, устойчивым и современным источникам энергии для всех» Повестки-2030.

Таким образом, ввиду множества различных видов ВИЭ, в том числе древесного биотоплива, а также разнообразия условий их применения, требуется разработка методики оценки эффективности использования отдельных видов возобновляемых источников энергии с учетом современных экономических условий и тенденций функционирования внутреннего и внешнего рынков. Специалисты Белорусского государственного технологического университета имеют значительный потенциал и опыт для проведения данных исследований и разработки рекомендаций, обеспечивающих развитие «Зеленой экономики» и достижение Целей устойчивого развития.

### **Список использованных источников**

1. Энергетический баланс Республики Беларусь: статистический сборник / Национальный статистический комитет Республики Беларусь. – Минск, 2021. – 220 с.
2. Валовое потребление топливно-энергетических ресурсов в 2020 году [Электронный ресурс]. – URL: [https://www.belstat.gov.by/upload-belstat/upload-belstat-pdf/oficial\\_statistika/2020/TEB\\_2020.pdf](https://www.belstat.gov.by/upload-belstat/upload-belstat-pdf/oficial_statistika/2020/TEB_2020.pdf) (дата обращения: 06.07.2023).
3. Данные Департамента по энергоэффективности Государственного комитета по стандартизации Республики Беларусь.
4. Ледницкий А.В. Сравнительный анализ систем машин для производства топливной щепы // Лесной вестник / Вестник Московского государственного университета леса / Гл. ред. А.Н. Обливин. – М.: МГУЛ, 2013. – № 1. – С. 94–99.
5. Ледницкий А.В., Протас П.А. Анализ и перспективы торговли древесным топливом на основании его влажности и теплотворной способности // Энергоэффективность. – 2017. – № 1. – С. 7–11.

## **МОДЕЛЬ ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ**

*Аннотация.* В статье исследовано информационно-аналитическое обеспечение экологической безопасности. Предложена концептуальная модель, объединяющая три укрупненных модуля аналитических и оценочных процедур: мониторинга экологической безопасности и идентификации экологических рисков; диагностики уровня экологической безопасности и экономической оценки последствий чрезвычайных ситуаций.

**O.N. Lopatchouk**

Belarusian State Economic University  
Minsk, Belarus

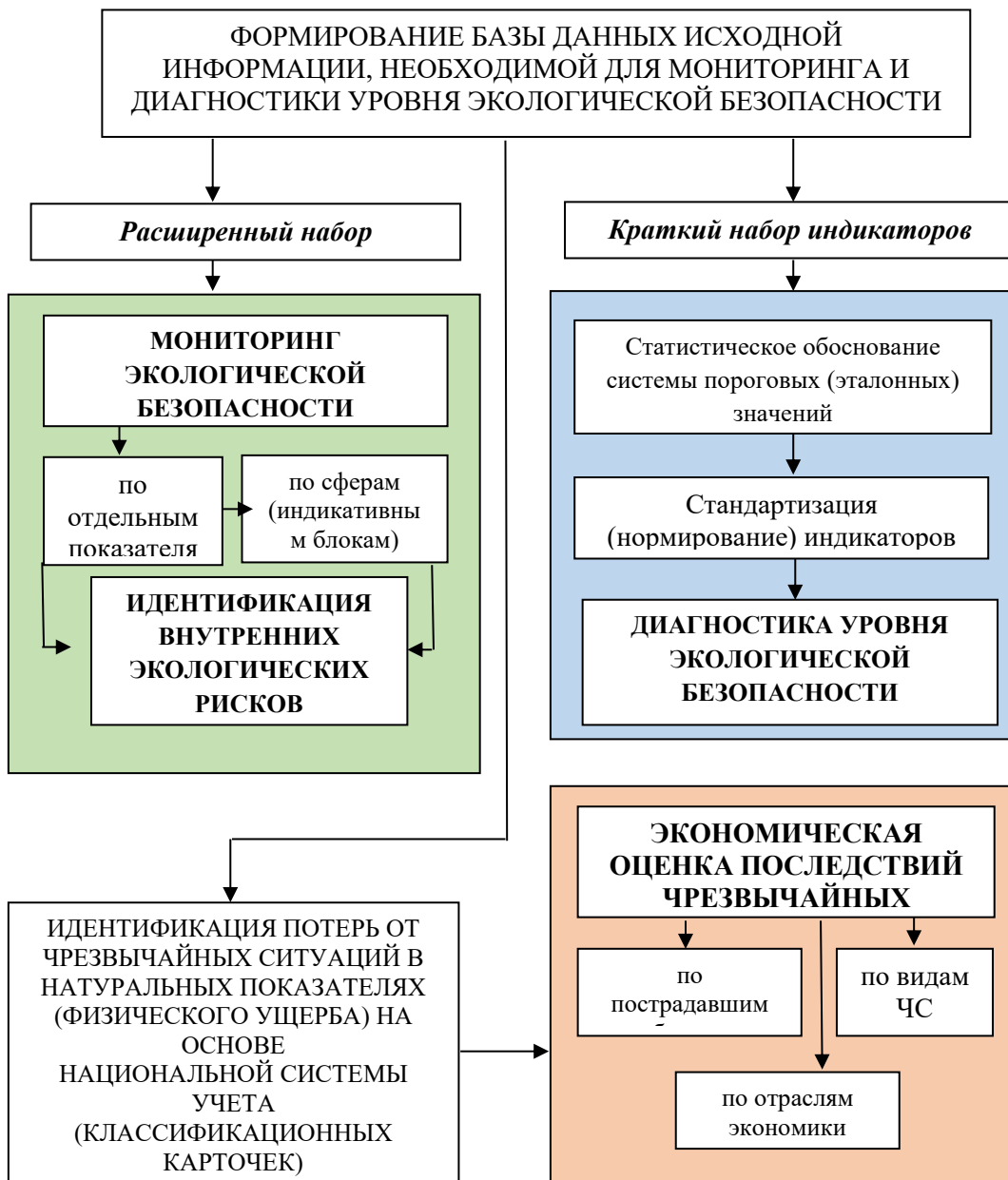
## **THE MODEL OF INFORMATION AND ANALYTICAL SUPPORT OF ENVIRONMENTAL SAFETY**

*Abstract.* The article examines the information and analytical support of environmental safety. A conceptual model that combines three enlarged modules of analytical and evaluation procedures is proposed: monitoring of environmental safety and identification of environmental risks; diagnostics of the level of environmental safety and economic assessment of the consequences of emergencies.

Экологическая безопасность, являясь объективной социо-природной потребностью и отдельной областью исследования различных направлений научного знания (философии, экономики, экологии, социологии, юриспруденции), охватывает сложный комплекс взаимосвязей человека с окружающей средой и основывается на понимании необходимости обеспечения сбалансированного сосуществования природной среды и хозяйственной деятельности человека, а также во многом на признании приоритета экологической безопасности при организации любых видов деятельности.

Несмотря на широту и безусловную значимость множества подходов к анализу состояния компонентов окружающей среды, антропогенной нагрузки на нее и учета экологических параметров устойчивого развития [1, 2], вопросы мониторинга состояния защищенности окружающей среды, жизни и здоровья населения, идентификации потенциальных экологических рисков, оценки уровня экологической безопасности и оценки последствий чрезвычайных

ситуаций природного и техногенного характера в настоящее время во многом остаются нерешенными. Отличительной чертой методик и алгоритмов в этой сфере, представленных в научной литературе, является их индивидуальный характер, в первую очередь, в части выбора и структуризации оценочных показателей. При этом прослеживается сходство позиций исследователей в выборе инструментария многомерного статистического анализа и расчета обобщенных индексов уровня экологической безопасности.



**Рис. 1 - Концептуальная модель информационно-аналитического обеспечения экологической безопасности**

*Источник: разработано автором*

Построение авторской модели информационно-аналитического обеспечения экологической безопасности предполагает три укрупненных модуля унифицированных *аналитических и оценочных* процедур в области экологической безопасности (рис. 1).

**Первый модуль** основан на формировании расширенной системы социально-экологических показателей, по количественным значениям и динамике которых можно составить достаточно полное представление о состоянии защищенности окружающей среды и сохранения здоровья населения. В этом случае *критериями безопасности природной среды* выступают минимизация антропогенной нагрузки, целостность экосистем, сохранность их видового состава, биоразнообразия и структуры внутренних взаимосвязей, а *критериями безопасности индивидуумов* – чистота атмосферного воздуха, качество питьевой воды, доступ к надлежащим санитарно-гигиеническим услугам. Исходя из этого, расширенная система показателей структурирована в соответствии с моделью «Тема – Подтема – Показатели» с выделением шести индикативных групп («подтем»): 1) антропогенная нагрузка на атмосферный воздух; 2) климатические изменения; 3) антропогенная нагрузка и качество водных ресурсов; 4) санитария и питьевая вода; 5) среда обитания и биологическое разнообразие; 6) чрезвычайные ситуации природного и техногенного характера. Анализ достаточно длинных временных рядов расширенной системы показателей позволяет, во-первых, осуществлять периодическое наблюдение и изучение состояния объектов защиты (*мониторинг экологической безопасности*), и, во-вторых, диагностировать усиление / ослабление потенциальных экологических рисков (*идентификация экологических рисков*).

В рамках **второго модуля** осуществляется формирование ключевого набора индикаторов экологической безопасности (с построением модели «Давление – Состояние – Реакция»), в который включены параметры интенсивности антропогенного воздействия на окружающую среду, экологического качества экономического развития и результативности реализации экологической политики. В этом случае *критериями безопасности* выступают снижение интенсивности загрязнения, снижение природоемкости производства, в том числе достижение эффекта декаплинга [3], который заключается в расхождении или рассогласовании темпов экономического роста, с одной стороны, и негативного воздействия / потребления ресурсов на окружающую среду, с другой стороны, также сохранение устойчивости и поддержание качества природных систем. Информативность ключевого набора индикаторов усиливается возможностью проведения



анализа не только на макроуровне, но и в территориальном разрезе (на уровне областей). Обоснование пороговых (эталонных) значений отобранных показателей и проведение процедуры нормирования позволяет количественно – в виде интегрального индекса – **диагностировать уровень экологической безопасности**. Проведенная оценка, более подробно представленная в [4], показала, что в настоящее время значение предложенного интегрального индекса в Республике Беларусь (0,64) соответствует среднему уровню экологической безопасности, что во многом обусловлено эффективностью природоохранных действий (индекс безопасности по группе «Реакция»), в частности, расширением доли ООПТ в общей площади страны (с 7,7 % в 2010 г. до 9,1 % в 2021 г.), ростом коэффициента лесовосстановления (с 7,1 % в 2010 г. до 10,5 % в 2021 г.), а также стабильно высоким удельным весом уловленных и обезвреженных загрязняющих веществ в общем объеме выбросов (более 88 %).

Техногенные аварии и природные бедствия в современных условиях оказывают комплексное негативное воздействие на развитие общества и являются значимой угрозой экологической безопасности. **Третий модуль** отражает специфику анализа и экономической (стоимостной) оценки ущерба от чрезвычайных ситуаций техногенного и природного характера [5]. *Объектом оценки* выступают материальные ценности, жизнь и здоровье людей, компоненты окружающей среды, являющиеся носителями полезных свойств и функций, которые повреждены либо утрачены в результате действия факторов чрезвычайной ситуации. По отношению к объекту оценки экономический ущерб от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера может оцениваться в следующих *формах*:

– *прямой экономический ущерб (рассчитывается обязательно)*, который характеризует непосредственное уничтожение, разрушение, повреждение любых видов имущества товарно-материальных ценностей, иные формы исключения их из экономического оборота (производственной деятельности, использования для социальных целей и т.д.);

– *косвенный экономический ущерб (рассчитывается справочно)*, к которому относятся вынужденные затраты или убытки, обусловленные вторичными эффектами (действиями или бездействием, порожденными первичным действием). Косвенный ущерб, в отличие от прямого, может проявляться через длительный, от момента первичного действия, отрезок времени; он не имеет четко выраженной административно-территориальной принадлежности и

может носить «каскадный эффект», т.е. вторичные действия (бездействия) порождают следующую серию действий (бездействий) и, соответственно, косвенных ущербов.

Максимально детализированная методика формализации оценки прямого экономического ущерба от чрезвычайных ситуаций на микроуровне позволяет в дальнейшем агрегировать информацию в зависимости от потребности: по территориям, подвергшимся воздействию ЧС, отраслям (в разрезе министерств и ведомств) и видам чрезвычайных ситуаций. Унифицированный инструментарий такой оценки дает возможность прогнозировать размер финансового возмещения пострадавшим субъектам хозяйствования независимо от их функционального назначения и ведомственной принадлежности; определять номенклатуру и объемы резервов материальных ресурсов для ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера; обосновывать мероприятия, снижающие негативные последствия чрезвычайных ситуаций.

Важным системообразующим звеном эффективного осуществления аналитических и оценочных работ в области экологической безопасности является *информационное обеспечение*, которое представляет собой совокупность данных о состоянии компонентов окружающей среды и их качества, параметров и последствий антропогенного воздействия на окружающую среду и все сведения, получаемые в результате обобщения, обработки и анализа этих данных. Выбор показателей для каждого блока предложенной информационно-аналитической модели основан на *общесистемных критериях*: 1) достоверность, обоснованность и соответствие проблемам экологической безопасности, которые призвана отражать определенная группа показателей (релевантность); 2) легкость интерпретации и доступность для восприятия; 3) динамизм и возможность анализа показателей на основе стандартизированных, качественных и обновляемых данных национальной статистики; 4) актуальность показателей для обеспечения информационной основы принятия управленческих решений. Вместе с тем, несмотря на планомерное совершенствование методологии и практики национальной статистики окружающей среды, существуют определенные проблемы с точки зрения наличия, полноты и достаточности такой информации, среди которых, в частности, отметим следующие:

– отсутствие единой классификации факторов потенциальных экологических рисков, которые должны выявляться при проведении комплексной оценки безопасности;

- в некоторых случаях ведомственное агрегирование информации без предоставления в общие базы данных;
- различия в оценке интегральных показателей экологической и ресурсной эффективности экономики (в части выбора базового года и оценки в текущих, а не в сопоставимых ценах);
- отсутствие / закрытость экологической информации (режимные, ведомственные, субъективные и др. причины).

Таким образом, концептуальная модель мониторинга экологической безопасности, диагностики уровня экологической безопасности и оценки последствий чрезвычайных ситуаций призвана осуществлять стыковки результатов эколого-экономических исследований в целостную картину взаимодействия природы и общества в контексте экологической безопасности.

### **Список использованных источников**

1. Лопачук, О.Н. Интегральные экологические индексы как аналитический инструмент оценки результативности действий в природоохранной сфере / О.Н. Лопачук // Белорусский экономический журнал. – 2021. – № 3. – С. 100-112.
2. Лопачук, О.Н. Анализ и оценка уровня достижения экологических параметров устойчивого развития/ О.Н. Лопачук // Белорусский экономический журнал. – 2022. – № 4. – С. 94-105.
3. Лопачук, О.Н. Методические особенности и прикладные аспекты декаплинг-анализа / О.Н. Лопачук // Журнал прикладных исследований. – 2023. – № 8 – С. 63- 70.
4. Лопачук, О.Н. Интегральная оценка уровня экологической безопасности (на примере Республики Беларусь) / О.Н. Лопачук // Естественно-гуманитарные исследования. – 2023. – № 4 (48). – С. 202-206.
5. Лопачук, О.Н. Экономическая оценка ущерба от чрезвычайных ситуаций: опыт Республики Беларусь // Прогрессивная экономика. – 2023. – № 8. – С. 21–36.

УДК 552.578.18 (575.1)

**Л.Н. Насимханов**

Ташкентский государственный технический  
университет им. И.Каримова  
Ташкент, Узбекистан

## **ОСОБЕННОСТИ РАЗРАБОТКИ НЕФТЕГАЗОКОНДЕНСАТНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЮЖНЫЙ КЕМАЧИ**

*Аннотация.* Приведены результаты анализа разработки нефтегазоконденсатного месторождения Южный Кемачи за периоды эксплуатации с отбором нефти при консервации газа газовой шапки, одновременного отбора нефти и газа, частичного сайклинг процесса. Показано, что при небольшой толщине нефтяной части более высокие значения конечного коэффициента извлечения нефти достигаются при системах разработки с одновременным отбором нефти и газа, а также реализации сайклинг процесса.

**L.N. Nasimkhanov**

I. Karimov Tashkent State Technical University  
Tashkent, Uzbekistan

## **FEATURES OF THE DEVELOPMENT OF THE YUZHNY KEMACHI OIL AND GAS CONDENSATE FIELD**

*Abstract.* The results of the analysis of the development of the Yuzhny Kemachi oil and gas condensate field during the periods of operation with oil extraction during gas cap gas conservation, simultaneous oil and gas extraction, and partial cycling process are presented. It is shown that with a small thickness of the oil part, higher values of the final oil recovery coefficient are achieved with development systems with simultaneous extraction of oil and gas, as well as the implementation of the cycling process.

В 1978 г. на месторождении Южный Кемачи была пробурена первая скважина № 1. Разбуривание месторождения продолжалось до 1983 г. Месторождение введено в опытно-промышленную эксплуатацию в 1980 г. скважинами № 2, 3. Несмотря на то, что с 1978 по 1983 гг. были пробурены 22 скважины, в 1980 г. месторождение эксплуатировалось двумя скважинами № 2, 3, а в периоды с 1981 по 1982 гг. и с 1985 по 1989 гг. эксплуатация велась только одной скважиной №2. Неэффективное использование пробуренного фонда скважин в периоде 1980 по 1989 гг.. объясняется тем, что месторождение не было обустроено. Коэффициент использования фонда скважин в данном временном интервале в среднем не превышал

0.3. В отдельные годы (1983-1984 гг., 1990-1992 гг.) добыча нефти не осуществлялась [1].

В 1993 г. возобновилось разбуривание и эксплуатация месторождения. За 1993 г. было пробурено 12 скважин, а в эксплуатацию вступило 9 скважин. Коэффициент использования фонда скважин, в период с 1993 по 2003 гг., изменялся в пределах 0.2-0.3. В 2002 г. произошел резкий рост газового фактора с 238 м<sup>3</sup>/т (2001 г.) до 923 м<sup>3</sup>/т (2002 г.), обусловленный прорывом свободного газа из газовой шапки.

В первых проектных документах была обоснована технико-экономическая целесообразность разработки месторождения в режиме истощения с опережающим отбором нефти при консервации газа газовой шапки [7: с.25-32, 8: с.18-28, 9: с.15-18]. При такой системе эффективность разработки нефтегазоконденсатного месторождения Южный Кемачи и достижение более высоких значений конечного коэффициента извлечения нефти, чем в других системах, предполагалось достичь путем установления оптимального интервала перфорации, «безгазового» и «безводного» дебита скважин.

Оптимальные интервалы перфорации, депрессия на пласт, предельные безгазовые и безводные дебиты скважин и их динамика изменения были определены по широко известной методике Ю.И. Стеглянина и А.П. Белкова.

При реализации данной системы разработки нефтегазоконденсатного месторождения планировалось достичь конечный коэффициент извлечения нефти (ККИН) равный – 0.19 [2].

Однако в первые же годы разработки во многих скважинах наблюдались прорывы газа из газовой шапки и подошвенных вод, что привело к консервации, низким коэффициентам использования фонда и эксплуатации, а в конечном итоге к невыполнению проектных показателей.

В процессе разработки при прорыве газа к интервалам перфорации в нефтяной части залежи нефтедобывающие скважины законсервировались. При такой системе разработки в результате непродолжительной безводной и безгазовой добычи нефти, сопровождавшейся быстрыми прорывами вышелегающего газа и подошвенной воды, незначительного фонда нефтедобывающих скважин и, следовательно, незначительных темпов отбора, разработка месторождения становилась экономически нецелесообразной.

В связи с этим, для увеличения добычи жидких углеводородов в 2004 г. было предложено решение о переходе к совместной разработке

нефтяной и газоконденсатной частей залежи, одним интервалом перфорации, единой сеткой скважин.

Проекты разработки были составлены на базе созданных геологических и технологической модели месторождения с использованием программных продуктов «Petrel» и «Eclipse» компании Schlumberger [3].

Реализация данного проекта с переходом на совместную разработку позволил значительно увеличить текущий темп добычи нефти за счет прорыва свободного газа, который является основным рабочим агентом для выноса скважинной жидкости на поверхность, однако в результате эксплуатации скважин при таком режиме наряду со значительным увеличением темпов добычи нефти также происходило увеличение темпов добычи газа. Рост добычи нефти также обеспечивался за счет бурения новых скважин. К примеру, в 2006 г. были пробурены и введены в эксплуатацию три горизонтальные скважины (№№ 54г, 59г, 74г) и 11 вертикальных. За счет ввода в эксплуатацию новых скважин и совместной разработки нефтяной и газоконденсатной частей залежи удалось увеличить добычу нефти в сравнении с 2005 г. в 2.8 раз. В 2007 г. достигнут максимальный уровень годовой добычи нефти 227.6 тыс. т., при обводненности 28.5 % и действующем фонде скважин 55 единиц.

При системе разработки с одновременным отбором нефти и газа планировалось достичь ККИН – 0.0711.

В последующем был составлен проект разработки месторождения с сайклинг процессом, путём обратной закачки части добываемого газа в пласт обеспечивающую компенсацию отбора газа на 50% [4]. За счёт сайклинг процесса предполагалось достичь ККИН – 0.0904.

Для определения фактического ККИН при системе разработки нефтегазоконденсатного месторождения Южный Кемачи с первоначальным отбором нефти и консервацией газа газовой шапки, одновременного отбора нефти и газа, сайклинг процесса использован эмпирический метод – характеристика вытеснения нефти водой, описывающих историю эксплуатации объекта.

Необходимо отметить, что в настоящее время характеристики вытеснения применяются как для оценки технологических эффектов от реализации отдельных технологических процессов (наводнение, применение процессов воздействия на пласт химическими реагентами и разными вытесняющими агентами, осуществление ГТМ по повышению производительности скважин и т.д.), так и для прогноза показателей разработки.

Для определения извлекаемых запасов нефти выделенных периодов разработки залежи нефти нами использована характеристика вытеснения предложенный Г.С. Камбаровым [5], т.к. этот метод является наиболее предпочтительным с точки зрения обеспечения точности расчетов (до 2,6 %) [15: с.63-75].

Основной расчетный зависимость определения извлекаемых запасов нефти по этому методу имеет вид:

$$Q_n \cdot Q_{ж} = c + dQ_{ж} \quad (1)$$

где  $Q_n$  и  $Q_{ж}$  - накопленные отборы нефти и жидкости;  $c$ ,  $d$  - коэффициенты, определяемые из графиков или методом наименьших квадратов.

По характеристикам вытеснения нефти водой определялись запасы нефти ( $Q_{извл}(\infty)$ ) которые можно извлечь из залежи при  $Q_{ж} \rightarrow \infty$  и при условии сохранения реализованной системы разработки залежи. Значение коэффициента “с” в формуле (1) соответствует величине извлекаемых запасов нефти при бесконечной промывке пласта.

В соответствии с методическими руководством по расчету коэффициентов извлечения нефти из недр на характеристиках вытеснения нефти водой построенных по объектам исследования выделялись заключительные прямолинейные отрезки для определения начальных извлекаемых запасов нефти для выделенных периодов разработки залежи нефти (рис.1).

## **Результаты.**

При разработке нефтегазоконденсатного месторождения Южный Кемачи с первоочередным отбором нефти и консервацией газа газовой шапки достигнуты низкие темпы отбора жидкости и нефти (в % от начальных геологических запасов) соответственно 0.16 и 0.08%. Из залежи было извлечено всего 315,2 тыс.т нефти, что составляет 1,2% от начальных геологических запасов.

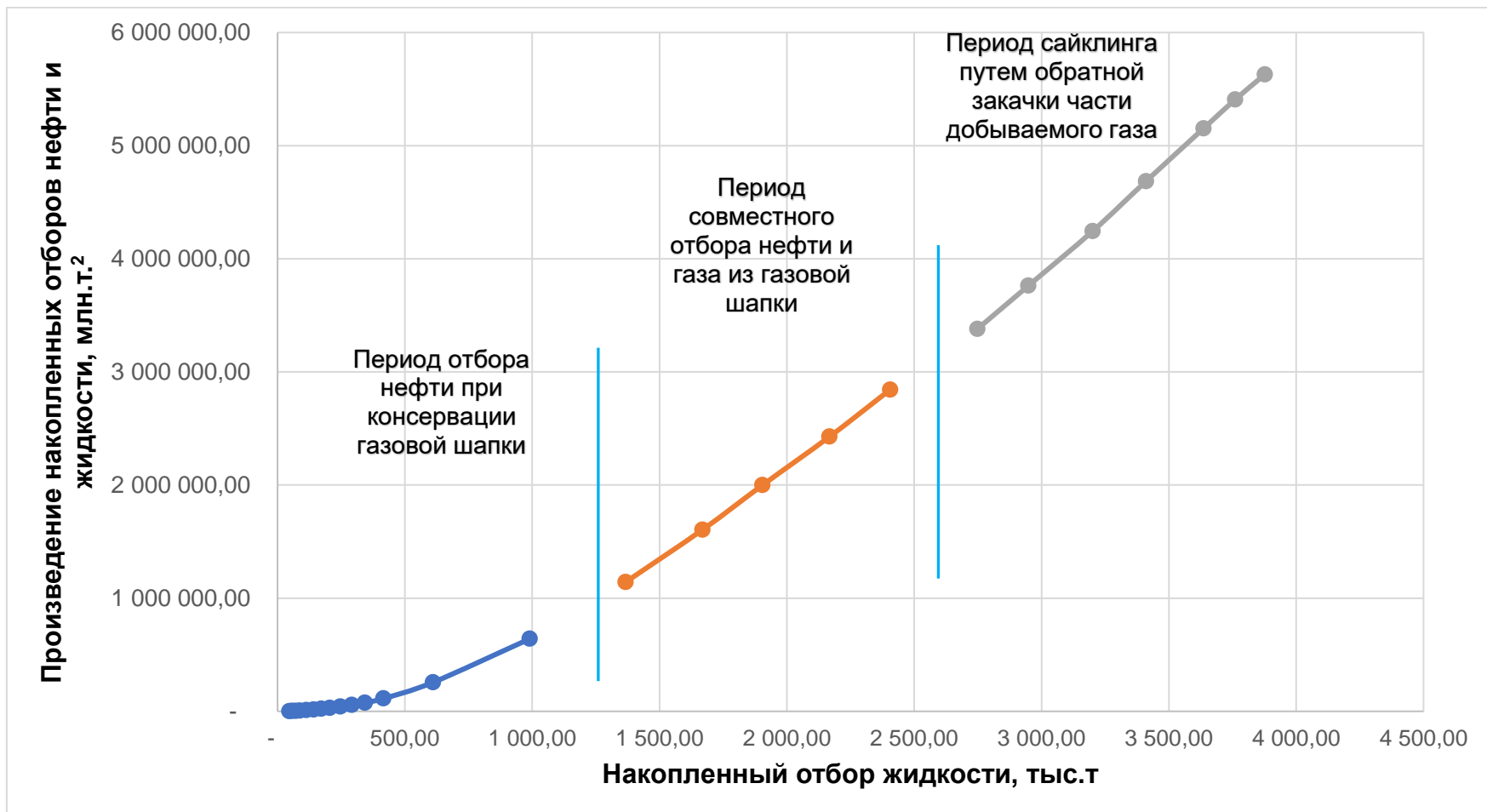
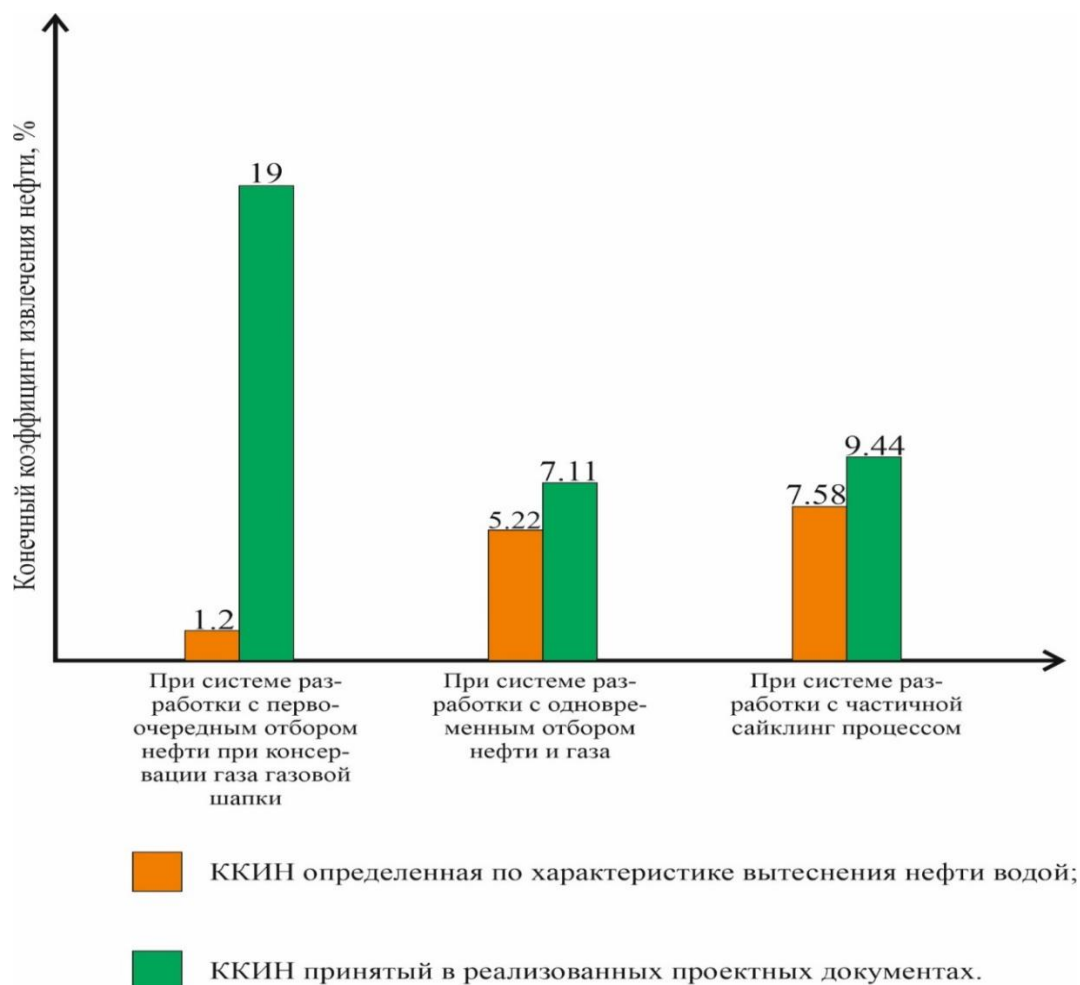


Рис. 1 - Характеристика вытеснения нефти водой нефтегазоконденсатного месторождения Южный Кемачи



При этом между величинами проектного ККИН и определённого по характеристикам вытеснения огромная (рис.2).



**Рис. 2 - Гистограмма сопоставления прогнозной величины ККИН нефтегазоконденсатного месторождения Южный Кемачи**

При разработке месторождения с одновременным отбором нефти и газа газовой шапки достигается наивысшие темпы отбора жидкости и нефти соответственно 1.44 и 0.86%. За весь период разработки будет извлечено 1371.1 тыс т. нефти, а ККИН составит 5.22%.

При разработке с частичным сайклинг процессом темп отбора жидкости и нефти, занимает промежуточное положение между двумя выше рассмотренными вариантами, т.е. соответственно 0.96 и 0.20%. Реализация данного варианта обеспечивает достижение ККИН – 9.44%.

**Заключение.**

При условиях геологического строения и залегания нефтяных залежей нефтегазоконденсатных месторождений Бухаро-Хивинского

региона характеризующихся: небольшой толщиной нефтяной оторочки (до 10 м) по сравнению с общей толщиной газовой шапки (более 100 м); контакте нефтяной и газовой части по всей площади нефтенасыщенности и подстилающей подошвенной водой; гидродинамической связи нефтяной, газоконденсатной и водоносной частей залежи; высокой проницаемости коллектора вследствие развитой трещиноватости обеспечить безгазовый и безводный дебит скважин практически невыполнимая задача.

Прорывы газа газовой шапки и подошвенных вод к забоям скважин с начала их эксплуатации приводит к снижению эффективности разработки нефтегазоконденсатных месторождений и конечного коэффициента извлечения нефти.

В геолого-физических условиях НГКМ Южный Кемачи предпочтительным являются варианты разработки с одновременным отбором нефти и газа газовой шапки, а также с применением метода сайклинг процесса.

При прогнозировании технологических показателей разработки подобных нефтегазоконденсатных месторождений относительно достоверные результаты достигаются при использовании 3-х мерных геологических и гидродинамических моделей, созданных на базе современных программных продуктов.

### **Список использованных источников**

1. Богданов А.Н. Структура сырьевой базы углеводородов Республики Узбекистан//Сборник материалов международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы нефтегазовой геологии и инновационные методы и технологии освоения углеводородного потенциала

2. Назаров У.С., Махмудов Ф.М., Игамбердиева Л.З. К стратегии инновационной деятельности при разработке месторождений нефти Узбекистана. //Узбекский журнал нефти и газа. - Ташкент, 2013. Спец.выпуск. С.49-54.

3. Махмудов Н.Н., Каршиев А.Х., Агзамова С.А., Результате сопоставления основных показателей разработки длительно эксплуатируемых нефтяных месторождений // Инновацион технологиялар журнали. -2013. №3. - С.3-5.

4. Назаров У.С., Игамбердиева Л.З., Махмудов Ф.М. К стратегии инновационной деятельности при разработке месторождений нефти Узбекистана. // Вестник ТашГТУ - Ташкент, 2013. №1. - С.45-53.

5. Бегметов О.К. Уточненный проект разработки нефтегазоконденсатного месторождения Южный Кемачи Этап I. Анализ состояния разработки нефтегазоконденсатного месторождения Южный Кемачи. – Ташкент: ОАО «O'ZLITINEFTGAZ», 2008. – 181 С.

УДК 332.1

**Лю Сюэяо**

Белорусский государственный университет  
Минск, Беларусь

## **ИССЛЕДОВАНИЕ РЕГИОНАЛЬНОГО ЗЕЛЁНОГО РАЗВИТИЯ В КИТАЕ**

***Аннотация.** Зеленое экономическое развитие стало основной тенденцией развития во всем мире. Китай находится в критическом периоде зеленой трансформации. Некоторые регионы Китая уже имеют хорошую базу для развития зеленой экономики. Преимущественное развитие зеленой экономики в некоторых регионах может послужить примером для Китая.*

**Liu Xueyao**

Belarusian State University  
Minsk, Belarus

## **A STUDY OF REGIONAL GREEN DEVELOPMENT IN CHINA**

***Abstract.** Green economic development has become a mainstream development trend worldwide. China is in a critical period of green transformation. Some regions of China already have a good basis for green economy development. The advantageous green economy development in certain regions will serve as a model in China.*

Introduction. Energy security and environmental protection are global issues since the beginning of industrial civilisation and are huge challenges for mankind. After the reform and opening up, China has rapidly developed for more than 40 years and it has become one of the largest economies. It has a complete industrial system and is at the peak of its industrial development. Along with intense industrialisation, China has to confront the growing pressure on its resources and environment while enjoying the dividends brought by industrial activities. In order to balance ecological functions and economic benefits, and to relieve the pressure on over-consumption of resources and the environment, China must explore a green economy development path in accordance with its market regulations. Nevertheless,

there is an imbalance among regions in China in terms of resource endowment, fiscal subsidies, social development, and many other aspects. This has resulted in a differentiated green development nationwide. Therefore, it is necessary to study the differences in the green economy development status across China and to explore the green economy transition path that for each region. [1]

Methodology. In order to study the differentiated green economy development status by region in China, a comprehensive evaluation index system is constructed. And with the entropy weight method, the green economic development index by region in China is calculated. [2] The indicators are shown in table 1.

**Table 1 - Green economy development indicators**

<b>Dimension</b>	<b>Indicator</b>
Ecological environment	Forest coverage rate
	Energy self-sufficiency
	Water supply per capita
	Chemical oxygen demand emissions per capita
	Sulphur dioxide emissions per capita
	Solid waste generation per capita
	Research funding of industrial enterprises
	Proportion of employees in the fields of education, science, culture and health
	Number of patents granted per capita
Economic development	Share of tertiary sector
	Investment in high technology industries as a proportion of GRP
	Investment in environmental pollution management as a proportion of GRP
	Energy consumption per unit of GRP
	Water consumption per unit of GRP
	Electricity consumption per unit of GRP
	Growth rate of gross regional product per capita
	Growth rate of industrial output in tertiary sector
	Elasticity coefficient of energy consumption
Social harmony	Comprehensive utilization rate of industrial solid waste
	Sewage treatment rate
	Share of clean energy
	Growth rate of expenditure on energy conservation and environmental protection
	Share of expenditure on science and technology
	Growth rate of fixed asset investment in tertiary industry
	Level of urbanization
Household disposable income	
Engel coefficient	

Based on the above indicators, the entropy weight method was introduced to quantify the green economic development status of each region in China. Firstly, the raw data need to be processed for the purpose of eliminating the effects of inter-indicator dimensionality.

For positive indicators:

$$X_{ij} = \frac{x_{ij} - x_{min}}{x_{max} - x_{min}}$$

For negative indicators:

$$X_{ij} = \frac{x_{max} - x_{ij}}{x_{max} - x_{min}}$$

where,  $X_{ij}$  – normalized value of indicator  $x_{ij}$ ;  $x_{ij}$  – reference value of indicator  $j$  in region  $i$ ;  $x_{min}$  – the minimum value of certain indicator among basic data;  $x_{max}$  – the maximum value of certain indicator among basic data.

The green economy development index is calculated with the following formula. [3]

$$p_{ij} = \frac{X_{ij}}{\sum_{j=1}^n X_{ij}}$$

where,  $p_{ij}$  – proportion of indicator  $j$  in region  $i$ .

$$e_j = -\left(\frac{1}{\ln n}\right) \sum_{i=1}^n p_{ij} \ln(p_{ij}), \quad 0 \leq e_j \leq 1$$

where,  $e_j$  – entropy for indicator  $j$ .

$$\lambda_j = 1 - e_j$$

where,  $\lambda_j$  – coefficient of variation of indicator  $j$ .

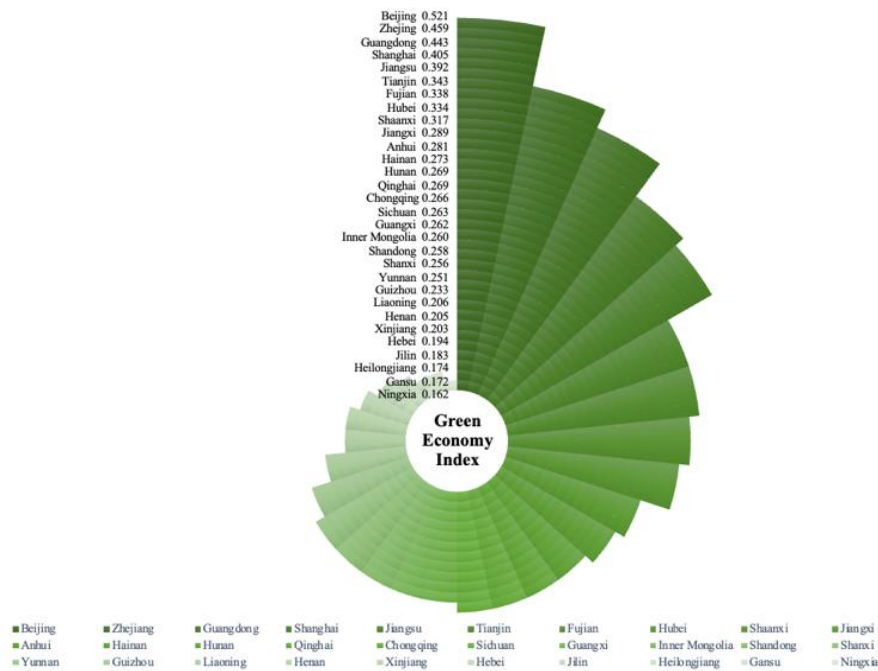
$$w_j = \frac{\lambda_j}{\sum_{j=1}^m \lambda_j} = \frac{1 - e_j}{\sum_{j=1}^m (1 - e_j)}$$

where,  $w_j$  – weight for each indicator.

$$u_i = \sum_{j=1}^m w_j * X_{ij}$$

where,  $u_i$  – green economy development index in region  $i$ .

Analysis. Based on the relevant data for 2019, along with the entropy weight method the green economy development index by region in China was calculated, as shown in Figure 1.



**Fig. 1 - Green economy development index by region in China**

According to the graph, it can be learned that the green economy development is generally not high in all regions of China and varies greatly across regions. Most of the regions with a relatively high green economic development index (higher than 0.3) are the core regions of China's three major economic circles. They mostly already have a highly developed economy and a complete social base. As important regions in the economic sphere, in addition to their advantageous geography and climate, they are at the forefront of many aspects such as industrial transformation, fiscal subsidies, talent aggregation and social infrastructure, guided by multiple national strategic objectives. These factors have resulted remarkable strengths in these regions. The impressive green economy development indexes of these regions illustrate their exemplary performance in the green economy transition in China. Besides, the major resource-based regions in China, Shaanxi, Inner Mongolia, Shanxi, are not far behind in their green economy development index across the country, despite their relatively lagging social and economic development and their industrial structure caught in a locked-in situation where they rely mainly on the secondary sector. This has further demonstrated the vast differences among regions in China when it comes to energy endowments. It also underlines the prominent and crucial role of energy endowments in the comprehensive evaluation of green economy development.

**Conclusion.** As green economy development has become a mainstream development trend in countries around the world, China is also in a critical period of green transformation. In order to know the basis of the

current green economy development by region in China, 27 indicators are selected for creating a comprehensive evaluation index system on green economy development. Along with the entropy weight method, the green economy development status by region in China was calculated. The results show that the green economy development level in China is generally low and that there are significant differences among regions. Some of the important regions belonging to the major economic spheres of China perform better in green economy development. In addition, the major traditional resource-based regions in China do not lag behind other regions in terms of their comprehensive green economy development score, despite the fact that they have difficulties in many aspects. This demonstrates the vast differences in energy endowments among regions in China.

### References

1. Chen Y. L. The evaluation of regional ecological and economic development is studied based on entropy method / Y. L. Chen // Journal of Chongqing university of technology. – 2020. – Vol. 8. – P. 232-237.

2. Zhao M. Study on the coupling between provincial green economic efficiency and social equity performance in China under the background of high-quality development / M. Zhao, P. Z. Xin, Y. Bai // Journal of Hohai university. – 2022. – Vol. 3. – P. 39-49.

3. Zeng P. Research on the spatiotemporal evolution of the coupling and coordinated development of circular economy and foreign trade in China's urban agglomeration / P. Zeng, Y. S. Liu, X. Wei // Journal of statistics and information. – 2022. – Vol. 2. – P. 23-40.

УДК 620.92

**Б.М. Мамедов<sup>1</sup>, М.А. Аманов<sup>1</sup>, А.К. Аразов<sup>1</sup>, М.Г. Четиева<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Международный университет нефти и газа имени Ягшыгелди Какаева

<sup>2</sup>Туркменский государственный архитектурно-строительный институт  
Ашхабад, Туркменистан

### **ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ: ВЕТРОВЫЕ РЕСУРСЫ**

*Аннотация.* Возрастающий интерес к возобновляемым источникам энергии ставит не только технологические и технические задачи, но и вопросы

оценки их эффективности. В решении этого комплекса различных задач полезны такие инновационные технологии, как геоинформационные технологии. Исследование содержит обзор геоинформационной системы атласа ветров Туркменистана.

**B.M. Mamedov<sup>1</sup>, M.A. Amanov<sup>1</sup>, A.K. Arazov<sup>1</sup>, M.G. Chetieva<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Yagshygeldi Kakayev International Oil and gas university

<sup>2</sup>Turkmen State Institute of Architecture and Construction  
Ashgabat, Turkmenistan

## **RENEWABLE ENERGY SOURCES: WIND RESOURCES**

***Abstract.** The increasing interest to projects on renewable wind energy sources sets up not only technological and technical problems, but also problems with possibility and efficiency estimations. Innovative technologies like geoinformation technologies are useful in solving this complex of various problems. The research contains review of geoinformation system of wind map of Turkmenistan.*

Широкое использование топливно-энергетических ресурсов и их удорожание во всём мире ставят задачу вовлечения экологически чистых источников энергии солнца и ветра. Интерес к экологически чистым источникам энергии растёт с каждым годом. В России, США, Австралии, Индии, Великобритании получены значительные результаты в использовании экологически чистой ветровой энергии. Туркменистан является страной, где ветроэнергетический потенциал велик, внедрение энергосберегающих технологий представляет особый интерес.

Ветроэнергетика характеризуется многогранностью, разнообразием характеризующих её критериев и составляющих. В перечне задач, возникающих при осуществлении проектов возобновляемой ветроэнергетики, помимо технологических и технических, особо выделяются проблемы оценки возможности и эффективности использования возобновляемых источников энергии (ВИЭ). С одной стороны, необходимы обширные объёмы (массивы) информации, охватывающей как природные ресурсы территории, так и экономические характеристики региона, инфраструктура энергетики, энергетические балансы, характеристики сельскохозяйственного производства и многое другое. С другой стороны, необходимо привлечь такие инструменты анализа, которые позволяли бы собирать, оперативно модернизировать и преобразовывать эти массивы данных, отображать их в картографическом виде, путем всестороннего анализа получать на их основе обоснованные оценки и делать расчеты. Таким



образом, можно сделать вывод, что необходимо создать ветровой атлас для дальнейшего решения задач освоения пустынь [1].

В решении подобных задач играют большую роль информационные технологии. Одной из основных составляющих технологии являются картографические, климатические и экологические данные, которые основаны на инновационных компьютерных технологиях. Ветровые атласы дают не только изображение местности, но и обеспечивают данными, которые необходимы для оценки ветрового потенциала региона. Обычно для определения ветроэнергетического потенциала региона требуются 1-2 года исследования скорости, мощности и интенсивности ветра. Эта технология позволяет отображать данные в виде электронного атласа, включающего в себя большой массив базы данных.

Необходимо отметить, что интерес к проектам по ветроэнергетике неуклонно растет во всем мире, ставит множество технологических и технических задач, а также выявляет проблемы оценки возможности и эффективности использования ветровой энергии. Для решения комплекса разнообразных задач в данной области возможно и целесообразно использование инструментария информационных технологий.

Ветровой атлас – это массив данных в картографическом виде о средней скорости ветра на различных высотах, удельной мощности, полной мощности и интенсивности ветра, и других климатических данных, собранных в течение многих лет путём непрерывных наблюдений. Ветровой атлас Туркменистана включает в себя следующие параметры:

- среднегодовая скорость ветра (м/с);
- скорость ветра на высотах 16, 30, 50, 70, 90, 110, 130, 150 метров, (м/с);
- удельная мощность ветра на высотах 16, 30, 50, 70, 90, 110, 130, 150 м., (Вт/м<sup>2</sup>);
- степень открытости метеостанций;
- среднегодовое количество осадков (мм);
- среднегодовая температура воздуха (°С);
- влажность воздуха (%);
- геолого-почвенные данные;

Все данные вышеизложенных параметров ветроэнергетического потенциала были введены в атлас по 38 пунктам страны. Для создания ветрового атласа были использованы климатологические данные 38 метеостанций Туркменистана, проанализированные с 1966 по 1990 год. Исследования проводились на высотах 8-16 метров [2]. Для оценки

интенсивности ветрового потока и определения степени открытости метеостанций была использована классификация В.Ю.Милевского. Для определения скорости и удельной мощности ветра были проведены расчёты.

В ходе работы были рассмотрены теоретические основы определения ветроэнергетических ресурсов и обоснованы подходы их оценки. Одной из основных характеристик ветроэнергетического потенциала является удельная мощность ветрового потока, приходящаяся на единицу площади в единицу времени, она была определена по формулам в работе. Временной изменчивостью плотности воздуха в приземном слое обычно пренебрегают, поскольку её вариации не превышают 10% значения плотности воздуха для стандартной атмосферы (1,226 кг/м<sup>3</sup>). На рассматриваемой территории средние значения плотности воздуха, по нашим оценкам, составляют 1,224-1,228 кг/м<sup>3</sup>. Отклонения от средней стандартной плотности не превышают 3%. Критерий ветроэнергетического потенциала – скорость ветра на различных высотах - был рассчитан для каждого пункта по формулам, отмеченных в работах [1].

Для создания ветрового атласа были использованы программы для отображения, использования баз данных в картографическом виде. Ветровой атлас страны сыграет большую роль в принятии решений по определению места установки ветрогенераторов и даст толчок в развитии альтернативных источников энергии, что способствует обеспечению экологической безопасности и развитию экономики в целом.

В ходе работы был изучен международный опыт внедрения информационных систем в ветроэнергетику, определены необходимые начальные данные, которые были использованы для дальнейших расчётов необходимых ветроэнергетических параметров.

Таким образом, была разработана целостная рабочая система по эффективному использованию экологически чистого источника – ветровой энергии. В результате, путём создания первого ветрового атласа страны были выявлены наиболее перспективные регионы для развития ветроэнергетики.

### **Список использованных источников**

1. А.Б. Рыхлов. Климатологическая оценка ветроэнергетического потенциала на различных высотах: 05.14.08: автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора географических наук / А.Б. Рыхлов ; - Казань, 2012. -89 с.

2. М.В. Колодин. Энергетические ресурсы Каракумов/ М.В. Колодин // Пустыня Каракум и пустыня Тар. – Ашгабат, 1992. – с. 52-60.

УДК 620.93

**Б.М. Мамедов<sup>1</sup>, М.А. Аманов<sup>1</sup>, А.К. Аразов, М.Г. Четиева<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Международный университет нефти и газа имени Ягшыгелди Какаева

<sup>2</sup>Туркменский государственный архитектурно-строительный институт  
Ашхабад, Туркменистан

## **ВОДОРОД - ПРИОРИТЕТНОЕ НАПРАВЛЕНИЕ В ЭНЕРГЕТИКЕ**

*Аннотация.* Водородная энергетика - это отрасль энергетики, основанная на использовании водорода в качестве средства для транспортировки, производства и потребления энергии. Развитие «зелёной» экономики, сокращение объёма потребления нефтепродуктов обуславливает активное развитие водородной энергетики.

**B.M. Mamedov<sup>1</sup>, M.A. Amanov<sup>1</sup>, A.K. Arazov<sup>1</sup>, M.G. Chetieva<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Yagshygeldi Kakayev International Oil and gas university,

<sup>2</sup>Turkmen State Institute of Architecture and Construction,  
Ashgabat, Turkmenistan

## **HYDROGEN IS A PRIORITY DIRECTION IN ENERGY**

*Abstract.* Hydrogen energy is a branch of energy based on the use of hydrogen as a means for transporting, producing and consuming energy. The development of a “green” economy and a reduction in the consumption of petroleum products determines the active development of hydrogen energy.

Водород является не только самым распространённым элементом во Вселенной, но и способным доставлять и хранить огромное количество энергии. Сегодня большая часть водорода производится с использованием ископаемых видов топлива, причём менее 0,7 процента приходится на работающие на ископаемом топливе электростанции, оснащённые системами улавливания и хранения углерода, или на возобновляемые источники энергии (ВИЭ). Основным недостатком энергетики на основе ископаемых топлив является эмиссия огромного, порядка 30 млрд т/год, количества углекислого

газа, являющегося основным парниковым газом, отрицательно влияющим на окружающую среду и признанного мировым сообществом одним из главных факторов, по масштабам воздействия на климат планеты превосходящего все остальные антропогенные факторы и сравнимого с мощными природными силами. Снижение выбросов парниковых газов в атмосферу для сохранения климата планеты становится ключевой целью для ведущих экономик мира.

Водород применяется главным образом в нефтепереработке и в химической промышленности, в первую очередь при производстве аммиака, метанола, бензина.  $H_2$  служит важным сырьём для целого ряда промышленных процессов и активно используется в промышленности на протяжении двух последних столетий. Так, один из первых двигателей внутреннего сгорания, появившийся в начале XX века, работал именно на водороде. Этим газом наполняли аэростаты, его используют в космической промышленности. Постепенно проекты с использованием водорода в области большой и распределённой энергетики, накопления энергии и всех видов транспорта, от автомобилей до самолётов и морских судов, становятся серийными. Успехи в развитии водородных технологий показали, что использование водорода приведет к качественно новым показателям работы агрегатов.

Энергетическая концепция, основанная на водородной энергетике, может привести к смене уклада энергосистем и постепенному формированию общего мирового рынка энергетики. По данным Международного энергетического агентства (МЭА), в структуре производства водорода на долю риформинга газа приходится 76 процентов, на пиролиз угля 23 процента и только 1 процент производства водорода осуществляется электролизом воды на базе установок возобновляемой энергетики. В результате получение водорода методом электролиза воды является в перспективе доминирующим. В классификации водорода главным критерием является его экологичность. Чем больше оксидов углерода выделяется при его производстве, тем менее экологичным он будет считаться. Для простоты каждый «сорт» обозначается цветом. Цветовая градация водорода зависит от способа его выработки и углеродного следа, то есть количества вредных выбросов. «Зелёный» произведён с помощью энергии из ВИЭ (таких, как ветер, солнечная или гидроэнергия) методом электролиза воды и считается самым чистым, так как выбросы  $CO_2$  отсутствуют. Метод электролиза - это разделение воды на водород и кислород. Процесс требует большого количества электроэнергии из ВИЭ. Если производить водород с помощью электролиза, то в

Туркменистане солнечную и ветровую энергии (считаются безопасным для климата источниками энергии) можно использовать для производства водорода. А преобразование избыточной энергии в водород методом электролиза позволяет создавать запас этого газа, который может храниться для дальнейшего использования в качестве источника электроэнергии по мере необходимости.

«Жёлтый» («оранжевый») водород, как и «зелёный», получают путём электролиза. Однако производится при помощи атомной энергии. Выбросы  $\text{CO}_2$  отсутствуют, но метод не является абсолютно экологичным. Производство «бирюзового» водорода даёт относительно низкий уровень выброса углерода, который может быть либо захоронен, либо использован в промышленности, например, в производстве стали или батарей. Таким образом, он не попадает в атмосферу. «Серый» водород производится путём паровой конверсии метана, а вредные выбросы идут в атмосферу. Исходным сырьём для такой реакции служит природный газ. Этот процесс легко осуществим с практической точки зрения, однако в ходе химической реакции выделяется углекислота, причём в тех же объёмах, что и при сгорании природного газа (также расходуется энергия на конверсию). «Голубой» водород получают путём паровой конверсии метана, но при условии улавливания и хранения углерода, что даёт примерно двукратное сокращение его выбросов. Данный вид получения водорода является весьма дорогостоящим. Для получения «коричневого» водорода в качестве исходного сырья используется бурый уголь. Далее с помощью газификации бурого угля образуется синтез-газ (сингаз): смесь углекислого газа ( $\text{CO}_2$ ), окиси углерода ( $\text{CO}$ ), водорода, метана и этилена, а также небольшое количество других газов. Таким образом, в настоящее время более 68 процентов водорода получают из природного газа, 16 процентов из нефти, 11 процентов — из угля и 5 процентов – из воды методом электролиза. Сейчас в мире производят порядка 75 млн тонн водорода. Наиболее дешёвый метод получения водорода – из природного газа, стоимость в 5 раз ниже, чем при электролизе. Учитывая огромный запас природного газа в Туркменистане, выгодно экологически безопасным высокотехнологическим способом получать «серый» водород переработкой природного газа методом риформинга. Однако «зелёный» водород играет жизненно важную роль в достижении глубокой декарбонизации энергосистемы и может почти полностью исключить вредные выбросы, используя возобновляемую энергию – быстро растущую и часто генерируемую в менее удачные периоды времени – для энергообеспечения электролиза воды [1]. По оценкам

BloombergNEF (BNEF), полученный с помощью электролиза «зелёный» водород может сократить глобальные выбросы парниковых газов до 34 процентов к 2050 году. И за последние пять лет стоимость технологии электролиза упала на 40 процентов и продолжает снижаться. Технология может внести большой вклад в декарбонизацию наиболее зависимых от ископаемого топлива секторы экономики, таких, как химическая промышленность или транспорт.

Себестоимость «зеленого» водорода около \$2 за кг, «голубой» и «желтый» водород в несколько раз дешевле «зеленого» - от 2 долларов за килограмм. Способом паровой конверсии природного газа/метана в настоящее время производится примерно 70-75% всего водорода. Водяной пар при температуре 700-1000°C смешивается с метаном под давлением в присутствии катализатора. Себестоимость процесса - \$2-5 за килограмм водорода. Эксперты BNEF также прогнозируют, что ещё до 2030 года «зелёный» водород ценой чуть выше \$2/кг начнёт конкурировать с углём и природным газом в качестве энергоносителя при производстве стали, а к 2050 году при цене \$1/кг станет выгоднее газа на мировых рынках и сможет конкурировать с самым дешёвым углём, но при этом обеспечивая нулевые выбросы CO<sub>2</sub>. Снижение цены водорода возможно при строительстве инфраструктуры по доставке и хранению водорода. После небольших изменений водород может передаваться по существующим газопроводам природного газа [2].

Участвуя в Глобальном «круглом столе» ООН высокого уровня, прошедшем в мае 2021 года, Туркменистан предложил приступить к разработке Стратегии ООН, нацеленной на осуществление мер по развитию низкоуглеродной энергетики, а также создание международной «Дорожной карты» по развитию водорода в качестве одного из приоритетных направлений в энергетике. Как инициатор данных предложений наша страна готова в ближайшее время приступить на экспертном уровне к обсуждению путей и критериев их реализации.

28 января 2022 года Постановлением Президента Туркменистана была утверждена «Дорожная карта по развитию международного сотрудничества Туркменистана в области водородной энергии на 2022-2023 годы» и План мероприятий для её реализации [3].

В целях создания и развития в стране данной отрасли в Международном университете нефти и газа имени Ягшыгелди Какаева был создан Центр по водородной энергетике. Основной целью Центра является подготовка специалистов высокого уровня и налаживание международного научного сотрудничества в области водородной энергии, выполнение научно-исследовательских работ, разработка и

внедрение инновационных научно-образовательных программ в производство с целью создания и развития водородно-энергетической отрасли в Туркменистане. В лаборатории укомплектована установка для проведения научно-исследовательских работ по получению водородного топлива из воды методом электролиза. В настоящее время параллельно с организационными работами по получению водородной энергии из природного газа, в лаборатории готовится руководство по экспериментальной установке.

В текущем году, Международный университет нефти и газа имени Ягшыгелди Какаева, организовал и провел Международную научно-практическую конференцию «Научно-технические возможности получения водородной энергии из природного газа», которая была посвящена развитию водородной энергетики в Туркменистане. В ней приняли участие представители зарубежных стран, международных организаций, профильных высших учебных заведений, министерств, ведомств страны, а также известные ученые, профессора и преподаватели высших учебных заведений, студенты, около 100 представителей научных и образовательных учреждений из более 20 стран мира.

### **Список использованных источников**

1. Ильсов А. Водородная энергетика: «Дорожная карта» стратегии / Ильсов А. // Нейтральный Туркменистан. – 2021. – 27 авг. № 219.С. 3.
2. Мамедов Б.М. Роль Туркменистана в обеспечении глобальной энергетической безопасности / Мамедов Б.М., Джумакулиев А., Аманов М. Сборник трудов международной научно-практической конференции студентов, магистрантов, аспирантов, соискателей и докторантов «Рынок и эффективность производства – 18», посвященной 30-летию Независимости Республики Казахстан. - Кокшетау: Гуманит.-техн. Академия, 2021 г. - с.256-258.
3. Мамедов Б.М. Водородная энергетика: перспектива и потенциалы / Мамедов Б.М., Джумакулиев А., Аманов М. Сборник трудов международной научно-практической конференции студентов, магистрантов, аспирантов, соискателей и докторантов «Рынок и эффективность производства – 19», посвященной 31-летию Независимости Республики Казахстан. - Кокшетау: Гуманит.-техн. Академия, 2022 г. – с.214-216.

УДК 338.24

**А.С. Мелькова, М.Р. Пильковская, М.А. Сильванович**

Белорусский национальный технический университет  
Минск, Беларусь

## **ПОВЫШЕНИЕ УРОВНЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ САМОСТОЯТЕЛЬНОСТИ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

*Аннотация.* Одной из задач политики Беларуси является повышение уровня ее энергетической самостоятельности. Для этого проводится ряд мероприятий, деятельность которых отражается на индикаторах энергетической самостоятельности.

**A.S. Melkova, M.R. Pilkovskaya, M.A. Silvanovich**

Belarusian National Technical University  
Minsk, Belarus

## **INCREASING THE LEVEL OF ENERGY INDEPENDENCE OF THE REPUBLIC OF BELARUS**

*Abstract.* One of the policy objectives of Belarus is to increase the level of its energy independence. To achieve this, a number of activities are carried out, the activities of which are reflected in the indicators of energy independence.

Для Республики Беларусь уровень энергетической самостоятельности является очень важным показателем, повышение его уровня способствует повышению независимости и развитию страны. Энергетическая самостоятельность – это неотъемлемая часть энергетической безопасности, от которой зависит надежность энергосистемы.

Беларусь не имеет достаточного количества энергоресурсов для самообеспечения и вынуждена их импортировать. Основным поставщиком является Российская Федерация, у которой Беларусь закупает нефть и газ.

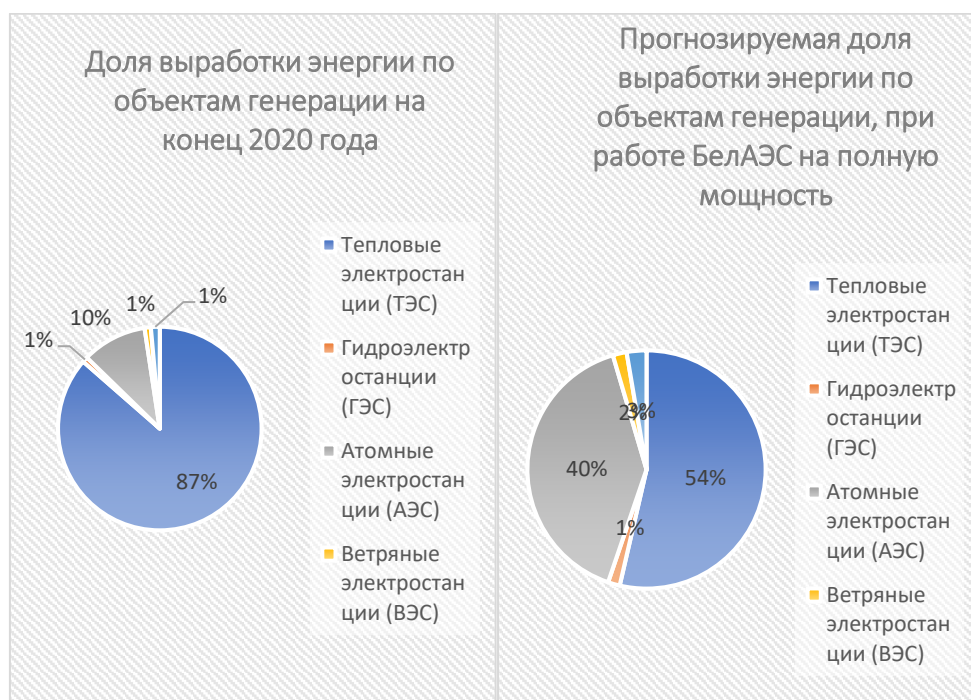
Долгое время почти вся электроэнергия в Беларуси вырабатывалась на тепловых электростанциях (ТЭС), топливом для которых являются газ и мазут. Дефицит этих ресурсов обуславливает серьезную зависимость Беларуси от поставляемого сырья.

Для повышения энергетической самостоятельности правительство придерживается цели снижения доли тепловых электростанций, за счет диверсификации энергии [1].

На рис. 1 представлена доля выработки энергии по объектам генерации на конец 2020 года, к этому моменту первый блок БелАЭС



был только запущен, и прогнозируемая доля выработки энергии по объектам генерации, при работе БелАЭС на полную мощность.



**Рис. 1 - Доля выработки энергии по объектам генерации на конец 2020 года и при использовании БелАЭС на полную мощность**

Из рис.1 видно, что доля ТЭС в 2020 году все еще велика- равна 87%, но уже тогда БелАЭС вырабатывала 10 %, от всей вырабатываемой энергии в стране. На данный момент атомная электростанция все еще не использует весь свой потенциал. БелАЭС имеет мощность до 2400 МВт, при запуске станции на полную мощность, прогнозируются, что она будет генерировать до 40% электроэнергии. То полное введение в эксплуатацию АЭС в Беларуси в значительной степени изменит структуру белорусской энергосистемы.

Для характеристики энергетической самостоятельности используют два индикатора – это отношение объема производства (добычи) первичной энергии к валовому потреблению ТЭР и отношение объема производства (добычи) первичной энергии из возобновляемых источников энергии к валовому потреблению ТЭР. В таблице 1 представлены плановые и фактические показатели этих индикаторов для Республики Беларусь на период 2010-2035 года [2].

Из приведенных данных следует, что до 2020 года отношение объема производства первичной энергии к валовому потреблению ТЭР было ниже критического уровня и незначительные увеличения уровня этого показателя связаны с модернизацией и увеличением эффективности имеющихся станций. Значительные изменения

наблюдаются с 2020 года, когда плановый показатель был превзойден на 1,1%. В 2021 году фактический показатель превзошел плановый показатель 2035 года, то есть время достижения цели сократилось на 14 лет. Такая динамика связана с вводом БелАЭС в эксплуатацию, что, следовательно, в значительной степени повлияет на энергетическую самостоятельность страны.

**Таблица 1 - Значение фактических и плановых индикаторов на период 2010-2035 года**

Название индикатора			Отношение объема производства (добычи) первичной энергии к валовому потреблению ТЭР, %	Отношение объема производства (добычи) первичной энергии из возобновляемых источников энергии к валовому потреблению ТЭР, %
Значения индикаторов по годам	2010	план	К	К
		факт	К	ПК
	2015	план	К	К
		факт	К	ПК
	2020	план	К	ПК
		факт	ПК	ПК
	2021	факт	ПК	ПК
	2025	план	ПК	ПК
	2030	план	ПК	ПК
2035	план	ПК	ПК	

Н-нормальный уровень

К-критический уровень

ПК-предкритический уровень



Что касается отношения объема производства первичной энергии из возобновляемых источников энергии (ВИЭ) к валовому потреблению, то рост этого показателя более равномерный и наблюдается с 2010 года. Хотя станции работающие на возобновляемых источниках энергии, по сравнению с АЭС, вырабатывают меньшую долю энергии, все равно их строительство является важной частью стратегии достижения энергетической самостоятельности Беларуси.

Плановые показатели взяты из постановления «Об утверждении Концепции энергетической безопасности Республики Беларусь», согласно которому страна нацелена на достижение энергетической самостоятельности, путем выработки энергии с помощью местных

видом энергоресурсов, главным образом с помощью возобновляемых источников энергии [3]. Стоит учесть, что при достижении цели стоит проводить работы во всей энергетической сфере, повышая энергоэффективность производства, распределения и конечного потребления топливно-энергетических ресурсов.

Таким образом, Беларусь не является энергетически самостоятельной страной, но ведутся работы по достижению энергетической независимости.

### **Список использованных источников**

1. 12 международная научная конференция «Проблемы прогнозирования», 2021 г.: материалы конф. / Белорус. гос. технол. ун-т; Ольферович А.Б., Старостенко К.В. (гл. ред.) [и др.]. – Минск: БНТУ, – 244с.
2. Национальный статистический комитет Республики Беларусь [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://belstat.gov.by/>. – Дата доступа: 29.10.2023.
3. О концепции энергетической безопасности Республики Беларусь: Постановление Совета Министров Республики Беларусь, 23 декабря 2015 г. № 1084: в ред. Совета министров Республики Беларусь 23.15.2015 – Минск 2015.

УДК 634.674.032.14

**Л.П. Мельник, М.С. Терехина, А.П. Королева**

МФ Московского государственного технического университета  
им. Н.Э. Баумана (Национальный исследовательский университет)  
Россия

### **ОСОБЕННОСТИ ДИССЕМИНАЦИИ ЛИСТВЕННИЦЫ ЕВРОПЕЙСКОЙ (*Larix decidua* Mill.) ЗА ЧЕТЫРЕХЛЕТНИЙ ПЕРИОД В УСЛОВИЯХ НИКОЛЬСКОЙ ЛЕСНОЙ ДАЧИ**

*Аннотация.* Представлены исследования диссеминации лиственницы европейской за 4-летний период в Никольской лесной даче Московской области. Эффективность диссеминации наблюдается на расстоянии до 60 метров, что равняется двойной высоте материнского насаждения. Установлено, что расселение лиственницы происходит на значительно меньшее расстояние, чем считалось раньше.

**L.P. Mel'nik, M.S. Terekhina, A.P. Koroleva**  
Mytishchi Branch of Bauman Moscow State Technical University  
(National Research University)  
Russia

## **FEATURES OF DISSEMINATION OF THE EUROPEAN LARCH (*Larix decidua* Mill.) OVER A FOUR-YEAR PERIOD IN THE CONDITIONS OF THE NIKOLSKAYA FOREST DACHA**

*Abstract.* Studies of the dissemination of European larch over a 4-year period in the Nikolskaya forest dacha of the Moscow region are presented. The effectiveness of dissemination observed at a distance of up to 60 meters, which equals to doubled height of the parent stand. It is found, that larch is spreading on a significantly shorter distance, that it was thought previously.

Лиственница, в условиях Подмосковья, относится к ценным породам, поскольку имеет высокую продуктивность, а прекрасные результаты возобновления за пределами естественного ареала показывают устойчивость и жизнеспособность этой породы в новых условиях, что особенно важно для пород-интродуцентов [1, 2]. Для фундаментальных исследований важно изучение миграционных возможностей лиственницы, которые могут реализовываться главным образом путём диссеминации [3]. По этому вопросу имеется ряд публикаций для лесов Европейского Севера, где лиственница произрастает в естественном ареале [4]. В них в основном рассматриваются только способы диссеминации, но их эффективность, зависящая от дальности диссеминации и массовости рассеянных семян, ещё отражена недостаточно.

Целью работы является изучение эффективности и дальности диссеминации, массовости рассеянных семян лиственницы европейской (*Larix decidua* Mill.) за четырехлетний период в условиях северо-востока Московской области.

Объект исследования расположен на территории Никольской лесной дачи в Воря-Богородском лесничестве Щёлковского учебно-опытного лесхоза Московской области. Материнское насаждение представлено культурами лиственницы европейской, созданными в 1871 г. Тип лесорастительных условий В<sub>2</sub> (простая свежая суборь). В 143-летнем возрасте насаждение характеризовалось Iа классом бонитета, составом первого яруса 9Л1СедЕ; второго яруса – 8Е2Кл. Общий запас стволовой древесины – 1233 м<sup>3</sup>/га [5].

Изучение особенностей диссеминации лиственницы европейской проводили с марта по июль 2020-2023 гг., с помощью семеномеров, размером (1×1 м). Итоги исследований за четырехлетний период представлены в таблице 1.

Основная масса семян (88,8 %) оседает на расстоянии 40 метров от материнских деревьев. Почти половина (45,1 %) опавших семян рассеивается в границах полога и опушки, причём под пологом насаждения выпадает почти четверть семян (24,0 %). Эффективность диссеминации под пологом в среднем достигает 321 шт./м<sup>2</sup> семян, с колебаниями от 152 в 2021 году до 537 шт./м<sup>2</sup> в 2022 году. На опушке эффективность диссеминации составляет 283 шт./м<sup>2</sup> семян, далее через 40 метров этот показатель падает до 99 шт./м<sup>2</sup>, плавно снижаясь, по мере удаления семеномеров от насаждения. На расстоянии 50 метров учтено лишь 52 шт./м<sup>2</sup> семян, а через 60 метров, что равняется двойной высоте материнского насаждения, всего 29 шт./м<sup>2</sup> семян. На границе эксперимента было лишь 0,1 % семян.

**Таблица 1 – Характер диссеминации лиственницы европейской в условиях простой свежей субори Никольской лесной дачи (кол-во семян, шт./м<sup>2</sup>)**

Годы учёта (2020–2023)	Под пологом насаждения		На опушке		Расстояние от материнских деревьев, м				
					10	20	30	40	50
Среднее кол-во семян, шт. (%)	321 (24,0)		283 (21,1)		196 (14,7)	164 (12,3)	125 (9,3)	99 (7,4)	52 (3,9)
Расстояние от материнских деревьев, м									Итого за год
60	70	80	90	100	110	120	130		
29 (2,2)	16 (1,2)	15 (1,1)	14 (1,0)	12 (0,9)	5 (0,3)	6 (0,4)	2 (0,1)		1339 (100)

Этот факт свидетельствует, что расселение лиственницы происходит на значительно меньшее расстояние, чем считалось раньше [3].

Необходимо иметь представление об особенностях биологии и экологии плодоношения лиственницы в новых для неё условиях местопроизрастания, результаты которых приведены в таблице 2. Из таблицы видно, что лиственница европейская плодоносит ежегодно, самым урожайным был 2020 г.

**Таблица 2 – Урожай семян лиственницы европейской в Никольской лесной даче за 4-летний период (2020-2023 гг.)**

Год учёта	Число семян в семеномерах, тыс. штук	Число семян на 1 га, тыс. штук	Вес семян, кг	Начало и конец сбора семян
2020	2,083	1 388,7	9,1	29.III / 09.VII
2021	0,778	518,7	3,4	25.IV / 25.VII
2022	1,913	1 275,3	8,3	17.IV / 17.VII
2023	0,583	388,7	2,5	17.IV / 20.VII
Среднее	1,339	892,8	5,8	

Таким образом, эффективность диссеминации лиственницы европейской наблюдается на расстоянии до 60 метров, что равняется двойной высоте материнского насаждения. По этой причине лиственница не смогла до настоящего времени достигнуть территории Подмосковья из ледниковых убежищ в Восточных Карпатах и на Южном Урале.

### Список использованных источников

1. Тимофеев В.П. Природа и насаждения Лесной опытной дачи Тимирязевской сельскохозяйственной академии за 100 лет. – М.: Лесная промышленность, 1965. – 168 с.
2. Мельник Л.П. Особенности диссеминации и естественного возобновления лиственницы европейской в центре Русской равнины: дис. ... канд. с.-х. наук 06.03.02. – Успенское, 2022. – 144 с.
3. Удра И.Ф. Расселение растений и вопросы палео- и биогеографии. – Киев: Наукова думка, 1988. – 200 с.
4. Козобродов А.С. Семеношение и возобновление лиственницы в Архангельской области: автореф. дис. канд. с.-х. наук: 562. – Минск, 1968. – 22 с.
5. Мерзленко М.Д., Мельник П.Г. Опыт лесоводственного мониторинга в Никольской лесной даче. – М.: ФГБОУ ВПО МГУЛ, 2015. – 112 с.

УДК 630\*232.11

**П.Г. Мельник<sup>1,2</sup>, С.В. Ребко<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>МФ Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана (Национальный исследовательский университет)

<sup>2</sup>Институт лесоведения РАН  
Россия

<sup>3</sup>Белорусский государственный технологический университет  
Минск, Беларусь

## РЕЗУЛЬТАТЫ РОСТА И ПРОДУКТИВНОСТИ БЕЛОРУССКИХ ЭКОТИПОВ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ В ФАЗЕ ФОРМИРОВАНИЯ СТВОЛОВ В УСЛОВИЯХ МЕЩЕРСКОЙ НИЗМЕННОСТИ

*Аннотация.* Исследованы белорусские экотипы сосны в географических культурах Авсюнинского лесничества Московской области. Сравнительная оценка

показала, что наиболее перспективным является экотип из Россонского лесхоза Витебской области, который по среднему приросту, объёму ствола и продуктивности опережает местную сосну.

**P.G. Mel'nik<sup>1,2</sup>, S.U. Rabko<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Mytishchi Branch of Bauman Moscow State Technical University  
(National Research University)

<sup>2</sup>Institute of Forest Science Russian Academy of Sciences  
Russia

<sup>3</sup>Belarusian State Technological University  
Minsk, Belarus

## **RESULTS OF GROWTH AND PRODUCTIVITY OF BELARUSIAN ECOTYPES OF SCOTS PINE IN THE PHASE OF TRUNK FORMATION IN THE CONDITIONS OF THE MESHCHERSK LOWLAND**

***Abstract.** The Belarusian ecotypes of pine ordinary in the geographical cultures of the Avsyuninsky forestry of the Moscow region have been studied. A comparative assessment showed that the most promising is the ecotype from the Rossony enterprise of the Vitebsk region, which, in terms of average growth, trunk volume and productivity, surpasses the local pine.*

Географические культуры представляют собой один из приёмов лесной селекции, выявляющие ценные наследственные особенности инорайонных популяций [1]. В обширном ареале сосны обыкновенной закономерно наблюдается дифференциация популяций вида по наследственным свойствам в географическом градиенте и возможен поиск высокопродуктивных популяций, причём весьма удалённых от места их апробации [2].

Ценнейший географический спектр испытываемых климатипов сосны заложен весной 1966 года в Авсюнинском лесничестве Куровского ОЛХ Московской области на площади 10,5 га. Тип условий местопроизрастания – суборь свежая В<sub>2</sub>. Метод создания – посадка в специально нарезанные борозды, схема размещения растений – 1,5×1,0 м. Всего было высажено 52 экотипа, охватывающих практически весь ареал рода *Pinus* от Прибалтики и Беларуси до Дальнего Востока России.

Из 52 испытанных экотипов в 2013–2014 гг. изучены 5 провениенций белорусского происхождения из Брестской, Витебской, Гродненской, Минской и Могилёвской областей. На момент исследований возраст лесных культур составил 47 лет, биологический – 49 лет. В этом возрасте, географические культуры по своему развитию находились в начальной стадии фазы формирования стволов,

начало которой характеризуется завершением отпада (особенно сильного в перегушенных насаждениях) и дальнейшим интенсивным накоплением запаса. В этот период по всей образующей ствола идёт активная работа камбия [3].

В результате обработки полевого материала были получены таксационные характеристики экотипов, которые позволяют оценить потенциальную продуктивность сосны в Центральном лесосеменном районе России (таблица).

**Таблица – Результаты роста белорусских экотипов сосны в географических культурах Авсюнинского лесничества**

Экотип	$H_{cp}$ , м	$D_{1.3}$ , см	N, шт/га	M, м <sup>3</sup> /га	$Z_m$ , м <sup>3</sup>	$V_{ств}$ , м <sup>3</sup>
17	23,2	21,5	1079	433	9,2	0,401
32	23,3	20,4	1018	370	7,9	0,343
68	20,1	18,0	1549	403	8,6	0,260
70	20,9	19,1	1221	355	7,6	0,291
73	23,1	19,1	1331	419	8,9	0,315
M	23,7	19,4	1215	400	8,5	0,329

**Примечание:**

1. Наименование экотипов сосны обыкновенной в таблице следующее: 17 – Витебская область, Россонский лесхоз; 32 – Брестская область, Пружанский лесхоз; 68 – Гродненская область, Волковысский лесхоз; 70 – Минская область, Узденский лесхоз; 73 – Могилёвская область, Быховский лесхоз; M – Московская область, Куровской лесхоз. 2. Другие обозначения интерпретируются следующим образом:  $H_{cp}$  – средняя высота насаждений, м;  $D_{1.3}$  – средний диаметр деревьев в насаждении, см; N – густота стояния (количество) деревьев, шт./га; M – запас стволовой древесины, м<sup>3</sup>/га;  $Z_m$  – средний прирост по запасу на участке за год, м<sup>3</sup>;  $V_{ств}$  – средний объем ствола дерева, м<sup>3</sup>.

Наибольшую высоту в 47-летнем возрасте имеют экотипы сосны из Куровского лесхоза Московской области (23,7 м), Пружанского лесхоза Брестской области (23,3 м), Россонского лесхоза Витебской области (23,2 м) и Быховского лесхоза Могилевской области (23,1 м), худшие показатели у экотипа из Волковысского лесхоза Гродненской области – 20,1 м. Средние диаметры экотипов плавно изменяются от наибольшего 21,5 см у сосны из Россонского лесхоза Витебской области до наименьшего – 18,0 см у Волковысского экотипа из Гродненской области.

Лидерами по продуктивности являются экотипы из Россонского лесхоза Витебской области (433 м<sup>3</sup>/га) и Быховского лесхоза Могилевской области (419 м<sup>3</sup>/га), высокую продуктивность показала местная сосна из Куровского лесхоза Московской области (465 м<sup>3</sup>/га). Низкой продуктивностью характеризуются Узденский и Пружанский экотипы – 355 и 370 м<sup>3</sup>/га соответственно.



Лучшая сохранность деревьев (густота посадки 6600 шт./га), у Волковысского (1549 шт./га) и Быховского (1331 шт./га) экотипов, которые характеризуются также и высокой продуктивностью. Средние объёмы стволов сосны на объекте географических культур варьируют от 0,260 до 0,401 м<sup>3</sup>. Лидером является экотип из Россонского лесхоза Витебской области, близки к лидеру три экотипа – из Пружанского лесхоза Брестской области (0,343 м<sup>3</sup>), Куровского лесхоза Московской области (0,329 м<sup>3</sup>) и Быховского лесхоза Могилевской области (0,315 м<sup>3</sup>) с почти одинаковыми показателями. Минимальный средний объем ствола 0,260 м<sup>3</sup> зафиксирован у Волковысского экотипа из Гродненской области.

Для получения полной картины о степени различия в продуктивности исследованных белорусских экотипов сосны обыкновенной и местной Подмосковной провениенции, по модифицированной методике [4] рассчитан суммарный показатель целесообразности интродукции или внедрения конкретных экотипов. Сравнительная оценка показала, что наиболее перспективным является экотип из Россонского лесхоза Витебской области (G=0,170). Необходимо отметить, что в 47-летнем возрасте на данном объекте отдельные экотипы сосны из Украины и Прибалтики были в числе лучших, при этом ныне действующим «Лесосеменным районированием» данные провениенции не рекомендованы к использованию. Исследования 61-летних географических культур сосны на территории Негорельского учебно-опытного лесхоза Минской области показали, что у Витебского экотипа, наряду с Гродненским и Минским, наблюдается наибольший выход эфирного масла – 2,0 % [5].

### **Список использованных источников**

1. Мерзленко М.Д., Мельник П.Г. Значение географических лесных культур в сохранении биологического разнообразия древесных растений // Биологическое разнообразие лесных экосистем. – М.: Типография Россельхозакадемии, 1995. – С. 325–327.
2. Пальцев А.М., Мерзленко М.Д., Мельник П.Г. Опыт географических культур ели в зоне смешанных лесов. Обзорная информация. – М.: Изд-во «ВНИИЦлесресурс», 1995. – 35 с.
3. Мерзленко М.Д., Бабич Н.А., Гаврилова О.И. Введение в экологию хвойных лесных культур. – Архангельск: САФУ, 2018. – 379 с.
4. Мерзленко М.Д., Мельник П.Г. Итог тридцати вегетаций в

географических культурах ели Сергиево-Посадского опытного лесхоза // Научные труды Московского государственного университета леса. – 1995 – Вып. 274. – С. 64–77.

5. Ребко С.В., Мельник П.Г., Ламоткин С.А., Тупик П.В., Поплавская Л.Ф., Носников В.В. Анализ содержания основных компонентов эфирного масла в хвое различных климатипов и подвидов сосны обыкновенной // Resources and Technology, 2021. – Т. 18. №3.– С. 17–36. DOI: 10.15393/j2.art.2021.5783.

УДК 621.311.243

**Х.А. Мередова, Р.А. Гурбанмурадов**

Туркменский государственный архитектурно-строительный институт  
Ашхабад, Туркменистан

## **ОТОПЛЕНИЕ И ОХЛАЖДЕНИЕ ДОМОВ ЗА СЧЁТ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ**

*Аннотация.* Солнечная энергия является одним из самых удобных и экономичных возобновляемых источников энергии. Климатические условия Туркменистана подходят для отопления и охлаждения домов пассивными системами, которые экономически целесообразны.

**H.A. Meredova, R.A. Gurbanmuradov**

Turkmen State Architecture and Construction Institute  
Ashgabat, Turkmenistan

## **HEATING AND COOLING OF HOUSES DUE TO SOLAR ENERGY**

*Abstract.* Solar energy is one of the most convenient and economical renewable energy sources. The climatic conditions of Turkmenistan are suitable for heating and cooling houses with passive systems that are economically feasible.

В настоящее время проводится большая работа по постоянному совершенствованию научной и образовательной системы, внедрению в производство научных разработок ученых и их изобретений, укреплению материально-технической базы научно-исследовательской деятельности. Присутствие молодых ученых в поиске изобретений, а также развитие экономики страны за счет диверсификации ставит перед строительной отраслью ряд задач, которые необходимо решить.

В эру Возрождения новой эпохи могущественного государства ведется непрерывная работа по коренному реформированию и совершенствованию системы науки и образования в нашей стране. Туркменистан имеет большой потенциал в использовании солнечной энергии. Ведь более 300 из 365 дней в году в Туркменистане солнечные, а световой день равен 12-14 часам.

В нашем научном исследовании мы проанализируем результаты наших экспериментов в двух домах, отапливаемых солнечными батареями. Один из них называется «Пастуший дом», который обогревается и охлаждается солнцем, и построен он в бывшем городке «Бахерден» Бахерденского этрапа. Другой был построен в селе «Черкезли» Гекдепинского этрапа и несколько лет проходил испытания.

Общая площадь дома 101,16 м<sup>2</sup>, объем 222,8 м<sup>3</sup>. Жилая площадь - 40,8 м<sup>2</sup>, полезная площадь - 61,12 м<sup>2</sup>, площадь балкона - 22,2 м<sup>2</sup>.

Фундамент выполнен из монолитного бетона, марка бетона М-200. На дно кирпичных стен заливали цементную смесь толщиной 2 см, а сверху дважды наносили битум, чтобы стены не впитывали влагу. Стены облицованы отборным жженым кирпичом марки М-75 и цементным раствором марки 300. Кирпичная кладка армируется арматурой шесть диаметров через каждые шесть рядов по высоте.

Толщина стен 0,38 м, столовая и терраса покрыты железобетонными плитами. Жилая площадь солнечного домика покрыта металлическими лейками.

Крыша столовой и террасы покрыты тремя слоями битумной мастики. Для теплоизоляции уложен оргалитовый щебень 0,15-0,16 м толщины. В жилой зоне дома предусмотрен теплоизоляционный экран, передвигающийся над резервуарами для воды.

Паркетные полы в гостиной и столовой. Пол террасы изготавливается из цемента толщиной 5-10 см.

Каркас дома выполнен из монолитного железобетона, а окна изготовлены по ГОСТу.

Наружные поверхности кирпичных стен (между плиткой и кирпичом) украшены специальными украшениями. Внутренняя часть стен была оштукатурена бетонной смесью и дважды побелена. Верх столовой и террасы окрашены в яркие цвета. Резервуары для воды на крыше резиденции окрашены специальными красками, чтобы они не ржавели.

Южная стена дома с солнечным отоплением состоит из металлической оболочки толщиной 30 см, заполненной гравием. Внешняя поверхность металлического корпуса окрашена в черный цвет

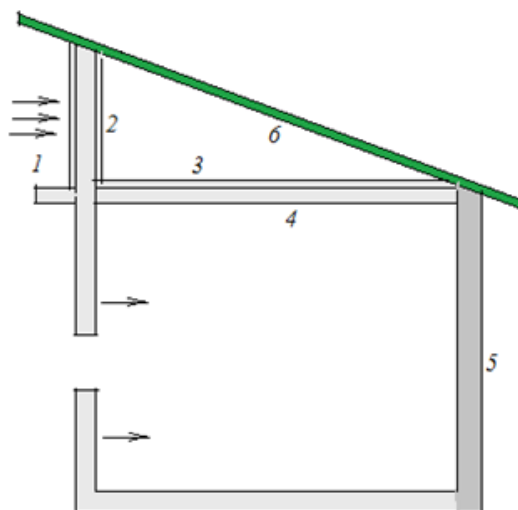
для поглощения большого количества солнечного света. Сквозь внутреннюю металлическую оболочку покрыта сеткой под названием «рабиса» и пропитана цементным раствором на толщину 2 см. Затем поверхность штукатурки дважды белят гипсом. В верхней и нижней части этой стены сделана щель шириной 0,1-0,2 м для циркуляции воздушного потока. На него предполагается поставить заслонки, чтобы настроить поток воздуха через эти работы.

Общая мощность гравийной стенки 0,3-0,34 м, длина 11,5 м, высота 2,6 м. В 0,2 м перед этой стеной находится стеклопакет. Расстояние между зеркалами 2 см. Перед зеркалом расположен экран толщиной 4,5 см из минеральной ваты, покрытый с двух сторон антибликовым материалом, прикрепленный к основанию петлями, которые можно открывать и закрывать. Есть десять ящиков. Каждый контейнер вмещает 0,5 м<sup>3</sup> воды. Направляющие каналы размещены поверх контейнеров с 12-тью марками. По каналам перемещается теплопроводный экран из минеральной ваты, с отражающей поверхностью.

Необходимо выбрать общую схему, включающую в себя характеристики солнечных домов, и на основе этой схемы изучить протекающий в нем тепловой процесс. Наиболее совершенной из выбранных схем является пассивная схема Солнечного Дома, которая в то же время удовлетворяет вышеперечисленным условиям.

В этих схемах стеклопакеты, закрывающие южную стену, обращенную друг к другу, затемнение наружной поверхности стены, проемы в стене вдоль нее, движущиеся экраны, заслонки и др., оказывают эффективное влияние на улучшение тепловых норм помещения.

Схема, представленная на рисунке, показывает, что стены Дома Солнца, кроме стены, выходящей на юг, ничем не отличаются от стен обычных домов. Снаружи южная стена дома окрашена в черный цвет, способный максимально поглощать солнечный свет. В верхней и нижней части этой стены имеется щель (отверстие), проходящая по длине стены для циркуляции воздуха дома. Они снабжены специальными заслонками, чтобы отверстия можно было открывать и закрывать в любое время.



**Рис. 1: 1-Солнечные лучи; 2-Зеркало; 3- внутренняя часть стены; 4- верхний этаж дома; 5-стенка теплоаккумулятора; 6- крыша.**

С каменной стороны стены укладывают два слоя стекла на расстоянии 0,2-0,3 м. Верхняя и нижняя части зеркал снабжены отверстиями для вентиляции. Перед двойным стеклом находится откидной экран, который можно открывать и закрывать. Экран выполнен из теплопроводящего материала толщиной 0,03-0,04 мкм. Обе стороны экрана покрыты материалом с высокой отражающей способностью.

Так как экран передвижной, его вес на площади 1 м<sup>2</sup> не должен превышать 4-5 кг. Чтобы обеспечить комфортный прохладный воздух для жильцов пассивного дома в летние месяцы, на крыше дома размещают заполненные водой алюминиевые или дюралюминиевые (как правило, из нержавеющей стали) емкости. Внешняя и внутренняя поверхности этих контейнеров покрыты светоотражающими материалами, а открытие и закрытие осуществляется с помощью экрана из материала, плохо проводящего тепло.

В отопительный сезон экраны открыты в светлое время суток. В это время солнечные лучи, проходящие непосредственно через атмосферный слой, а также солнечные лучи, рассеянные от экрана, лежащего перед стеной (к ним добавляются солнечные лучи, рассеянные от частиц в воздухе), проходят через двойное стекло и падают на затемненную стену. При этом часть солнечных лучей поглощается, а оставшаяся небольшая часть рассеивается. Часть солнечных лучей, поглощаемая толщиной стены, преобразуется в тепло. Часть этого тепла постепенно распространяется по стене и начинает ее нагревать, а остальное расходуется на нагрев окружающего стену воздуха. Плотность слоя горячего воздуха уменьшается, он

охлаждается и поднимается вверх и через отверстие сверху доставляется в дом. Вместо этого воздуха более холодный и тяжелый воздух в доме проходит через отверстие внизу. Так воздух начинает циркулировать. В результате часть тепла, выделяемого солнечными лучами в стене, аккумулируется стеной, а часть передается в дом за счет теплопроводности. Другая часть тепла передается в дом через верхний проем за счет движения воздушных слоев, падающих на стену, а остальная часть отдается в виде внешних потерь через воздушные слои и стеклопакеты.

В зимние месяцы, когда погода пасмурная, экран перед домом закрывается. В этот период тепло дома поддерживается за счет аккумулированного тепла в южной стене. Если этого тепла недостаточно, необходимое тепло обеспечивают газовые плиты, электрические плиты или другие печи, работающие на топливе.

В летние месяцы или в другие жаркие летние дни оба экрана накрываются, чтобы в течение дня проникали солнечные лучи. Ночью эти экраны открыты. В это время тепло, накопленное водой за сутки, отдается в окружающую среду за счет излучения. В результате вода остывает всю ночь и готова поглотить излишки тепла дома днем. Кроме того, температура воды снижается за счет испарения. В жаркие дни заслонки над и под стеклопакетами ночью открываются, и прохладный ночной воздух проходит через эти отверстия и охлаждает поверхность стены.

Еще одной особенностью Дома Солнца, является движение резервуара для воды объемом  $2,5 \text{ м}^3$  шириной  $0,2 \text{ м}$  и высотой  $2 \text{ м}$ , который кинематически связан с экраном перед южной стеной. Вода из этого резервуара накачивается в течение дня и нагревается солнечными лучами, проходящими через стекло. Ночью бак опускают, чтобы отдать накопившееся за день тепло в помещение. Установлено, что климатические условия Туркменистана подходят для отопления и охлаждения домов пассивными системами. Путем расчетов установлено, что энергия, падающая на вертикальную стену, обращенную на юг, в  $2,2$  раза больше, а солнечная энергия, падающая на эту стену, в  $1,7$  раза больше зимой, чем летом. При отоплении солнечных домов важна не только прямая солнечная радиация, но и роль рассеянного излучения. Потому что на эти зимние месяцы приходится примерно  $50$  процентов прямого излучения. «Солнце» повышает температуру дома на  $8-12 \text{ К}$  по сравнению с температурой обычного дома. По проведенным экспериментам научно доказано, что использование домов, отапливаемых и охлаждаемых за счет солнечной

энергии, в климатических условиях Туркменистана экономически целесообразно.

### Список использованных источников

1. Аşырбаýew М.Н. Gün energiýasy peýdalanylýan jaýlaryň ýulylyk kadasy. – А.: Ýlym, 2009. 56-68 с.
2. Андерсон Б. Солнечная энергия (основы строительного проектирования) – М.: Стройиздат. 1982. 142 с.

УДК630\*306

**Ю.И. Мисуно**

Белорусский государственный технологический университет  
Минск, Беларусь

## ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОГО АНАЛИЗА ДЛЯ ОЦЕНКИ ЭКСПЛУАТАЦИОННО- ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ СОВМЕСТИМОСТИ ЛЕСНЫХ МАШИН С ПОЧВОГРУНТАМИ

*Аннотация.* Оценка соответствия лесных машин заданным целям и условиям освоения лесного фонда может осуществляться на основе критериев, характеризующих взаимодействие движителей лесных машин с почвогрунтами. Для их комплексного анализа могут быть использованы различные методы и инструменты многокритериальной оценки, которые и были исследованы в данной работе.

**Yu.I. Misuno**

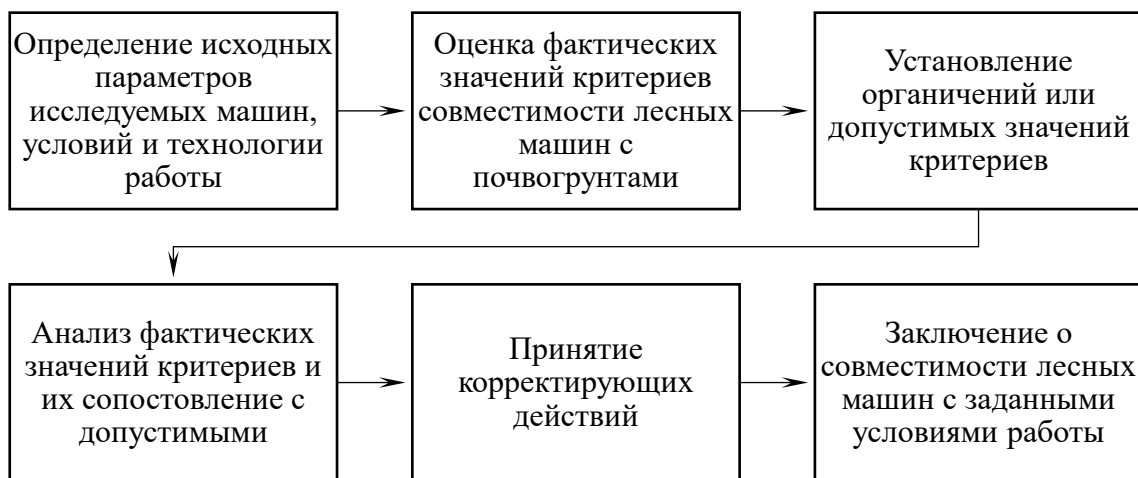
Belarusian State Technological University  
Minsk, Belarus

## APPLICATION OF MULTICRITERIA ANALYSIS METHODS TO ASSESS THE OPERATIONAL AND ENVIRONMENTAL COMPATIBILITY OF FORESTRY MACHINES WITH SOILS

*Abstract.* Assessment of the compliance of forest machines with the specified goals and conditions for the development of the forest fund can be carried out on the basis of quantitative criteria characterizing the interaction of the propulsors of forest machines with soils. For their comprehensive analysis, various methods and tools of multi-criteria assessment can be used.

**Введение.** Суть оценки эксплуатационно-экологической совместимости лесных машин с почвогрунтами заключается в

определении возможности и целесообразности применения лесозаготовительной техники в заданных почвенно-грунтовых условиях с учетом эффективности выполнения транспортных и технологических операций, оказываемого экологического воздействия на лесной почвогрунт и размеров эксплуатационных затрат. Ранее было установлено [1], что такая оценка может проводиться на основе параметров взаимодействия движителей лесных машин с почвогрунтами с учетом характеристик транспортно-технологических элементов лесосеки. В результате был предложен ряд таких параметров, которые получили название *критериев эксплуатационно-экологической совместимости лесных машин с почвогрунтами* [1]: проходимость машин, давление движителя на почвогрунт, степень уплотнения почвогрунта, глубина колеи, степень минерализации, коэффициент использования производительности машины, эксплуатационные затраты на заготовку лесоматериалов. Применение данных критериев положено в основу разработанной методологии оценки эксплуатационно-экологической совместимости лесных машин с почвогрунтами [1], которая практически может быть реализована по алгоритму, представленному на рис. 1.



**Рис. 1 - Алгоритм оценки эксплуатационно-экологической совместимости лесных машин с почвогрунтами**

Важной задачей в предложенной методологии является выбор метода для анализа критериев. Самой простой разновидностью такого анализа является прямое сравнение фактических значений критериев  $x_i$  с их граничными (допустимыми) показателями  $y_i$ , при этом должны выполняться условия  $x_i \leq y_i$  (по критериям: проходимость машины, давление движителя, степень минерализации, степень уплотнения, глубина колеи и затраты на заготовку) и  $x_i \geq y_i$  (по критерию коэффициента использования производительности машины).



Выполнение всех эксплуатационных, экономических и экологических задач при освоении лесного фонда будет обеспечено за счет строгого выполнения условий по всем критериям. Такой вариант анализа критериев наиболее применим при оценке соответствия заданным условиям эксплуатации конкретной лесной машины с определенными характеристиками двигателя.

Однако на практике оценка совместимости лесных машин с почвогрунтами усложняется в виду следующих факторов. Во-первых, учитывая условия эксплуатации и характеристики осваиваемого лесного фонда, изначально могут быть установлены приоритеты по обеспечению эксплуатационных, экономических и экологических целей лесопользования. Во-вторых, при проектировании техпроцесса лесосечных работ могут рассматриваться несколько вариантов машин с различными параметрами двигателя. Выбор наиболее приемлемого варианта будет осуществляться по фактическим значениям критериев совместимости каждого варианта. При этом каждая исследуемая техника может иметь преимущество по отдельным критериям, что порой не позволяет определить очевидный приемлемый вариант. В-третьих, обоснованный выбор лесной машины на основе ее оценки по множеству критериев может быть выполнен путем определения комплексного интегрального показателя, который учел бы фактические значения всех критериев и их приоритет в достижении поставленных целей лесопользования. И четвертый фактор заключается в том, что оценка совместимости лесных машин заданным условиям включает в себя граничные условия или допустимые значения критериев. Потому важно включить в критериальную оценку и условие соблюдения допустимых значений критериев взаимодействия лесных машин с почвогрунтами, так как это даст возможность в необходимой мере обеспечить выполнение поставленных целей при освоении лесного фонда.

Учитывая заданные условия для разработанной методологии оценки совместимости лесных машин с почвогрунтами требуется рассмотреть применение методов многокритериального анализа. Эти методы применяются в системах поддержки и принятия решения для сравнения и поиска наиболее приемлемого альтернативного варианта действий при наличии множества, зачастую противоречивых критериев [2]. При этом принятие решений в данных методах может быть основано на определении комплексного интегрального показателя, который позволяет учесть и объединить все основные характеристики исследуемых объектов или процессов, и представить их в едином числовом значении. Далее рассмотрим способы получения данного показателя в зависимости от принимаемого метода многокритериального анализа.

Применение тех или иных методов зависит от цели исследования, характера исходных данных, количества критериев, целевых показателей и др. При этом необходимо учитывать возможность точной оценки потенциальных результатов принимаемых решений с учетом вероятности их наступления. В этом случае могут быть использованы методы, в которых принятие решений осуществляется в условиях определенности, неопределенности и в условиях риска [3].

Для многокритериальной оценки в условиях определенности характерно наличие всей необходимой информации для оценки критериев и результатов принимаемых на их основе решений. Большинство методов данной группы основаны на экспертной оценке при ранжировании и определении степени важности критериев, что может привести к субъективности при принятии решений. Однако этот недостаток решается правильным планированием, контролем и корректировкой процесса оценки результатов.

Методы, применяемые в рамках принятия решений в условиях неопределенности, используются, когда невозможно определить вероятность развития оценочных параметров и результатов принимаемых решений, что характерно в условиях конфликта, в нечеткой среде, для стохастических задач, где учитываются случайность и неопределенность.

Методы многокритериального анализа в условиях риска используются при необходимости принятия решений, когда ключевые параметры определены с известной долей вероятности наступления событий.

В рамках разрабатываемой методологии оценка критериев осуществляется на основе расчетных методик, где учитываются конкретные исходные данные исследуемого процесса освоения лесного фонда, а также нормативные и установленные граничные условия, что соответствует методам анализа критериев в условиях определенности. В практическом применении исследуемые методы различаются способами агрегации и нормализации критериев, подходами в определении весовых коэффициентов при ранжировании критериев, приемами определения интегрального показателя и т.д. Для определения последнего могут быть использованы следующие методы.

**Метод ранжирования**, при котором выбор альтернативы осуществляется на основе минимизации суммы рангов каждого из вариантов или максимизации суммы мест.

**Метод простого аддитивного взвешивания**, в котором нормализованные значения каждого критерия умножаются на весовой коэффициент, после чего они суммируются. Значения весов в этом

случае определяется исходя значимости критерия и на основе их экспертной оценки.

**Метод анализа иерархии** используется для оценки привлекательности альтернатив путем их попарного сравнения по каждому критерию.

**Метод идеальной точки или метод TOPSIS**, при котором лучшая альтернатива определяется как наиболее близкая к идеальному решению и наиболее далекая от отрицательного идеального решения.

**Методы ELECTRE**, которые позволяют получить наиболее предпочтительное подмножество альтернатив из общей совокупности, путем бинарного соотношения альтернатив по определенным критериям.

Применение перечисленных методов с учетом специфики решаемой задачи может проводиться по следующему алгоритму:

1. Формирование целей и задач лесопользования, т.е. определение приоритета выполнения эксплуатационных, экологических и экономических показателей.

2. Сбор информации о природно-производственных условиях выполнения работ, а также определение характеристик технологии и организации лесосечных работ.

3. Формирование альтернатив, например, вариантов машин с определенными характеристиками двигателя.

4. Установление допустимых значений взаимодействия машин с почвогрунтами. Формирование шкалы допустимого взаимодействия.

5. Определение фактических значений критериев для каждой альтернативы.

6. Ранжирование критериев с учетом целевых условий лесопользования.

7. Определение интегрального показателя для каждой альтернативы.

8. Сравнение альтернатив на основе интегральных показателей и допустимого взаимодействия лесных машин с почвогрунтами.

9. Окончательный выбор наиболее приемлемой альтернативы.

На основании выполненных исследований методов многокритериального анализа был разработан алгоритм принятия решений на основе интегрального показателя, позволяющего количественно оценить совместимость лесных машин с почвогрунтами, сопоставить различные варианты машин друг с другом и определить степень их соответствия заданным граничным условиям с точки зрения целей и задач лесопользования.

## Список использованных источников

1. Протас, П.А. Структурная схема и критерии оценки эксплуатационно-экологической совместимости лесных машин с почвогрунтами / П. А. Протас, Ю. И. Мисуно // Труды БГТУ. – Минск: БГТУ, 2016. – № 2 (184) 2016 год. – С. 248–253.
2. Ксенофонтова, Е.А. Многокритериальный анализ / Е.А. Ксенофонтова. – Проблемы науки. – № 11 (59). – 2020. – С. 30–31.
3. Бражников, М.А. Методы принятия управленческих решений и моделирование промышленного производства / М.А. Бражников, И.В. Хорина, Р.А. Селиванова. – Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2012. – 107 с.

УДК 622.631.6

**Я. Мыратбердиев<sup>1</sup>, М.Э. Аманов<sup>1</sup>, А.Ш. Шохрадова<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Туркменский государственный архитектурно-строительный институт

<sup>2</sup>Международный университет гуманитарных наук и развития  
Ашгабат, Туркменистан

## ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ И ОХРАНА ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ

*Аннотация.* Сохранение экологической безопасности в мире при природоохранной деятельности с земельными ресурсами является актуальной проблемой. Ветровая эрозия возникает на больших территориях и загрязняет окружающую природную среду, атмосферу и гидросферу. Вопросы экологической безопасности нашей страны подняты на уровень государственной политики, основанной на достижениях науки и передовом опыте.

**Y. Myratberdiyev<sup>1</sup>, M.E. Amanov<sup>1</sup>, A.Sh. Shohradova<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Turkmen State Architecture and Construction Institute

<sup>2</sup>International University of Humanities and Development  
Ashgabat, Turkmenistan

## ENVIRONMENTAL SAFETY AND PROTECTION OF NATURAL RESOURCES

*Abstract.* Preserving environmental safety in the world in the environmental activities of land resources is an urgent problem. Wind erosion occurs over large areas and pollutes the surrounding natural environment, the atmosphere, and the hydrosphere. Our country's environmental safety issues have been elevated to the level of state policy, based on the achievements of science and best practices.

Экономическое и социальное развитие Республики Туркменистан на период до 2052 года, определенное программой, возможно при условии ускорения научно-технического прогресса на базе внедрения инновационных технологий в производственные процессы. Пустыня Каракумы давно стала полигоном для решения важнейших теоретических и практических задач, имеющих огромное значение для всего международного научного сообщества в области освоения пустыни. Практикой доказана возможность снижения воздействия экстремальных факторов природной среды на жизнь человека в пустыне и улучшения её экологического состояния посредством обогащения ландшафта и рационального использования ресурсов, опираясь на передовой опыт освоения аридных территорий [1, 2].

Пустынно-песчаные земли являются источниками загрязнения окружающей природной среды, атмосферы и гидросферы. Под действием ветровой эрозии населенные пункты, дорожные системы, орошаемые земли и др., покрываются песком, это приводит к ухудшению экологического состояния и создает источник загрязнения и опустынивания [3].

Пустынно-песчаные почвы весьма скудны на питательные вещества. В пахотном слое их содержится порядка 0,06-0,22 %, в 1 кг почвы содержание фосфора 2-5 мг. Водосодержание песков 6-7 %, водопроницаемость 5-7 мм/мин. Есть возможность устранения данных явлений посредством биологических методов. С точки зрения теоретических и практических основ современной науки возникает необходимость изучения имеющихся и разработки новых методов борьбы с движением песков [2, 3].

Защита окружающей среды, населенных пунктов, дорожных систем, орошаемых земель и др., от движения песков, образование экологически чистых биологических защитных зон и представление производству полностью научно-обоснованных методик их создания, в определенной степени поможет претворению в жизнь программ, проводимых Уважаемым Президентом Туркменистана по обеспечению экологического благополучия в стране и во всем мире. Для защиты от движений песков необходимо определение направление ветров и их скорость. Интенсивность движения песков за один час определяется из следующего выражения:

$$Q = K(V^3 - V_t^3); \quad (1)$$

где,  $Q$  – количество песка, перемещаемого в течение 1 час на длину в 1 метр на местности;  $K$  – угловой коэффициент (зависит от рельефа местности, состояния покрова, влажности почвы, в среднем равно 0,335);  $V$  – средняя скорость активного ветра на высоте 0,15

метра,  $V = 3,75$  м/сек;  $Vt$  – продолжительность ветров различной скорости в часах. Метеообъектом “Учаджи” в течение 6 месяцев зарегистрировано порядка 70-ти активных ветров. Пусть,  $V = 10$  м/сек;  $Vt = 8$  м/сек; Тогда, при расчёте по выражению в течение 10 минут (10 минут – 1/6 часть одного часа):

$$Q = K(V^3 - V_t^3) = 0,335(10^3 - 8^3) \cdot 6 = 27,24 \text{ кг/1 м};$$

Значит, в течение 10 минут ветер покрывает примерно 27,24 кг песком 1 метр длины дорожных систем. На основании анализа и практики, опытные работы предлагаемого метода проведены в 2020 году на дорожных системах учебно-экспериментального хозяйства Туркменского сельскохозяйственного университета им. С.А.Ниязова. Участок, где расположена экспериментальная площадка, состоит из песчаных холмов высотой 2-5 метров (рис. 1).



**Рис. 1 - Песчаные барханы**

В связи с малым содержанием в песчано-пустынной почве глины и гумуса, его абсорбционные способности низки. В 100 гр почвы, фосфорный обмен равен 6,8 мг/кг, элемент азота по почвенному профилю равен 0,11-0,22 % [3]. Формирование механического состава почвы связано с образованием Копетдагской горной системой, на экспериментальной площадке изучено, что осаждение веществ, смываемых и приносимых с гор и предгорных холмов дождевыми, снеговыми водами и руслами рек, связано с аллювиально-проллювиальным генезисом. Почвенный профиль можно объяснить преобладанием встречающихся здесь лесовыми породами. На территориях с песчано-пустынными почвами, с легким механическим составом, влияние питательных элементов на растения происходит намного быстрее, однако их резервное количество в составе почвы ограничено [3, 4].

Водопроницаемость и водосодержание, объемные и удельные веса, пористость песчано-пустынных почв барханного вида зависят от механического состава. Как видно из проведенных опытных работ, около 80 % почвы состоит из песчаных частиц. Эти почвы связаны с

остатками эоловых песков и аллювиально-пролювиальным генезисом. Песчано-почвенные земли очень бедны гумусом и питательными элементами, объемные и удельные веса высоки, а их структура в низкой степени. Из-за засушливых климатических условий, высокоградусной жары, низкого накопления в почве растительных остатков, приводит к низкому содержанию в пустынно-песчаной почве растительных остатков. Накопленные таким образом органические вещества за короткое время переходят в минеральный вид [3].

Создана экспериментальная площадка (100 x 100) для образования биологической полосы, состоящей из песчано-пустынной древесной растительности, защищающей площадки с каждой стороны от движения песка. Работы по образованию биологической полосы начались в ноябре 2020 года. Произрастающие в природных условиях саженцы песчано-пустынной древесной растительности: солянки Рихтера (*Salsola richteri*), саксаула (*Haloxylon aphyllum*) и белого саксаула (*Haloxyion persigum*) посажены на экспериментальной площадке в 4-х метровом междурядье и расстоянием между саженцами в 2 м. При посадке саженцев древесной растительности в лунку, они обязательно поливаются водой. Дальше растения растут только за счет природной дождевой воды. На полях производились фенологические наблюдения, при котором проверялись средние показатели по длине роста, толщине нижнего стебля, количеству веток и виду листьев и установлено, где было уstonовлено, что растения хорошо растут (1 и 2 таблицы).

**Таблица 1- Показатели фенологического наблюдения, 18.07.2021г.**

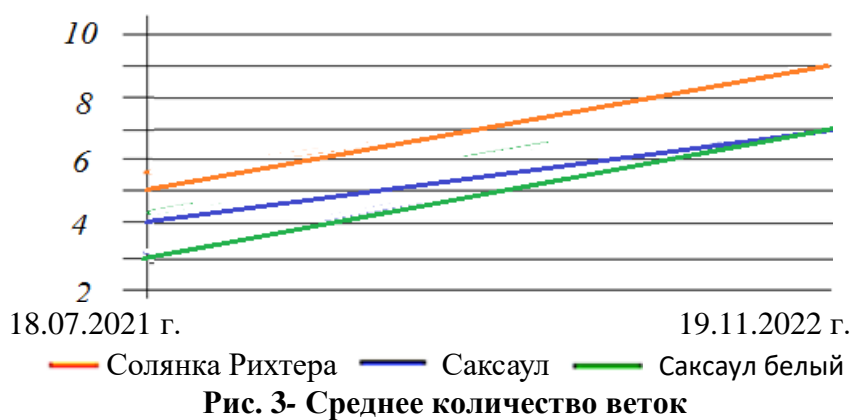
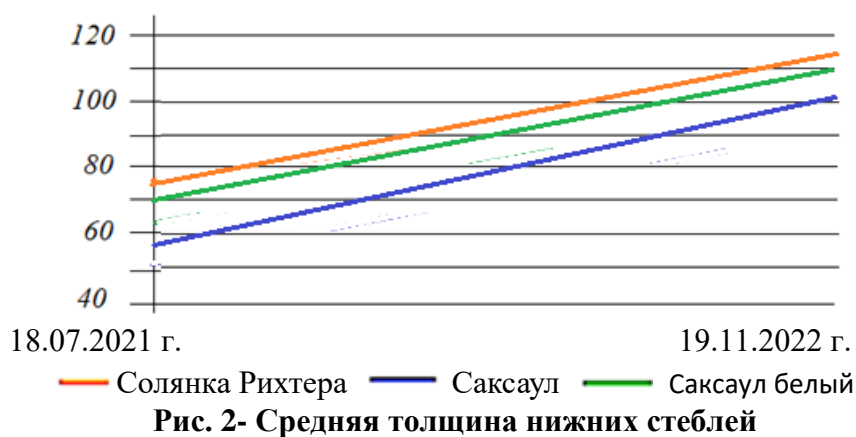
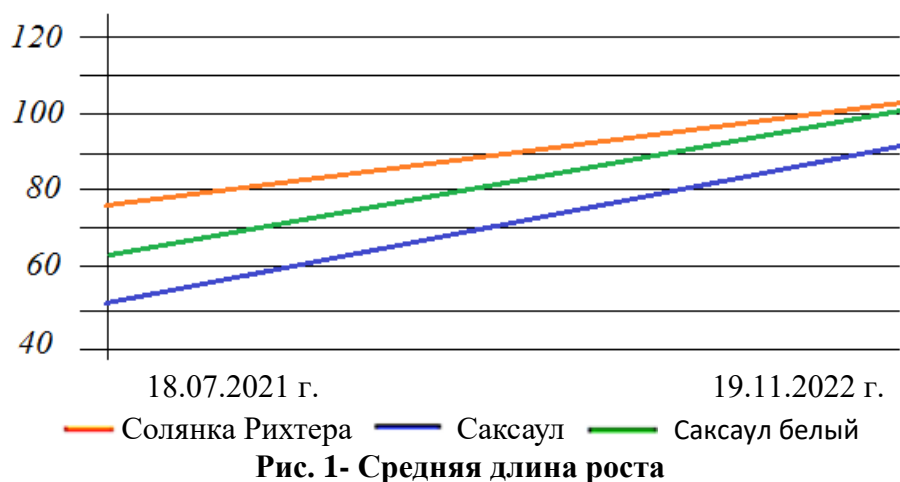
Название пустынно-песчаной растительности	Высота растения	Толщина нижнего стебля, см	Количество веток	Вид листьев
Солянка Рихтера	0,76	0,76	5	хвоя
Саксаул	0,51	0,57	4	хвоя
Саксаул белый	0,62	0,69	3	хвоя

**Таблица 2- Показатели фенологического наблюдения 19.11.2022г.**

Название пустынно-песчаной растительности	Высота растения	Толщина нижнего стебля, см	Количество веток	Вид листьев
Солянка Рихтера	1,06	1,16	9	хвоя
Саксаул	0,92	1,03	7	хвоя
Саксаул белый	1,02	1,10	6	хвоя

Образцы вегетативных органов (корня, стебля и листьев) растений биологической полосы, предотвращающих движение песков

получены дважды: 18.07.2021 года и 19.11.2022 года. Биологическая полоса, предотвращающая движение песков, полностью защищает внешнюю среду дорожных систем от ветровой эрозии. Испытания предлагаемой методики, признана пригодной для населенных пунктов, дорожных систем, орошаемых земель и др. (рис. 1 – 3).



При использовании данного метода для защиты от воздействий ветровой эрозии, т.е. окружающей среды, населенных пунктов,



дорожных систем, орошаемых земель и др., используется вышеуказанные способы. Осенью предлагается посадка в 4-х метровом междурядье с расстоянием между саженцами в 2 м, стойких засушливому жаркому климату и безводью нашей страны растений, таких как Солянка Рихтера (*Salsola richteri*), саксаул (*Haloxylon aphyllum*) и саксаул белый (*Haloxylon persicum*), а также саксаул (*Haloxylon aphyllum*), хвойник шишконосный (*Ephedra strobilacea*), ива южная (*Salix excelsa*), селин (*Stipagrostis*).

При посадке этих растений около населенных пунктов или у обочин железных и автомобильных дорог, они способны защитить дороги от движений песка, т. е. ветровой эрозии. Кроме того, туркменские степи приобретут красивый пейзаж с национальным колоритом, а также сформируют чистый воздух для населения, т.е. абсорбируя углекислый газ, выделяется кислород и впитывается пыль. В определенной степени можно будет предотвратить процесс опустынивания и появится возможность рационального использования природы во всех отраслях народного хозяйства. Окажет содействие созданию культурных пастбищ и претворению в жизнь экологических мероприятий.

#### Выводы

1. Создаётся и улучшается микроклимат в агроландшафтах, снижается скорости ветра и интенсивности ветровой эрозии летом, что предотвращает выдувание верхнего самого плодородного слоя почвы.
2. В пустынно-песчаных землях происходит изменение их водно-физических свойств, уменьшается содержание фракции крупного песка и повышается влагоемкость.

#### Список использованных источников

1. Gurbanguly Berdimuhamedow. “Garaşsyzlyk bagtymyz” // A. Türkmen döwlet neşirýat gullugy. 2021. - 418 s.
2. ГОСТ 17.5.1.01-78. Рекультивация земель. Термины и определения // М., Изд-во стандартов, 1978.
3. Babaýew A.G. Çöller we çölleşmegiň meseleleri. - A., Türkmen döwlet neşirýat gullugy. 2012. - 368 s.
4. Myratberdiýew Ý. Ýer gurluşygynda geodeziýa işleri // Aşgabat, 2013.

## **ВОЗОБНОВЛЯЕМАЯ ЭНЕРГИЯ ОКЕАНА**

***Аннотация.** В данной статье была поставлена цель изучения морских ВИЭ. Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи: анализ текущего состояния ВИЭ, изучение морских ВИЭ в рамках «синей экономики», рассмотрение примеров практического применения компаниями и внедрения морских источников странами и выявление преимуществ их использования.*

**A.A. Naidenko**

Belarus State Economic University  
Minsk, Belarus

## **RENEWABLE OCEAN ENERGY**

***Abstract.** The aim of this article was to study marine renewable energy sources (RES). In order to achieve this goal, tasks such as analyzing the current state of RES, exploring marine RES based on the "blue economy", considering examples of practical application by companies and the introduction of marine sources by countries, as well as identifying the advantages of their use were solved.*

По мере роста населения до 8 млрд. чел., экономического роста более чем в два раза и роста благосостояния по всему миру к 2030 году спрос на энергию возрастет на 40%. Следовательно, возобновляемые источники энергии (далее — ВИЭ) сыграют значительную роль. Их доля в структуре мирового потребления выросла с 26,3% в 2019 г. до 28,2% в 2020 г., что является самым заметным годовым повышением с начала отслеживания прогресса в достижении ЦУР [2].

В связи с развитием альтернативной энергии, стоит обратиться к концепции «синей экономики», разработанной бельгийским предпринимателем и экономистом Гюнтером Паули в 2010 году.

Она включает все виды экономической деятельности, связанные с океанами, морями и побережьями, независимо от того, осуществляются ли они в морской среде (судоходство, рыболовство, производство энергии) или на суше (порты, аквакультура в искусственных водоемах, прибрежный туризм).

Ключевой акцент «синяя экономика» делает на устойчивое развитие отраслей, связанных с ресурсами Мирового океана. 80% людей на Земле живут на прибрежных территориях, а площадь Мирового океана составляет 71% поверхности планеты. Он поглощает

90% избыточного тепла и 23% углекислого газа, производимых человечеством. Моря и океаны обеспечивают пропитанием 10–12% людей на Земле, позволяют осуществлять 90% международной торговли, и предоставляют рабочие места для 200 млн. человек, занятых в морском рыболовстве.

Энергетические ресурсы океана включают энергию ветра, волн, приливов, океанских приливных течений, градиент температуры и градиент солености. Их стоимость оценивается примерно в 24 трлн. долл. США. Если задействовать 0,1% этой энергии, то можно было бы, удовлетворить нынешний мировой спрос на электроэнергию более чем в пять раз.

Технологии морской возобновляемой энергии обеспечивают очевидные синергетические связи – как и возможности преемственности технологий и рабочих мест – с морской нефтегазовой промышленностью, наряду с системами опреснения и аквакультурой. Также эти технологии отличаются высокой предсказуемостью результатов, благодаря чему они подходят для непрерывного энергоснабжения.

Так китайские ученые из Морской геологической службы Гуанчжоу успешно протестировали генератор на основе тепловой энергии океана. Эксперимент проводился в Южно-Китайском море, устройство вырабатывало электроэнергию более четырех часов, достигнув максимальной выходной мощности 16,4 кВт

В Южной Корее работает самая крупная в мире приливная электростанция —Сихвинская ПЭС мощностью 254 МВт, расположенная в искусственном заливе Сихва. Сильные приливы возникают благодаря большой площади залива при относительно небольшой глубине.

Преимуществами ПЭС является экологичность и низкая себестоимость производства энергии. К недостаткам традиционных приливных электростанций можно отнести их высокую стоимость (в 2,5 раза превышает стоимость гидроэлектростанций аналогичной мощности) и изменяющаяся в течение суток мощность, из-за чего она может работать только в единой энергосистеме с другими типами электростанций.

Строительство ПЭС целесообразно на морских побережьях, рельеф которых позволяет возводить значительные по площади водозаборные бассейны, а также в заливах и устьях рек, где уровень приливных колебаний волны составляет не менее 4 м. Их использование в Республике Беларусь невозможно из-за отсутствия

выходов к морям и океанам. Тем не менее, гидроэнергетика представлена и в РБ русловыми гидроэлектростанциями.

Официально Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды РБ насчитывает 481 установку ВИЭ, в том числе 54 гидроэлектростанций мощностью 96,1 МВт (или 15,2% в общем объеме установленной мощности установок по использованию ВИЭ). В 2022 году ГЭС Беларуси выработали более 370 млн. кВт/ч электроэнергии по данным пресс-службы Министерства энергетики.

Стартап «TWEFDA» разрабатывает преобразователь волновой энергии (ES-Wave), который генерирует или сохраняет волновую энергию по требованию. Используя диапазон приливов, машина выдает больше энергии, чем поглощает, что делает ее универсальным и эффективным источником энергии, способным удовлетворить как базовую, так и пиковую нагрузку. Стартап также использует изолированный короб для защиты фауны от шума и использует экологически чистую жидкость для предотвращения загрязнения морской экосистемы в случае разлива. Таким образом, ES-Wave предлагает более высокий коэффициент мощности, меньшую занимаемую площадь, постоянную доступность ресурсов и более простое обслуживание по сравнению с обычными ветряными турбинами.

В случае реализации разрабатываемые проекты по строительству электростанций, использующих энергию приливно-отливных течений и волн (кроме технологии на основе перепада высот прилива), обеспечат почти 3 ГВт дополнительных мощностей во всем мире. Большая часть этих мощностей приходится на Европу (55%), за ней следует Азиатско-Тихоокеанский регион (28%) и Ближний Восток и Африка (13%); оставшаяся часть приходится на Северную Америку (2%) и Южную и Центральную Америку (2%) [3].

Наряду с перспективными технологиями использования океанической энергии быстро развивающаяся «синяя экономика» включает в себя другие морские возобновляемые источники энергии (шельфовые источники энергии), такие как плавающие фотоэлектрические солнечные батареи и высокопроизводительные шельфовые ветроэлектростанции, а также такие отрасли, как опреснительные установки и аквакультура на основе возобновляемых источников энергии.

Лидер в сфере шельфовой ветровой энергетике — Великобритания, на нее приходится порядка 30% мировых мощностей. Здесь находится самая крупная в мире шельфовая электростанция

«Хорнси-2» площадью 462 км<sup>2</sup>, и оснащенная 165 ветряными турбинами общей мощностью 1,32 ГВт.

В 2021 году в проливе Джохор между Сингапуром и Малайзией сингапурская компания Sunsear запустила одну из крупнейших в мире морских плавучих солнечных ферм. Она состоит из 13,3 тыс. панелей и вырабатывает 6 млн кВт·ч электроэнергии ежегодно, что компенсирует примерно 4,3 тыс. тонн CO<sub>2</sub> в год. Однако самая мощная плавучая солнечная станция мощностью 45 МВт работает в Таиланде, на плотине Сириндхорн. Больше 144 тыс. батарей занимают примерно 120 Га. Станция объединяет плавучие солнечные фермы и ГЭС.

Стоит отметить, что такие крупные компании в сфере морской транспортной логистики, как Maersk, Mediterranean Shipping Company, Harag Lloyd, COSCO Shipping, CMA CGM, DP World, уже внедряют принципы «синей экономики» в корпоративные стратегии, стремясь снизить воздействие на климат, увеличить долю возобновляемой энергии и зеленых видов топлива (СПГ, биотопливо, водород и аммиак), внедрить ресурсосберегающие технологии, контролировать состояние балластных вод и сохранить морское биоразнообразие.

Датская компания Maersk — глобальный лидер в сфере контейнерных перевозок, она имеет офисы более чем в 130 странах по всему миру. В 2022 году компания взяла повышенные обязательства по декарбонизации. К 2025 году компания планирует ввести в эксплуатацию 12 судов на «зеленом» топливе (чистом метаноле).

COSCO Shipping — государственная китайская компания, занимающаяся контейнерными перевозками. 100% судов компании оборудованы системами очистки балластных вод в соответствии с требованиями Международной конвенции о контроле и управлении судовыми балластными водами и отложениями.

Аналитика данных, искусственный интеллект и Интернет вещей дополнительно позволяют лучше планировать маршруты, оптимизировать производительность судов, и мониторинг выбросов и энергопотребления в режиме реального времени.

Большую выгоду от «синей экономики» и установки морских ВИЭ получают малые островные развивающиеся государства и островные территории стран. Так в первой половине 2022 года, 33% электричества на острове Мадейра (Португалия) было выработано с помощью морских ВИЭ. К концу 2023 этот показатель достигнет 50%.

Стоит отметить, что издержки в морской ветроэнергетике и гидроэнергетике выросли на 2% и 18% соответственно из-за сокращения доли Китая в развёртывании морских ветроэнергосистем в

2022 году и перерасхода средств в ряде крупных гидроэнергетических проектов [1].

Хотя энергия океана используется в разных мировых регионах, такие европейские страны, как Финляндия, Франция, Ирландия, Италия, Португалия, Испания, Швеция и Великобритания, а также Австралия, Канада и США лидируют по количеству проектов — тестируемых, внедрённых и запланированных, а также по количеству разработчиков проектов и производителей устройств.

Тем не менее, большинство технологий всё ещё находятся на стадии прототипа. Для их продвижения необходимо сосредоточиться на инновационных бизнес-моделях, ускоренных исследованиях и разработках, финансовой поддержке начального освоения, а также внедрении благоприятной политической и нормативной базы. Также для этого потребуются более глубокое понимание влияния этих технологий на окружающую среду и региональное сотрудничество в сфере морского пространственного планирования.

Таким образом, океаны обладают огромным, в значительной степени не задействованным потенциалом в плане использования возобновляемой энергии, который в ближайшие годы может послужить толчком для бурного роста «синей экономики» по всему миру, а также принесет значительные экономические преимущества многим компаниям и поспособствует внедрению новых технологий и развитию инновационных отраслей.

### **Список использованных источников**

1. Конкуренентоспособность возобновляемых источников энергии растёт, несмотря на инфляцию цен [Электронный ресурс]. — Режим доступа:

<https://www.irena.org/News/pressreleases/2023/Aug/Renewables-Competitiveness-Accelerates-Despite-Cost-Inflation-RU>. — Дата доступа: 13.10.2023.

2. Согласно новому докладу, расширение доступа к базовым источникам энергии идет слишком медленно несмотря на имеющиеся возможности в сфере возобновляемой энергетики [Электронный ресурс]. — Режим доступа:

<https://www.vsemirnyjbank.org/ru/news/press-release/2023/06/06/basic-energy-access-lags-amid-renewable-opportunities-new-report-shows>. — Дата доступа: 13.10.2023.

3. Шельфовые возобновляемые источники энергии для синей экономики [Электронный ресурс]. — Абу-Даби, 01.12.2022. — 8 с. —

Режим доступа: [https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2020/Dec/IRENA\\_Offshore\\_Renewables\\_2020\\_RU.pdf](https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2020/Dec/IRENA_Offshore_Renewables_2020_RU.pdf). — Дата доступа: 13.10.2023.

УДК 622.23

**Р.Н. Непесов**

Международный университет нефти и газа имени Ягшыгелди Какаева  
Ашхабад, Туркменистан

## **СУЩЕСТВУЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ УТИЛИЗАЦИИ НЕФТЕГАЗОПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ**

*Аннотация.* В статье рассматриваются существующие технологии обеспечения экологической безопасности при утилизации нефтегазопромышленных отходов. Также методы извлечения углеводородных компонентов из сточных вод и газов, обеспечивая экологическую безопасность технологических процессов, и одновременно увеличивает ресурсы промышленного химического сырья, для дополнительного извлечения полезных веществ.

**R.N. Nepesov**

International University of Oil and Gas named after Yagshygeldi Kakayev  
Ashgabat, Turkmenistan

## **EXISTING TECHNOLOGIES TO ENSURE ENVIRONMENTAL SAFETY IN THE DISPOSAL OF OIL AND GAS INDUSTRY WASTE**

*Abstract.* The article considers existing technologies to ensure environmental safety in the disposal of oil and gas industrial waste. Also methods of extraction of hydrocarbon components from wastewater and gases, providing environmental safety of technological processes, and simultaneously increases the resources of industrial chemical raw materials, for additional extraction of useful substances.

Обеспечение экологической безопасности при утилизации нефтесодержащих минерализованных пластовых вод осложняется высокой устойчивостью соединений, входящих в их состав. Технологическая потребность в воде высшего качества при закачке в низкопроницаемые пласты для поддержания пластового давления и

извлечения ценных микро- и макрокомпонентов вызвала необходимость использования оборудования тонкой очистки, обеспечивающего при оптимальных затратах требуемое качество [1]. Из всего многообразия существующих методов очистки нефтепромысловых сточных вод к основным, наиболее распространенным, можно отнести методы механической и реагентной очистки, электрохимические, мембранные и термические методы.

*Механические методы.* В практике очистки нефтепромысловых вод наиболее широко применяют способ отстаивания, который в одних случаях является этапом предварительной очистки, в других – единственным, а в-третьих, в сочетании с физико-химическими способами – окончательным.

Расчетные параметры отстойников основаны на скорости всплытия глобул нефти размерами 50-80 мкм и оседания твердых механических примесей размерами 20-30 мкм. В резервуарах-отстойниках можно достичь сравнительно высокой степени очистки, но для этого нельзя допускать передиспергирования эмульсии и знать структуру потоков в аппарате [1].

Осаждение в поле центробежных сил. Одним из методов интенсивной очистки нефтесодержащих сточных вод является разделение эмульсии в гидроциклонах [4]. Гидроциклоны просты по конструкции и в эксплуатации, дешевы в изготовлении, компактны, обладают большой производительностью.

Фильтрация. Эмульгированные и тонкодиспергированные нефтепродукты, оставшиеся в сточной жидкости, например, после отстаивания, отделяют фильтрованием. В пористой среде загрузки частицы нефтепродуктов прилипают к поверхности фильтрующего материала и задерживаются в мелких порах. Наибольшее распространение для очистки нефтесодержащих вод получили фильтрующие среды из кварцевого песка и антрацитовой крошки, керамзита и полимерных синтетических материалов [3].

По экономическим соображениям для очистки на зернистые фильтры целесообразно подавать воду, содержащую не более 60-80 мг/л нефтепродуктов и 50 мг/л механических примесей. Кратковременное (аварийное) содержание нефтепродуктов в воде не должно превышать 250- 300 мг/л, а механических примесей – 100 мг/л. При этом профильтрованная вода должна иметь остаточное содержание нефтепродуктов не более 10-15 мг/л. Наибольшей эффективностью обладают оалисцентные фильтры.

Флотация. Флотационная машина способна удалять практически любые загрязнения, сопоставимые с размерами



флотирующих пузырьков воздуха. Установлено, что теоретически при флотации может быть достигнута 9-ти кратная степень очистки воды от нефтепродуктов.

Метод напорной флотации наиболее эффективный и экономичный. Допустимое содержание нефти и механических примесей в воде на выходе с блока водоподготовки, предназначенной для закачки в продуктивные пласты, составляет: по нефти – до 30 мг/л; по механическим примесям – до 30 мг/л. Для обеспечения указанных требований применяется двухступенчатая технология очистки воды, включающая предварительную очистку методом отстаивания и доочистку методом напорной флотации (газом, выделяющимся при снижении давления) или тонкослойным отстаиванием.

Акустическое воздействие. Механизм очистки нефтесодержащих вод основан на принципе резонансных явлений, возникающих в жидкой среде под воздействием акустических полей. Резонанс испытывают газовые пузырьки, содержащиеся в жидкости, приобретая при этом свойство «насоса» и притягивая все мелкие включения, находящиеся на расстоянии диаметра от границы раздела фаз [4]. Конструктивно это реализуется в пневмогидравлическом аэраторе, который генерирует пузырьки воздуха за счет создания определенных гидродинамических условий в сопле аэратора. Используя эффекты «скачка уплотнения», можно получить до 80 % пузырьков требуемого диаметра. Наибольший эффект при флотации эмульгированных нефтепродуктов с применением виброакустического воздействия достигается на частотах, близких к 330 Гц. Степень очистки загрязненного раствора с концентрацией нефтепродуктов 400 мг/л составляет 99,8 % при времени флотации 3 мин.

*Методы реагентной очистки.* К реагентным методам очистки относятся коагуляция и флокуляция. После механической очистки в составе пластовых вод остаются углеводородные частицы размером менее 20 мкм. Эти малые по размерам дисперсные примеси образуют устойчивую коллоидную систему, нарушение агрегативной устойчивости которой возможно лишь при воздействии на нее реагентами [5]. В качестве коагулянтов применяются чаще всего сульфат алюминия и сульфат железа. Дозы коагулянтов в каждом конкретном случае определяются экспериментально. Для ускорения процессов хлопьеобразования при коагуляции, увеличения скорости осаждения хлопьев и повышения качества очистки применяют флокуляцию.

Адсорбция относится к физико-химическим методам очистки. Метод позволяет удалять из воды растворенные органические

соединения. Для адсорбционной очистки воды используют материалы искусственного и естественного происхождения, однако чаще других применяют активированные угли. Фильтрация через угольную загрузку снижает концентрацию нефтепродуктов до 0,1 мг/л, фенолы и другие ароматические углеводороды удаляются практически до любого уровня. Несмотря на высокую эффективность очистки сточных вод от нефти методом адсорбции на активированных углях, он не нашел широкого применения из-за высокой стоимости [2]. В последнее время большое внимание уделяется природным каркасным алюмосиликатам, особенно их разновидности – цеолитам.

Таким образом, анализ показал, что существующие технологии обеспечения экологической безопасности и дополнительного извлечения минерального сырья при утилизации пластовых вод, представляют собой разнонаправленные технологические методы, не отличающиеся совершенством и универсальностью. Это предопределяет необходимость многоступенчатого комплексного подхода для выбора методов очистки и поиска оптимальных технологических режимов их использования в условиях конкретного применения.

Известно, что нефтешламы можно эффективно утилизировать с использованием негашеной извести, действие которой обусловлено ее способностью вступать в экзотермическую реакцию с водой [4]. Образовавшийся продукт проявляет инертные свойства по отношению к воде и почве, поскольку представляет собой известковые оболочка-капсулы, в которые заключен и равномерно распределен углеводородный продукт. Конечный продукт переработки – минеральный гидрофобный порошок, пригодный для использования в различных областях, в том числе и для дорожного строительства.

Агрессивные газообразные вещества. Агрессивность газообразных углеводородов определяется наличием в них, в частности сероводорода  $H_2S$ , и углекислого газа  $CO_2$ . При сжигании газа, содержащего сернистые соединения, образуются высокотоксичные оксиды серы, которые, попадая в атмосферу с дымовыми газами, отрицательно воздействуют на окружающую среду.

Сероводород, присутствующий в нефтепромысловых средах, является сильным коррозионным агентом. Растворимость его в воде при  $20^\circ C$  составляет 3925 мг/л. В зависимости от pH среды сероводород может находиться в электролите при различном соотношении диссоциированных и недиссоциированных форм (при pH=7 в молекулярной форме находится 53 % сероводорода, оставшиеся 47 % находятся в диссоциированной форме), что определяет скорость

развития коррозионных процессов. Стимулирующее действие на процесс электрохимической сероводородной коррозии сталей оказывают сульфиды железа ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), являющиеся ее продуктом [5]. Согласно стандарту Национальной ассоциации коррозионной техники, природный газ, содержащий сероводород с парциальным давлением более 0,35 КПа, считается сернистым и вызывает коррозионное растрескивание. Стойкость к сульфидному растрескиванию зависит от pH и температуры.

Вместе с тем, входящие в состав природного газа сернистые соединения являются сырьем для получения ценных продуктов. Так, из сероводорода получают элементарную серу и смесь природных меркаптанов, которые используют для одорирования газов. Этан-булантиолы применяются при производстве инсектицидов и моющих средств [2].

Таким образом, извлечение неуглеводородных компонентов из газов повышает надежность работы оборудования, обеспечивая экологическую безопасность технологических процессов, и одновременно увеличивает ресурсы промышленного химического сырья, для дополнительного извлечения полезных веществ.

Для очистки попутного газа от сероводорода и двуокиси углерода применяют жидкостные процессы, процессы адсорбционной очистки и прямого окисления. Способ очистки газа выбирают с учетом таких факторов, как состав сырьевого газа, область применения товарного газа (бытовое сырье для производства химических продуктов, моторное топливо и др.), наличие определенной марки поглотителя и т.д. При этом основным фактором, определяющим способ и технологическую схему очистки газа, является концентрация кислых компонентов и сероорганических соединений.

Технология подготовки газа не должна допускать загрязнения окружающей среды токсичными сернистыми соединениями. Однако большинство промышленных установок выбрасывают в атмосферу эти соединения, чаще всего в виде оксидов серы. Таким образом, только конечные продукты превращения извлекаемого из газа сероводорода характеризуют уровень экологической безопасности технологии. С этой точки зрения процессы очистки газов можно разделить [5] на группы, в которых конечными продуктами являются: концентрированный сероводород; сульфидные соединения; элементарная сера; оксиды серы; сульфиты и тиосульфаты: серная кислота; сульфаты.

Методы адсорбции и физической абсорбции только концентрируют содержащийся в газе сероводород, который сам по себе

не является товарным продуктом и требует дальнейшей переработки, для чего необходимо соорудить дополнительную установку по окислению сероводорода.

Методы химической абсорбции наиболее предпочтительны для удаления сероводорода, т.к. позволяют получить в конечном итоге товарную серосодержащую продукцию, например, сульфиды железа, цинка, меди, кадмия, марганца, щелочных и щелочноземельных металлов.

Таким образом, анализ показывает, что существующие методы нейтрализации сероводорода и углекислого газа позволяют обеспечить экологическую безопасность промышленного использования попутного нефтяного газа, реализуя одновременно принцип распределения минеральной базы для дополнительного получения полезных товарных продуктов.

#### **Список использованных источников**

1. Жуков, А.И. Методы очистки производственных сточных вод [Текст] / А.И. Жуков, И.Л. Монгайт, И.Д. Родзиллер. - М.: Стройиздат, 1977. - 208с.

2. Роев, Г.А. Очистка сточных вод и вторичное использование нефтепродуктов [Текст] / Г.А. Роев, В.А. Юфин. - М.: Недра, 1987. - 224 с.

3. Стахов, Е.А. Очистка нефтесодержащих сточных вод предприятий хранения и транспорта нефтепродуктов [Текст] / Е.А. Стахов. - Л.: Недра, 1983.- С.- 263.

4. Буренин, В.В. Новые технологии очистки сточных вод от нефтепродуктов и механических примесей [Текст] / В.В. Буренин // Транспорт и хранение нефтепродуктов. - 2007. - №4. - с. 15-20

5. Бекиров, Т.М. Первичная переработка природных газов. [Текст] /Т.М.Бекиров. - М.: Химия, 1987.- 256 с.

УДК 691.1:694.1

**С.П. Трофимов<sup>1</sup>, Т.А. Никитина<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Белорусский государственный технологический университет  
Минск, Беларусь

<sup>2</sup>Северный арктический федеральный университет  
Архангельск, Россия

## **ДРЕВЕСИНА СТАРЫХ ДОМОСТРОЕНИЙ, КАК МАТЕРИАЛ ВОЗМОЖНЫЙ К ПОВТОРНОМУ ПРИМЕНЕНИЮ**

*Аннотация.* На основе исследования свойств древесины старых домостроений, непригодных к ремонту и эксплуатации, рассматривается возможность повторного использования ретродревесины в качестве конструкционного, отделочного и декоративного материала в строительстве, обустройстве интерьера и при изготовлении мебели.

**S.P. Trofimov<sup>1</sup>, T.A. Nikitina<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Belarusian State Technological University  
Minsk, Belarus

<sup>2</sup>Northern Arctic Federal University  
Arkhangelsk, Russia

## **WOOD OF OLD HOUSE BUILDINGS AS A MATERIAL POSSIBLE FOR RE-USE**

*Abstract.* Based on a study of the properties of wood from old house buildings that are unsuitable for repair and operation, the possibility of reusing retro wood as a structural, finishing and decorative material in construction, interior design and furniture manufacturing is considered.

Древесина используется в домостроении и при изготовлении изделий из нее с давних времен, как разнообразный, легкий в обработке, возобновляемый и доступный в наших странах материал. В период индустриализации прошлого века он был потеснен применением недревесных материалов. В последнее время усиливается интерес к использованию экологически безопасных в производстве, потреблении и утилизации возобновляемых природой материалов [1] с обеспечением разнообразия архитектурно-строительных, конструктивных и декоративных решений.

Принципы применения «зеленых» технологий и материалов, «умного дома» и ноосферных технологических укладов становятся все более актуальными. В частности, внедряются стандарты межгосударственных систем сертификации зданий BREEAM и LEED на предмет их экологической безопасности «не навреди себе и

последующим поколениям». Они актуальны также производства строительных изделий и мебели.

Древесина может быть применена в качестве основного конструкционного и отделочного материала при строительстве домов различной этажности, конструкции и назначения. В странах, обладающих лесными ресурсами (в России, в частности), принимаются постановления о стимулировании применения древесины в строительстве.

Во избежание чрезмерной эксплуатации природных ресурсов, актуально рассмотрение возможности переработки или повторного использования различных материалов, включая древесину старых домостроений непригодных к ремонту и эксплуатации. Она имеет потенциал для применения в качестве конструкционного и отделочного материала в строительстве, мебельной промышленности и в обустройстве интерьера помещений. Для оценки такой возможности целесообразно проведение исследований физико-механических и декоративных свойств древесины старых жилых домов.

Объектом рассмотрения является старая массивная древесина (далее – ретродревесина) несущих и ограждающих конструктивных элементов деревянных домов построенных 50 и более лет назад [1, 2]. Она долго была основным материалом в домостроении (бревна сруба, тесанный и пиленый брус, доски и колотая дранка), который использовался в конструкциях стен, перегородок, перекрытий и кровли, покрытий полов, в облицовке и декоре, в элементах каркаса (балки, стойки-колонны), в плотницких и столярно-строительных изделиях (детали окон, дверей, ворот, лестниц и др.).

На протяжении многих лет предшествовавших нашему времени деревянные дома строили из древесины сезонной заготовки, естественной сушки и длительной выдержки во избежание деформации и растрескивания материала, позже в процессе эксплуатации стабилизация некоторых свойств его продолжалась.

В технологии строительства и конструкции современных деревянных домов имеется большое разнообразие [1]: каркасная; каркасно-панельная; панельная на основе материалов CLT и МНМ; с применением бревенчатого сруба, оцилиндрованного бревна, пиленого и клееного бруса, чурки со связующим в стенах (так называемого «чуркобетона»). Практический интерес представляет также применение патентованных стеновых панелей разработки БГТУ с торцовым наполнителем среднего слоя. [1].

С целью определения свойств ретродревесины на начальном этапе выполнения данной работы были проведены аналитический обзор

источников информации, инженерное обследование нескольких представителей старых сельских, городских деревянных домостроений в арктической зоне Архангельской области и осуществлен сбор образцов лиственницы, сосны и ели (рис. 1 и 2).



**Рис. 1 – Крестьянский дом постройки 19 века в процессе обследования и сбора образцов ретродревесины**



**Рис. 2 – Многоквартирные жилые дома Архангельска постройки начала 20 века**

Образцы ретродревесины из старых домостроений 19 и начала 20 веков, были подвергнуты испытаниям [2] в лаборатории кафедры лесопромышленных производств и обработки материалов САФУ с получением данных, которые могут послужить основой принятия решений о возможности и технологии применения этого материала в строительстве, в различных изделиях и в интерьере помещений. Испытание образцов до разрушения проводилось на испытательной машине Shimadzu 50кН, оснащенной механическим и электронным тензометрами, фиксирующими возникавшие деформации.

Методика исследования базировалась на известных законах механики анизотропных тел, планировании одно- и многофакторного математического аппарата обработки результатов, использовании сертифицированного современного лабораторного оборудования и программных средств. В ходе опытных работ определен ряд важных физико-механических показателей ретродревесины [2] для оценки возможности ее повторного использования (табл. 1 и 2). Полученные данные сравнивались с показателями материалов, используемых ныне в строительстве и промышленности.

**Таблица 1 – Расчетные сопротивления древесины конструкций за пределами нормативных сроков службы при различных видах напряженного состояния, [2]**

Объект/ конструкция	Расчетные сопротивления древесины, МПа								
	на сжатие					на растяже ние вдоль волокон	на статиче ский изгиб	на скальвание вдоль волокон	
	вдоль волокон	поперек волокон		под углом 45°				в радиа льн. плоск.	в танге нц. плоск.
		танге нц.	радиа льно	20×20	30×20				
Расчетное сопротивление по СП ДК, МПа *	24/ 15,84	2,7/ 1,78	2,7/ 1,78	6,33/ 4,18	6,33/ 4,18	10,5/ 6,93	24/ 15,84	2,4/ 1,58	2,4/ 1,58
<b>ЛИСТВЕННИЦА</b>									
г. Архангельск, ул. Северодвинская, д.5, к1, 1931 г.п.									
Внутр. стена	19,88	2,39	1,54	1,27	1,26	5,68	–	1,91	2,4
Окладной брус	17,61	1,55	2,1	1,17	1,07	5,84	13,46	2,32	2,32
п. Каменка. «Дом конюхов», ул. Торцева, д.20, 1928 г.п.									
Окладной брус	16,14	2,22	1,22	2,01	1,37	14,27	12,14	2,21	2,98
Свая	20,25	3,07	1,86	–	–	11,38	12,36	2,69	2,84
Внутр. стена	14,16	2,98	1,82	1,32	0,97	14,03	13,59	2,04	2,42
п. Каменка, пер. Бассейный, д.4, 1929 г.п.									
Окладной брус	12,66	2,64	1,02	1,13	0,69	11,91	7,99	2,42	–
Свежесрубленная древесина									
	15,37	2,66	1,3	1,18	1,71	10,04	9,11	3,26	2,34
	16,69	2,06	0,63	1,07	1,37	7,14	7,42	2,16	2,71
г. Архангельск, пр. Обводный канал, д.26, 1956г.п.									
Окладной брус	14,19	1,6	–	–	–	–	9,00	–	–
Балка перекрытия	14,8	1,43	–	–	–	–	10,04	–	–
<b>СОСНА</b>									
г. Архангельск, ул. Северодвинская, д.5, к1, 1931 г.п.									
Наружная стена	14,7	2,19	0,87	–	–	12,15	10,75	0,96	1,63
Строп. нога	15,25	1,54	1,47	0,57	1,07	11,68	7,24	1,86	1,34
п. Каменка, пер. Бассейный, д.4, 1929 г.п.									
Строп. нога	15,36	2,23	1,06	0,95	1,39	8,79	12	2,66	2,25
Балка перекрытия	12,61	2,50	1,18	0,96	1,48	12,29	13,36	–	1,96
<b>ЕЛЬ</b>									
п. Каменка. «Дом конюхов», ул. Торцева, д.20, 1928 г.п.									
Наружная стена	10,14	1,83	0,69	–	–	12,68	5,75	2,14	–
г. Архангельск, ул. Северодвинская, д.5, к1, 1931 г.п.									
Балка перекрытия	16,07	1,87	2,45	0,79	1,13	13,43	11,28	0,97	1,78
п. Каменка, пер. Бассейный, д.4, 1929 г.п.									
Внутр. стена	12,88	1,87	1,71	0,84	1,28	7,43	8,07	2,37	2,71
Наружная стена	10,83	1,06	1,03	0,69	0,84	6,61	7,14	2,35	1,91
<i>Примечание</i>									
* В числителе указано значение по СП 64.13330.2017, в знаменателе – значение то же с учетом коэффициента длительной прочности режима длительности загрузки $m_{дл} = 0,66$ .									



Источник [2] и ряд других, указанных в нем, содержат результаты обработки и анализа экспериментальных данных, таблица 2 отражает отношения расчетных сопротивлений при сжатии, характеризующих анизотропию свежесрубленной и ретродревесины лиственницы.

**Таблица 2 – Сравнение расчетных сопротивлений древесины при сжатии, [2]**

Вид древесины	Показатели сравнения		
	$R_a/R_r$	$R_a/R_t$	$R_t/R_r$
Свежесрубленная древесина, МПа	12,43	6,79	1,83
Ретродревесина, МПа	10,89	6,6	1,65
Расхождение в показателях, %	-12,4	-2,97	-9,84

*Примечание:* расчетная прочность древесины лиственницы на сжатие:  $R_a$  – вдоль волокон;  $R_t$  и  $R_r$  – соответственно поперек волокон в радиальном и в тангенциальном направлениях.

В России появились фирмы, осуществляющие разборку старых строений, заготовку, обработку и продажу ретродревесины [3, 4], к которой предъявляется ряд требований [1]. С учетом недавнего принятия программы переселения из старых домов увеличивается ресурс заготовки этого материала, но в Беларуси он уже весьма ограничен.

В результате исследований определены показатели ретродревесины хвойных пород Европейского севера России с учетом анизотропных свойств и условий эксплуатации. Определена возможность использования ее в инженерных целях: современное домостроение, реставрация исторических объектов, изготовление строительных изделий, мебели и в интерьере [5].

### Список использованных источников

1 Трофимов, С.П. Ретродревесина в деревянном домостроении / С.П.Трофимов. – Материалы 87-й науч.-технич. конференции, Минск, февраль 2023 г. – Минск: БГТУ, 2023. – С. 199–202 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: – <https://elib.belstu.by/>. – Дата доступа: 10.10.2023.

2 Никитина, Т.А. Технический ресурс ретродревесины хвойных пород в элементах деревянных конструкций: автореф. дис. канд. техн. наук спец. 05.21.05 / Т.А.Никитина / САФУ. – Архангельск, 2021. – 20 с.

3 Амбарная доска в Беларуси [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://flagma.by/products/>. – Дата доступа: 07.12.2022.

4. Ретро Доска – Покупаем старую амбарную доску по всей России [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://retrodoska.ru/>. – Дата доступа: 07.12.2022.

5 Trofimov, S. The prospect of using retro timber in the furniture industry / S.Trofimov, T.Nikitina, B.Pralat, J.Lange, T.Rogozinski. – Annals of Warsaw University of Life Sciences – Forestry and Wood Technology №121. – Warsaw: SGGW, 2023. – p. 66–71.

**В.В. Ожигина**

Белорусский государственный экономический университет  
Минск, Беларусь

## **ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ ИНТЕГРАЦИОННОЙ ПОЛИТИКИ**

*Аннотация.* В статье систематизирован мировой опыт взятия экологических обязательств в рамках интеграционных объединений, а также типы, формы, виды, сферы регулирования экологических вопросов в соглашениях о свободной торговле. Выявлены основные виды и уровни интеграционной политики, регулирующие экологические вопросы на микро-, мезо- и макро-уровнях.

**V.V. Ozhigina**

Belarus State Economic University  
Minsk, Belarus

## **ENVIRONMENTAL QUESTIONS OF INTERNATIONAL POLICY**

*Abstract.* The article systematizes the world experience of taking environmental obligations within the framework of integration associations, as well as the types, forms, types, areas of regulation of environmental issues in free trade agreements. The main types and levels of integration policies that regulate environmental issues at the micro, meso and macro levels are identified.

Экологические вопросы находят отражение как во внутренней, так и во внешней экономической политике, в т.ч. в интеграционной политике стран в рамках создания интеграционных групп и заключения соглашений о свободной торговле (ССТ). ССТ включают отдельные разделы по вопросам защиты окружающей среды и устойчивого развития или включают их в разделы по торговому, инвестиционному, научно-техническому, инновационному, отраслевому сотрудничеству. Это способствует повышению уровня защиты окружающей среды, минимизации рисков, решению экологических проблем, развитию «зеленых» инвестиций и торговли эко-товарами (энергоэффективные приборы, оборудование для очистных сооружений и альтернативных видов энергетики, отходы, вторичные материалы и др.).

Цель статьи – определить экологические вопросы ССТ, уровни и виды интеграционной политики, в рамках которых они регулируются.

Задачи: систематизировать мировой опыт взятия экологических обязательств в интеграционных группах; показать типы, формы, сферы регулирования экологических вопросов в ССТ; выявить основные виды

и уровни интеграционной политики, регулирующие экологические вопросы на микро-, мезо- и макро-уровнях.

Среди типов экологических вопросов в ССТ используются: общие положения о целях защиты окружающей среды или устойчивого развития в преамбуле ССТ; экологические исключения для точного определения сферы действия ССТ; ссылки на нормы экологического права (поддержание или улучшение экологических стандартов, создание равных условий для экономических отношений между странами ССТ, чтобы не предоставить преимущества за счет низких стандартов защиты окружающей среды; участие общественности в вопросах защиты окружающей среды (открытость судебных заседаний, доступ к информации, транспарентность регулирования, участие заинтересованных лиц в принятии решений и др.); разрешение споров в экологической сфере (на основе общего или специального механизма); партнерство и сотрудничество стран ССТ в области охраны окружающей среды; конкретные отрасли (сельское хозяйство, горнодобывающая промышленность, энергетика, транспорт и др.) и сферы экологического сотрудничества (энергосбережение, торговля эко-товарами, изменение климата, биоразнообразие, качество воздуха, воды и почвы, загрязнение морской среды, водные, рыбные и лесные ресурсы, опустынивание и др.); механизм реализации (создание органа для надзора за выполнением экологических положений ССТ) [1].

ССТ регулируют корпоративную социальную ответственность (КСО), опираясь на международные принципы: Руководящие принципы ОЭСР для многонациональных предприятий, Глобальный договор ООН, Руководство ОЭСР по должной осмотрительности для ответственных цепочек поставок полезных ископаемых из районов, затронутых конфликтами, и районов высокого риска, Руководство по социальной ответственности ИСО. Области экологических положений КСО включают: науку и технологии, конкуренцию и налоги, сырье, цепочки создания стоимости, интересы потребителей, отношения с населением, права коренных народов, торговлю, инвестиции, окружающую среду, устойчивое развитие. Формы экологических положений КСО: важность продвижения КСО и возможность реализации политики устойчивого развития; поощрение соблюдения международных стандартов КСО, внедрения передового опыта; продвижение, распространение и использование международных стандартов КСО, прямые ссылки на их соблюдение; подтверждение приверженности, соответствие международным стандартам КСО, передовой практике регулирования; использование КСО как критерия

для получения разрешения на инвестиции; сотрудничество; консультации; урегулирование споров в сфере КСО [2].

В торговой интеграционной политике для защиты окружающей среды могут использоваться: единые правила происхождения товаров; гармонизация, признание, эквивалентность и транспарентность технических регламентов, стандартов и результатов оценки соответствия, установление более высоких экологических требований; оценка регулирующего воздействия торговых мер на экономику замкнутого цикла и устойчивое развитие; привлечение и поощрение участия заинтересованных сторон в разработке торговых мер; принятие обязательств о применении национальных экологических приоритетов, уровней защиты окружающей среды, совершенствовании и не снижении национальных экологических норм; правила торговли отходами и ломом, первичным и вторичным сырьем, товарами для ремонта и переработки, подержанными товарами [1], [2], [3].

В инвестиционной интеграционной политике защита окружающей среды обеспечивается за счет двух типов положений ССТ: конкретных экологических положений и сквозных инвестиционных положений, касающихся экологических вопросов. В ССТ включаются два вида экологических вопросов: во-первых, обеспечение взаимной поддержки торговой, инвестиционной, отраслевой и экологической политики, устранение противоречий и установление взаимодополняемости между либерализацией торговли, защитой инвесторов и экологическими ограничениями; во-вторых, содействие «зеленым» инвестициям в рамках инвестиционной политики. В первом случае: подтверждается право стран ССТ на регулирование в области окружающей среды несмотря на взаимные торговые и инвестиционные преференции; разъясняется, что недискриминационные меры эко-регулирования и их изменения не представляют собой косвенную экспроприацию иностранной собственности; устанавливаются требования, гарантии по ресурсо-, энерго-эффективности в экологических целях; оказывается содействие технической экспертизе экологов арбитражного суда по спорам, связанным с применением экологических мер, или они вообще исключаются из сферы действия общего механизма разрешения споров ССТ; четко обозначаются сферы действия и делаются экологические оговорки в рамках определения инвесторов и инвестиций, инвестиционных режимов, положений о защите и безопасности инвестиций, «зонтичных» положений. Во втором случае: обозначаются намерения и обязательства стран-происхождения и стран базирования содействовать «зеленым» инвестициям, обязанности инвестора по реализации экологически ответственных инвестиций со ссылкой на

международные стандарты и критерии оценки воздействия на окружающую среду, стимулируется сотрудничество и наращивание потенциала стран ССТ в области поощрения, облегчения, упрощения экологически ответственных инвестиций [3].

В отраслевой интеграционной политике вводят специальные главы или отраслевые приложения ССТ по конкретным секторам или экологическим проблемам (химические вещества, органические продукты, энергоэффективность, защита животных, возобновляемые источники энергии, электро- и электронное оборудование, изменение климата, циркулярная экономика). Страны принимают обязательства в форме консультаций, обмена технической информацией и научными данными; прозрачности, гармонизации, признания нормативной эквивалентности стандартов, процедур испытаний и документов о соответствии; сотрудничества по процедурам испытаний и стандартам производительности, вопросам экономики замкнутого цикла; прозрачности и совместимости схем маркировки, имеющих отношение к экономике замкнутого цикла (экомаркировка, маркировка органических продуктов, долговечность, ремонтпригодность, возможность модернизации, условия переработки и др.) [1], [3], [4].

Пути решения проблем. Торговые, инвестиционные, отраслевые и прочие аспекты регулирования взаимных отношений стран ССТ, направленные на их либерализацию, могут вступать в противоречие с установленными многоуровневыми экологическими нормами и требованиями. Исходя из этого, в ССТ важна четкая формулировка экологических требований как исключений из общего режима свободной торговли и инвестиций, механизма разрешения споров.

Новые идеи и результаты. Содействие «зеленой» торговле, инвестициям и отраслям в рамках ЕАЭС возможно на основе создания межгосударственного контактного центра по вопросам ответственного ведения бизнеса и защиты окружающей среды (это также возможно в рамках международного сотрудничества национальных агентств по поощрению торговли и инвестиций), присоединения стран к международным стандартам, внедрения принципов экологически ответственного ведения бизнеса в практику евразийских компаний как на уровне отдельных предприятий, так и на уровне ЕАЭС в рамках поощрения реализации экологически ответственных совместных проектов и программ, создания транснациональных компаний, кластеров, цифровых платформ и экосистем.

Опыт внедрения. Чаще всего включают экологические вопросы в свои ССТ ЕС, ЕАСТ, Канада, Чили, Великобритания, Перу, Сингапур, Бразилия, МЕРКОСУР, обычно не включают такие положения в свои

ССТ Коста-Рика, Республика Корея, Мексика, ЮАР, Индия, Марокко, ОАЭ, Пакистан, Таиланд. ЕАЭС регулирует экологические вопросы в Договоре о ЕАЭС 2014 г., ССТ с Вьетнамом, Сингапуром, Сербией и планирует с другими странами. С 2022 г. в ЕАЭС принят региональный перечень и идет мониторинг показателей достижения ЦУР.

Выводы. Выделены два уровня интеграционной политики, регулирующих экологические вопросы: КСО регулируется в рамках микро-интеграционной политики в отношении корпораций и некоммерческих организаций, тогда как интеграционная политика инклюзивного роста и устойчивого развития отнесена к мезоуровню. Кроме этого, экологические вопросы включаются, во-первых, в микро-интеграционную политику в отношении потребителей и трудовых ресурсов; во-вторых, в мезо-политику: на общем/едином рынке (товаров, услуг, капитала и др.): торговую и инвестиционную; структурную, в т.ч. региональную, отраслевую (в сфере промышленности, сельского хозяйства, рыболовства, лесного хозяйства, моря, океана и др.), научно-техническую и инновационную политику, политику новых форм организации бизнеса (кластерную, сетевую, цифровую и т.п.), инфраструктурную (транспортно-логистическую, энергетическую, водоснабжения и др.); в-третьих, в макро-политику, в частности, налоговую [4], [5].

### Список использованных источников

1. George, C. Assessing Implementation of Environmental Provisions in Regional Trade Agreements. OECD Trade and Environment Working Papers, №2018/01 / C. George, S. Yamaguchi. – Paris: OECD Publishing, 2018. – 41 p. [Electronic resource]. – Mode of access: <https://dx.doi.org/10.1787/91aacfea-en>. – Date of access: 26.10.2023.

2. Monteiro, J.-A. Buena vista: social corporate responsibility provisions in regional trade agreements. Staff Working Paper ERSD-2021-11, 30 March 2021 / J.-A. Monteiro. – Geneva, Switzerland: WTO, 2021. – 38 p. [Electronic resource]. – Mode of access: [https://www.wto.org/english/res\\_e/reser\\_e/ersd202111\\_e.htm](https://www.wto.org/english/res_e/reser_e/ersd202111_e.htm). – Date of access: 26.10.2023.

3. Yamaguchi, S. Greening regional trade agreements on investment. OECD Trade and Environment Working Papers, №2020/03 / S. Yamaguchi. – Paris: OECD Publishing, 2020. – 81 p. [Electronic resource]. – Mode of access: <https://doi.org/10.1787/4452a09d-en>. – Date of access: 26.10.2023.

4. Ожигина, В. В. Инновационная политика регионального интеграционного объединения / В. В. Ожигина // Журнал международного права и международных отношений. – 2011. – № 2 (57). – С. 85–90.

5. Ожигина, В. В. Теоретические основы и структура экономической интеграционной политики / В. В. Ожигина // Белорусский экономический журнал. – 2022. – № 3 (100). – С. 37-54.

УДК 536.25

**Г.С. Маршалова, Д.В. Островская**  
Белорусский государственный технологический университет  
Минск, Беларусь

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ  
ВЫСОТЫ ВЫТЯЖНОЙ ШАХТЫ НА ИНТЕНСИВНОСТЬ  
ТЕПЛООТДАЧИ ОДНОРЯДНОГО ПУЧКА ОРЕБРЕННЫХ  
ТРУБ С УЧЕТОМ ИХ ВНЕШНЕГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ**

*Аннотация.* В работе представлены результаты экспериментального исследования влияния высоты вытяжной шахты на интенсивность теплоотдачи однорядного пучка биметаллических ребристых труб со спиральными алюминиевыми ребрами (БРТ) с учетом их внешнего загрязнения. Получено, что при увеличении высоты вытяжной шахты интенсивность теплоотдачи увеличивается.

**G.S. Marshalova, D.V. Ostrovskaya**  
Belarusian State Technological University  
Minsk, Belarus

**EXPERIMENTAL STUDY OF THE EFFECT OF THE  
EXHAUSTED SHAFT HEIGHT ON THE INTENSITY OF HEAT  
TRANSFER OF A SINGLE-ROW BUNDLE OF FINNED TUBES,  
TAKING INTO ACCOUNT THEIR EXTERNAL  
CONTAMINATION**

*Abstract.* In article the results of experimental study of the effect of the exhausted shaft height on the intensity of heat transfer of a single-row bundle of finned tubes, taking into account their external contamination has been shown. It is established that with an increase in the height of the exhaust shaft, the intensity of heat transfer increases.

Аппараты воздушного охлаждения (АВО) нашли широкое применение в различных отраслях промышленности. химической и нефтехимической, нефтеперерабатывающей, газовой, целлюлозно-бумажной, в тепло- и электроэнергетике, в холодильной технике, на атомных станциях. Данные аппараты в основном функционируют в

режиме вынужденной конвекции, в результате чего на привод вентиляторов затрачивается значительное количество электроэнергии.

Достичь экономии топливно-энергетических ресурсов при работе воздухоохлаждаемых теплообменников возможно автоматическим переходом при определенных условиях окружающей среды в режимы свободной и смешанной конвекции. Одним из способов энергосбережения при эксплуатации ТВО, изученных в работе [1], является установка вытяжной шахты над теплообменным пучком ТВО, что способствует интенсификации свободно-конвективного теплообмена за счет увеличения силы естественной тяги воздуха. АВО состоят из пучков биметаллических оребренных труб различных компоновок. Оребрение позволяет увеличить площадь теплопередающей поверхности, что способствует повышению энергетической эффективности.

Основной характеристикой АВО является коэффициент теплопередачи, который меняет свое значение в течении всего времени эксплуатации теплообменного аппарата. Это связано с тем, что, находясь на открытом воздухе, поверхность труб теплообменного аппарата подвержена загрязнению. На загрязнение поверхности теплообмена, обтекаемой воздушным потоком, например, в радиаторах транспортных установок, согласно работе [2], основное влияние оказывают механические примеси в виде пыли, жидкой грязи, песка, насекомых, растений, половы, волокнистых веществ, моторного масла, сажи и т. п.

Для достоверного подбора температуры окружающей среды, позволяющей переходить от вынужденной конвекции к смешанной или свободной, существует необходимость строгого соблюдения температурных режимов и точности их регулирования, что напрямую зависит от наличия качественных данных по теплообмену пучков, состоящих из оребренных труб, с учетом влияния внешнего загрязнения.

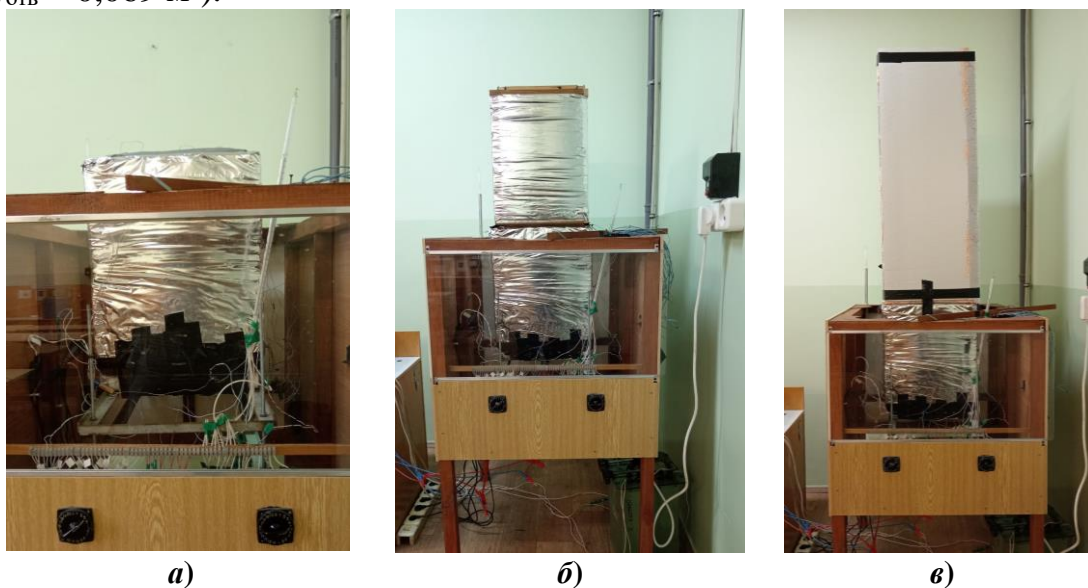
Целью работы является изучение влияния высоты вытяжной шахты на интенсивность теплоотдачи однорядного пучка оребренных труб с учетом их внешнего загрязнения.

При проведении экспериментов использовались БРТ со спиральными накатными круглыми ребрами следующих геометрических параметров: наружный диаметр  $d = 56,8$  мм; диаметр трубы по основанию  $d_0 = 26,4$  мм; высота ребра  $h = 15,2$  мм; шаг ребра  $s = 2,43$  мм; средняя толщина ребра  $\Delta = 0,55$  мм; длина трубы  $l_{\text{т}} = 330$  мм (теплоотдающая длина  $l = 300$  мм), коэффициент оребрения трубы  $\varphi = 21,0$ . Материал ребристой оболочки – алюминиевый сплав АД1М, материал несущей



трубы – углеродистая сталь. Диаметр несущей трубы  $d_n = 25$  мм, толщина стенки  $\delta = 2$  мм. Внешнее загрязнение межреберного пространства биметаллических ребристых труб создавалось путем равномерного кольцевого наматывания льняного шнура на поверхность труб. В результате был образован слой загрязнения толщиной  $\delta_z = 2,9$  мм.

Для интенсификации свободно-конвективного теплообмена воздуха над пучком труб устанавливалась вытяжная шахта со следующими высотами:  $H = 0,52; 1,04; 1,72$  м (рис. 1). На выходе шахты закреплялась крышка с прямоугольным проходным сечением  $0,3 \times 0,23$  м ( $f_{отв} = 0,069$  м<sup>2</sup>).



**Рис. 1 – Фотографии экспериментальной установки:**

- а) с вытяжной шахтой  $H = 0,52$  м;**
- б) с вытяжной шахтой  $H = 1,04$  м;**
- в) с вытяжной шахтой  $H = 1,72$  м**

Экспериментальное исследование проводилось методом полного теплового моделирования. Подвод теплового потока к оребренным поверхностям обеспечивался за счет установки внутри оребренных труб трубчатых электронагревателей (ТЭНов). В ходе опытов электрическая мощность, подводимая к оребренным трубам, изменялась в пределах  $W = 5–320$  Вт, средняя температура стенки у основания ребер составляла  $t_{ст} = 25–120^\circ\text{C}$ , а температура окружающего воздуха в камере  $t_0 = 17–23^\circ\text{C}$ . Согласно работе [3] в качестве определяющих характеристик для расчета чисел подобия при определении теплофизических свойств воздуха  $\lambda, \nu, \rho, c_p$  и  $\beta$  следует принимать температура окружающего воздуха в камере  $t_0$ , а за определяющий размер – диаметр трубы по основанию ребер  $d_0$ .

По данным измерений рассчитывался средний приведенный коэффициент теплоотдачи конвекцией, отнесенный к полной наружной поверхности оребренной трубы  $\alpha_k$ , Вт/(м<sup>2</sup> · °С). При его определении учитывалась лучистая составляющая  $Q_{л}$ , Вт и составляющая потерь  $Q_{п}$ , Вт [4].

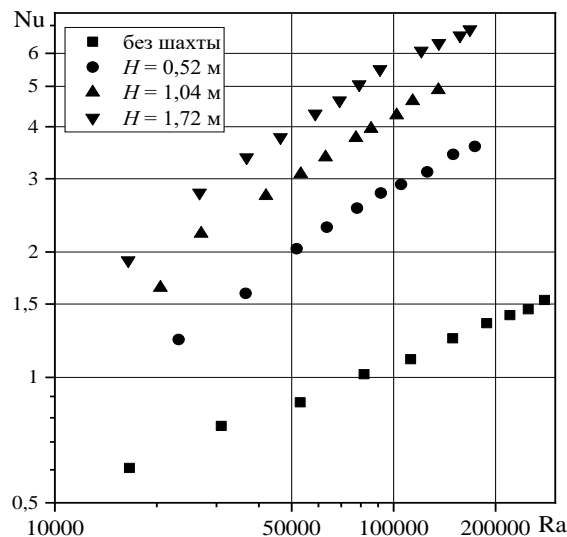
Экспериментальные данные обрабатывались и представлялись в виде чисел Нуссельта и Релея:

$$Nu = \frac{\alpha_k d_0}{\lambda}, \quad (1)$$

$$Ra = Gr Pr = \frac{g \beta d_0^3 (t_{ст} - t_0)}{\nu a}, \quad (2)$$

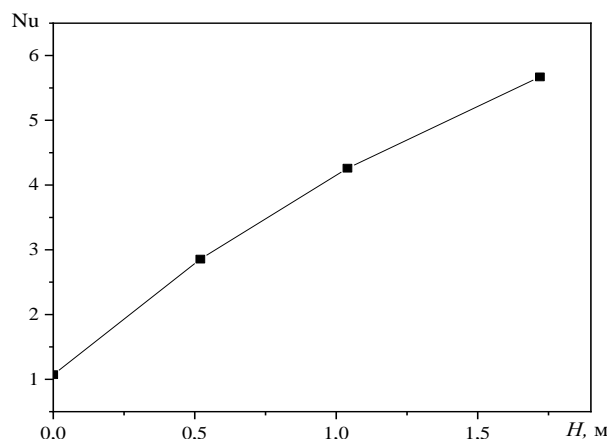
где  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности воздуха, Вт/(м · °С); Gr – число Грасгофа; Pr – число Прандтля;  $g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;  $\beta = 1 / (273 + t_0)$  – коэффициент температурного расширения, К<sup>-1</sup>;  $\nu$  – коэффициент кинематической вязкости, м<sup>2</sup>/с;  $a$  – коэффициент температуропроводности, м<sup>2</sup>/с.

Экспериментальные данные теплоотдачи однорядного пучка оребренных труб с учетом их внешнего загрязнения в режиме свободной и смешанной конвекции при различных высотах вытяжной шахты представлены на рис. 2 в виде зависимости  $Nu = f(Ra)$ .



**Рис. 2 – Теплоотдача однорядного пучка оребренных труб в режиме свободной и смешанной конвекции при различных высотах вытяжной шахты**

Для оценки влияния высоты вытяжной шахты на интенсивность теплоотдачи однорядного пучка оребренных труб была построена зависимость  $Nu = f(H)$  при постоянном числе Релея  $Ra = 100\,000$ , представленная на рис. 3.



**Рис. 3 – Влияние высоты вытяжной шахты на интенсивность теплоотдачи однорядного пучка оребренных труб**

Согласно графическим данным, представленным на рис. 2 и 3, установка вытяжной шахты высотой  $H = 0,52$  м позволяет увеличить интенсивность теплоотдачи в 2,6 раза;  $H = 1,04$  м – в 4,0 раза;  $H = 1,72$  м – в 5,3 раза по сравнению со свободной конвекцией.

### **Список использованных источников**

1. Маршалова, Г. С. Тепловой расчет и проектирование аппаратов воздушного охлаждения с вытяжной шахтой: дис. ... канд. техн. наук: 01.04.14 / Г. С. Маршалова. – Минск, 2019. – 153 л.
2. Бурков, В. Автотракторные радиаторы / В. Бурков, А. Индейкин. – Л.: Машиностроение. Ленингр. Отд-ние, 1986. – 216 с.
3. Островская Д.В. Обоснование выбора характерного размера и температуры при обобщении экспериментальных данных свободно-конвективного теплообмена воздухоохлаждаемой круглоребристой трубы [Электронный ресурс] / Д.В. Островская // 74-я научно-техническая конференция учащихся, студентов и магистрантов: сборник научных работ, Минск, 17–20 апреля 2023 г. / Белорус. гос. техн. ун-т. – Минск, 2023. – С. 162-164 – Режим доступа: [https://conf.belstu.by/wp-content/uploads/2023/08/0000-сборник-научных-работ\\_74\\_СНТК.pdf](https://conf.belstu.by/wp-content/uploads/2023/08/0000-сборник-научных-работ_74_СНТК.pdf). – Дата доступа: 08.09.2023.
4. Самородов, А. В. Совершенствование методики теплового расчета и проектирования аппаратов воздушного охлаждения с шахматными оребренными пучками: дис. ... канд. техн. наук: 05.14.14 / А. В. Самородов. - Архангельск, 1999. – 176 с.

УДК 541.183.

**А.С. Панасюгин<sup>1</sup>, Н.П. Машерова<sup>2</sup>, А.Р. Цыганов<sup>2</sup>,  
И.И. Курило<sup>2</sup>, Н.Д. Павловский<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Белорусский национальный технический университет

<sup>2</sup>Белорусский государственный технологический университет  
Минск, Беларусь

<sup>3</sup>Гродненский государственный медицинский университет  
Гродно, Беларусь

## **ЭФФЕКТИВНОСТЬ НЕЙТРАЛИЗАЦИИ ПАРОВ СМЕСЕВЫХ РАСТВОРИТЕЛЕЙ Р 645–650**

***Аннотация.** Целью данной работы является изучение процесса нейтрализации паров смешанного растворителей серии Р645-Р650 адсорбционно-каталитическим методом. Сущность метода состоит в концентрировании компонентов растворителя на окисление, накопленных органических веществ до диоксида углерода и воды. В качестве сорбента был использован синтетический цеолит марки NaX, в качестве катализатора – пористый материал на основе пенокерамики состава  $Al_2O_3/SiO_2$  с высокоразвитой модифицированной поверхностью с нанесенной активной каталитической фазой.*

**A.S. Panasyugin<sup>1</sup>, N.P. Masherova<sup>2</sup>, A.R. Tsyganov<sup>2</sup>,  
I.I. Kurilo<sup>2</sup>, N.D. Pavlovskiy<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Belarusian National Technical University

<sup>2</sup>Belarusian State Technological University  
Minsk, Belarus

<sup>3</sup>Grodno State Medical University  
Grodno, Belarus

## **NEUTRALIZATION OF SOLVENT VAPORS OF BRAND 645-650 BY THE ADSORPTION-CATALYTIC METHOD**

***Abstract.** The purpose of this work is to study the process of neutralizing the vapors of the mixed solvents of the R645-R650 series by the adsorption-catalytic method. Substance of method consists in concentration of solvent components on sorbent, thermal desorption with subsequent periodic flameless catalytic oxidation of accumulated organic substances to carbon dioxide and water. A synthetic zeolite of the NaX brand was used as a sorbent, and a porous material based on foam ceramics of the  $Al_2O_3/SiO_2$  composition with a highly developed modified surface with an active catalytic phase applied was used as a catalyst.*

В ходе проведения предварительного анализа было установлено, что наиболее часто в различных областях находят применение смесевые растворители серии Р 645-650.

Целью работы являлось изучение эффективности нейтрализации паров смесевых растворителей серии Р645-650 адсорбционно-каталитическим методом.

### **Назначение смесевых растворителей серии Р 645–650**

**Р 645.** Растворитель марки Р 645 для разбавления нитроэмалей, нитролаков и нитрошпатлевок специального назначения, нитролаков, шпатлевок общего назначения и других химических составов.

**Р 646.** Наиболее широко распространённый (универсальный) смесевой растворитель, который применяется в качестве обезжиривателя, разбавителя, растворителя, компонента лаков, красок, клеев и окрасочных систем.

**Р 647.** На сегодняшний день этот растворитель входит в перечень самых популярных и распространённых составов. Его особенность заключается в том, что в составе отсутствуют этилцеллозольв и ацетон, благодаря чему раствор считается более щадящим и его можно использовать при очистке пластиковых поверхностей. Растворитель Р 647 широко используют при окрашивании автомобильного транспорта, поскольку его можно применять совместно с нитролаками и нитроэмалью. Он также используется для увеличения вязкости веществ, в составе которых присутствует нитроцеллюлоза. Данный разбавитель не влияет разрушающе на материалы, не переносящие активного воздействия химических компонентов, среди которых и изделия из пластика. В связи с этим применяется как обезжиривающее и очищающее средство от ЛКМ. При этом после его использования на поверхности не остаётся белых пятен, а мелкие изъяны становятся более гладкими. Работа с растворителем Р 647 требует соблюдения определенных мер предосторожности: защита органов дыхания и кожи, обработка должна проводиться в помещениях с хорошей вентиляцией, так как при распылении в воздухе легко образуются огне- и взрывоопасные смеси. Широкомасштабное применение растворителя Р 647 в технологических процессах промышленной окраски автотракторной техники ставит задачу по очистке газовых выбросов от компонентов растворителя.

**Р 648.** Растворитель является одним из самых популярных мультикомпонентных растворителей, который применяется в достаточно обширном спектре строительных и ремонтных работ. Это самый лучший вариант для разбавления лакокрасочных материалов, произведенных на основе нитроцеллюлозы, полиакрилата, а также

бутилметакрилата. Кроме разбавления, а также образования быстросохнущей пленки, Р 648 используется с целью сглаживания штрихов и царапин путем распыления на рабочую поверхность, выполненную на основании нитроэмалей, после проведения работ по шлифованию. Также с помощью растворителя Р 648 можно производить подготовку поверхностей под окрашивание. В данном случае он используется для удаления следов старой краски и жировых пятен.

**Р 649.** Используется в промышленности для разбавления нитратцеллюлозных и нитратцеллюлозно-глифталевых эмалирующих покрытий (НЦ-132К, НЦ-11, ГФ-570Р К) до необходимой вязкости.

**Р 650.** Введение скрытых растворителей (например, спиртов) и разбавителей снижает стоимость растворителя и позволяет использовать в качестве пленкообразующего смесь двух и более типов различных по природе полимеров, так как разбавитель для одного типа полимера может быть активным растворителем для другого.

Химический состав смесевых растворителей серии Р 645–650 представлен в таблице 1.

**Таблица 1 - Химический состав растворителей Р 645–Р 650**

Компонент, мас. %	Марка смесевого растворителя					
	Р 645	Р 646	Р 647	Р 648	Р 649	Р 650
Этилацетат	9	0	0	0	0	0
Ацетон	3	7	0	0	0	0
Толуол	50	50	41,3	20	0	0
Бутилацетат	18	10	29,8	50	0	0
Этанол	10	10	0	10	0	0
н-Бутанол	10	15	7,7	20	20	30
Этилцеллозольв	0	8	21,2	0	30	20
Ксилол	0	0	0	0	50	50

Для решения поставленной задачи в качестве сорбента был выбран синтетический цеолит марки NaX, представляющий собой сферические гранулы диаметром 2,5-3,5 мм. В качестве катализатора глубокого окисления использовали пористые материалы с высокоразвитой модифицированной поверхностью на основе пенокерамики состава  $Al_2O_3/SiO_2$  с нанесенной активной каталитической фазой, имеющие на поверхности пенокерамики сформированный буферный слой, содержащий 11,1 мас. %  $\gamma-Al_2O_3$  и обладающие удельной поверхностью 15,6 м<sup>2</sup>/г.

Алгоритм работы модельной установки нейтрализации паров адсорбционно-каталитическим методом основан на полициклическом принципе:

1 – цикл адсорбции паров органических соединений на поверхности сорбента;

2 – цикл термической десорбции паров органических соединений в адсорбционном реакторе;

3 – цикл глубокого каталитического окисления паров органических веществ.

Для измерения скорости движения газового потока использовали дифференциальный манометр Testo 512 и датчик скорости движения воздуха Testo 425 производства Германии.

Определение концентрации органических веществ осуществлялось с помощью газового хроматографа «Цвет-106», оснащенного пламенно-ионизационным детектором (ПИД). Интерпретацию полученных хроматограмм производили с использованием программы «Мультихром 1.39».

Процесс адсорбции проводили до проскока 10 % суммарного состава всех компонентов растворителя.

Компонентный состав растворителей представлен различными классами органических веществ: арены (толуол), сложные эфиры (бутилацетат, этилацетат), алканола (этанол) Степень конверсии определяли на основании дискретных значений, полученных при анализе газовых проб, которые отбирали с интервалом в 1 минуту.

Полноту каталитического окисления органических соединений оценивали по показателям газоанализатора Dräger MSI 150 EURO, который оснащен датчиками, позволяющими оценить количественное и качественное содержание в составе газовых выбросов CO и CO<sub>2</sub>.

Степень конверсии ( $S_c$ ) после десорбции газов из сорбционной колонки прохождения через каталитический реактор определяли по формуле

$$S_c = \frac{C_n - C_k}{C_n} \times 100\%$$

где  $C_n$  – концентрация паров загрязняющих веществ на входе в каталитический реактор и  $C_k$  – концентрация паров загрязняющих веществ на выходе из каталитического реактора.

Результаты проведенных исследований приведены в таблице 2.

**Таблица 2 - Степень конверсии растворителей Р 645–Р 650**

Компонент, мас. %	Марка смесового растворителя					
	Р 645	Р 646	Р 647	Р 648	Р 649	Р 650
Этилацетат	76,0		79,7			
Ацетон	58,5	56,4				
Толуол	92,6	99,1	94,4	93,7		
Бутилацетат	85,4	86,0	90,5	91,5		
Этанол	76,3	56,0		83,6		

н-Бутанол	75,8	65,4	78,1	80,4	63,4	65,7
Этилцеллозольв		40,0			64,1	74,3
Ксилол					91,6	90,4

Таким образом, можно констатировать следующий факт, что несмотря на различные классы органических присутствующих в составах смесевых растворителях степень их нейтрализации в независимости от начального содержания в исходном материале остается достаточно высокой. Так для эфиров уксусной кислоты 76-79,9 %, для кетонов 56-58,5%, для спиртов 56,0-78,3 %, для производных бензола 90,4-99,1, для этилцеллозольва 64,1-74,3%.

УДК 541.183.

**А.С. Панасюгин<sup>1</sup>, А.Р. Цыганов<sup>2</sup>, Н.П. Машерова<sup>2</sup>, И.И. Курило<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Белорусский национальный технический университет

<sup>2</sup>Белорусский государственный технологический университет  
Минск, Беларусь

### **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СТРУКТУРОФОРМИРУЮЩИХ ДОБАВОК ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ВЫСОКО СЕЛЕКТИВНЫХ СОСБЕНТОВ ПО ОТНОШЕНИЮ К <sup>137</sup>Cs**

*Аннотация.* Проведены сравнительные испытания по удалению цезия-137 с помощью исходного клиноптилолита и модифицированного клиноптилолита ферроцианидом меди и борной кислотой в качестве структурообразователя.

Установлено, что с помощью исходного клиноптилолита и модифицированного клиноптилолита ферроцианидом меди и борной кислотой в качестве структурообразователя к цезию-137 ( $K_d = 4,38 \cdot 10^3 - 1,35 \cdot 10^4$  мл/г). Модификация поверхности клиноптилолита структурообразующей добавкой приводит к увеличению селективности в 1,5 - 2,2 раза.



**A.S. Panasyugin<sup>1</sup>, A.R. Tsyganov<sup>2</sup>, N.P. Masherova<sup>2</sup>, I.I. Kurilo<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Belarusian National Technical University

<sup>2</sup>Belarusian State Technological University

Minsk, Belarus

## **USE OF STRUCTURE-FORMING ADDITIVES FOR PRODUCING HIGHLY SELECTIVE CO-RIBENTS WITH RESPECT TO <sup>137</sup>Cs**

***Abstract.** Comparative tests were carried out to remove cesium-137 by starting clinoptilolite and modifying clinoptilolite with copper ferrocyanide and boric acid as a structurant.*

*It was found that with the help of the initial clinoptilolite and modified modification of clinoptilolite with copper ferrocyanide and boric acid as a structurant to cesium-137 ( $K_d = 4.38 \cdot 10^3 - 1.35 \cdot 10^4$  ml/g).*

*Modification of the surface of clinoptilolite with a structure-forming additive leads to an increase in selectivity by 1.5-2.2 times.*

При использовании структуроформирующих добавок были синтезированы ферроцианидсодержащие образцы в присутствии борной кислоты. Отличие методики получения заключалось в том, что перед стадией обработки клиноптилолита, находящегося в Cu- форме ферроцианидом калия, его обрабатывали 10% раствором борной кислоты. Далее полученные образцы отмывали водой с целью удаления ионов  $VO_3^{3+}$ . Полноту отмывки проверяли методом ИК-спектроскопии по отсутствию характеристических линий, соответствующих борат ионам ( $1200\text{ см}^{-1}$ ).

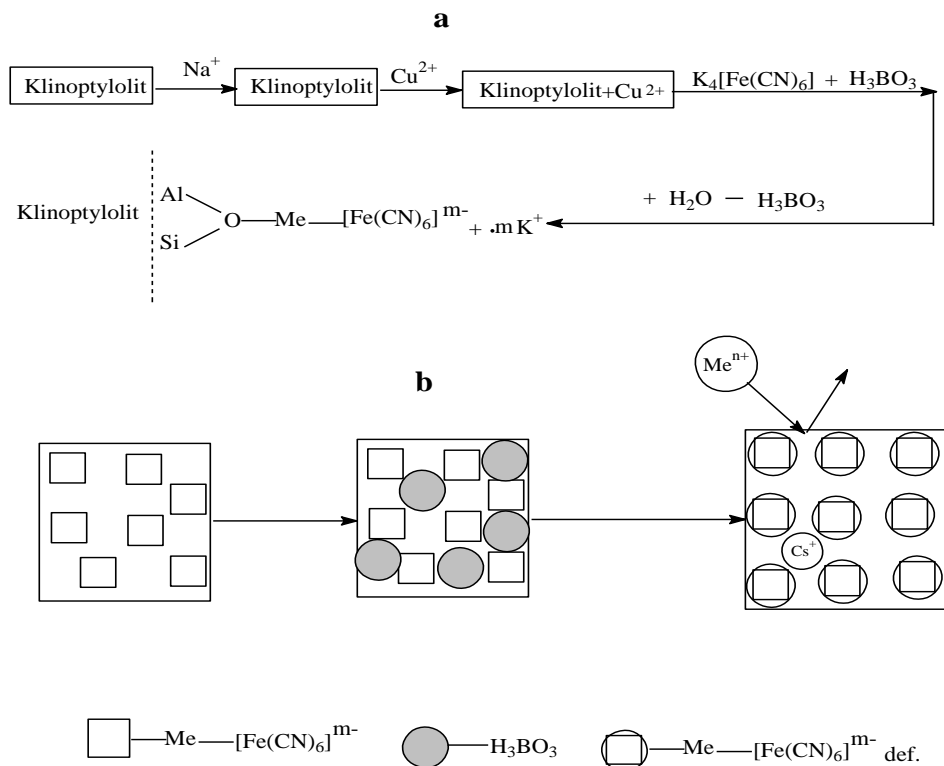
Адсорбцию долгоживущих изотопов  $^{137}\text{Cs}$  проводили в статических условиях на модельных растворах, содержащих в качестве солевого фона ионы кальция, магния, натрия и хлора при их весовом соотношении  $\text{Na}:\text{Ca}:\text{Mg}:\text{Cl}=1:5:5:25$ . Суммарное содержание ионов солевого фона составляло 360 мг/л.

В экспериментах с радиоактивными растворами к партиям по 0,1 г исследуемых образцов добавляли 10 мл раствора, содержащего  $^{137}\text{Cs}$ . Суспензии встряхивали в течение 24 часов при температуре 25 °С. После отделения твердого образца от жидкой фазы измерялась активность раствора. Начальная активность  $^{137}\text{Cs}$  в растворах составляла 4,44-102 Бк л<sup>-1</sup>.

Величины обменной емкости определяли в статических условиях по сорбции из 0.01 н раствора нитрата цезия.

На рис. 1. показана схема модифицирования ферроцианидом меди и борной кислотой, где **а** – последовательность проведения процессов обработки клиноптилолита, **б** – механизм повышения

селективности извлечения цезия при модифицировании клиноптилолита ферроцианидом меди и борной кислотой в качестве структурообразователя. Действие механизма повышения селективности можно разделить на два этапа. На первом при сорбции цезия происходит деформация структуры ферроцианида меди, находящегося на поверхности клиноптилолита. На втором, в следствие деформации, уменьшается расстояние между кристаллами ферроцианида меди, это приводит к тому, что через слой ферроцианида проходит  $^{137}\text{Cs}$ , а другие (Li, Na, K, Mg, Ca, Sr) не проникают вглубь зерна сорбента.

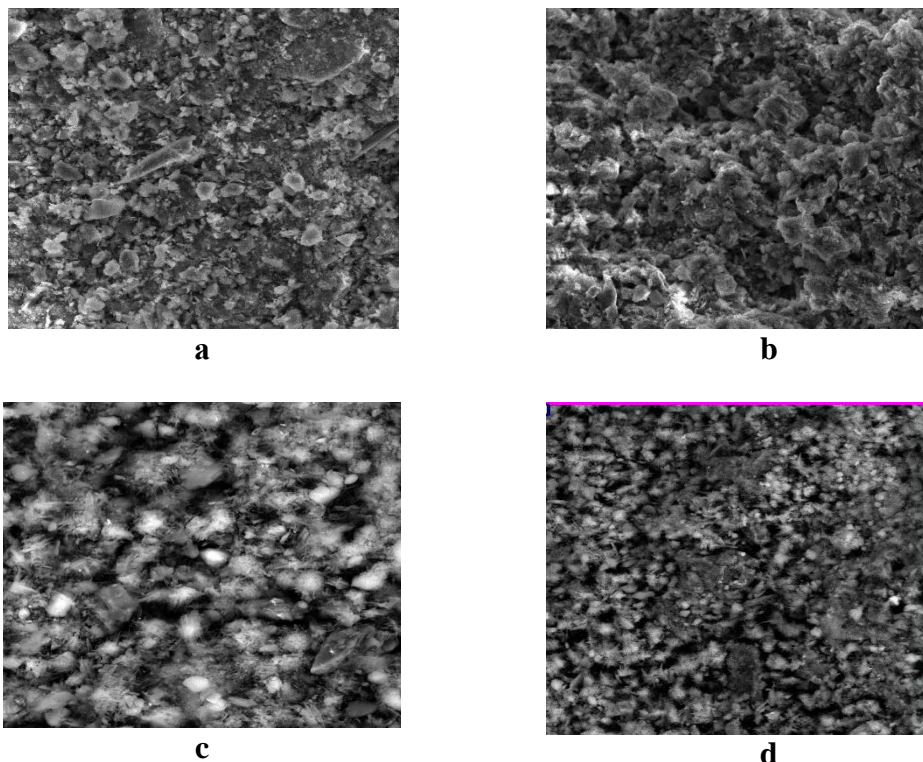


**a** – последовательность проведения процессов обработки клиноптилолита, **b** – механизм повышения селективности извлечения цезия при модифицировании клиноптилолита ферроцианидом меди и борной кислотой в качестве структурообразователя

**Рис. 1 - Схема модифицирования ферроцианидом меди и борной кислотой**

На рис. 2 представлены электронные изображения исходного и модифицированного клиноптилолита. Как видно из рис. 2а., где приведено изображение исходного клиноптилолита. Ферроцианидные комплексы располагаются на поверхности клиноптилолита случайным образом (рис. 2б.). Неравномерное покрытие на поверхности клиноптилолита препятствует максимальной селективности композитного ионообменника. На рис. 2с. приведен - клиноптилолит,

модифицированный ферроцианидом меди со структуроформирующей добавкой  $H_3BO_3$  (неотмытый) светлые сферические образования. Клиноптилолит, модифицированный ферроцианидом меди со структуроформирующей добавкой  $H_3BO_3$  (отмытый) 2d.



увеличение для изображений а, б, г в 10 000 , для изображения в в 15 000 раз, где а - исходный клиноптилолит; б – клиноптилолит, модифицированный ферроцианидом меди; с - клиноптилолит, модифицированный ферроцианидом меди со структуроформирующей добавкой  $H_3BO_3$  (неотмытый); d - клиноптилолит, модифицированный ферроцианидом меди со структуроформирующей добавкой  $H_3BO_3$  (отмытый).

**Рис. 2 - Электронные изображения исходного и модифицированного клиноптилолита**

Результаты исследований селективности извлечения цезия-137 представлены в таблице 1.

**Таблица 1 - Влияние структуроформирующей добавки ( $H_3BO_3$ ) на коэффициент распределения (селективность извлечения) для  $^{137}Cs$**

Образец	$K_d$ , мг/г
Na-клиноптилолит	$4.38 \times 10^3$
клиноптилолит + Cu ферроцианид	$1.4 \times 10^4$
Клиноптилолит + Cu ферроцианид + $H_3BO_3$	$3.1 \times 10^4$

В результате динамических экспериментов установлено, что колонка, заполненная клиноптилолитом - ферроцианидным обменником Cu, позволяет дезактивировать  $^{137}Cs$  примерно из 900

колоночных объемов раствора с начальной активностью 4,44-10<sup>2</sup> Бк л<sup>-1</sup>.

Проведены сравнительные испытания по удалению цезия-137 с помощью исходного клиноптилолита и модифицированного модифицировании клиноптилолита ферроцианидом меди и борной кислотой в качестве структурообразователя.

Установлено, что с помощью исходного клиноптилолита и модифицированного модифицировании клиноптилолита ферроцианидом меди и борной кислотой в качестве структурообразователя к цезию-137 ( $K_d = 4,38 \cdot 10^3 - 1,35 \cdot 10^4$  мл/г).

Модификация поверхности клиноптилолита структурообразующей добавкой приводит к увеличению селективности в 1,5 - 2,2 раза.

УДК 620.9

**В.В. Панасюк**

Академия управления при Президенте Республики Беларусь  
Минск, Беларусь

## **СОЦИАЛЬНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ОЦЕНКИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ РЕГИОНОВ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

*Аннотация.* В данной работе рассмотрены и рекомендованы к использованию социально-экологические показатели для оценки энергетической безопасности регионов Республики Беларусь.

**V.V. Panasiuk**

Academy of Public Administration under the aegis of the  
President of the Republic of Belarus  
Minsk, Belarus.

## **SOCIO-ECOLOGICAL ASPECTS OF ENERGY SECURITY ASSESSMENT IN THE REGIONS OF THE REPUBLIC OF BELARUS**

*Abstract.* In this paper, socio-environmental indicators are considered and recommended for use to assess the energy security of the regions of the Republic of Belarus.

**Введение.** В современных условиях обеспечение экономической безопасности относится к основным задачам государства. Важнейшей составляющей экономической безопасности является энергетическая безопасность, которая влияет на работу всех отраслей народного хозяйства и обеспечение экономической стабильности как страны в целом, так и отдельных ее регионов. В настоящее время проблема энергетической безопасности обострена в связи с применением беспрецедентных международных санкционных мер экономического давления. Обеспечение энергетической безопасности регионов относится к основополагающим условиям устойчивого социально-экономического развития регионов, играет решающую роль в повышении качества жизни населения и эффективности регионального управления.

Целью данной работы является оценка энергетической безопасности регионов с социально-экологической стороны.

Основная задача работы – это разработка дополнительных социально-экологических показателей для оценки энергетической безопасности регионов Республики Беларусь.

**Основная часть.** Региональная энергетическая безопасность обусловлена состоянием защищенности граждан и экономики определенного региона страны от угроз неустойчивого обеспечения их потребностей в экономически доступной энергией приемлемого качества как в нормальных условиях, так и при чрезвычайных обстоятельствах, от угроз экологического характера при производстве и потреблении энергии, от киберугроз информационных систем и сетей энергетической инфраструктуры региона. В рамках проводимой региональной политики государства, энергетическая безопасность региона взаимосвязана с энергетической безопасностью страны.

Вопросы оценки энергетической безопасности исследуют российские и белорусские ученые. Методология формирования оценки энергетической безопасности России на федеральном уровне отражена в работе С.М. Сендерова и В.И. Рабчук [1], а оценка энергобезопасности с экологической и финансово-экономической стороны предложена в работе С.И. Борталевич [2]. Методика оценки энергетической безопасности в Республике Беларусь с применением индикативного подхода рассмотрена в работе белорусских ученых Т.Г. Зориной и Б.И. Попова [3]. Существующая методика оценки энергобезопасности нашей страны, базируется на основе действующих нормативно-правовых документов и включает в себя систему из 11-ти индикаторов, объединенных в 4 блока. Существенно влияющие на энергобезопасность страны индикаторы включены в соответствующие

блоки. Вместе с тем, следует отметить, что в действующей методике ряд индикаторов подлежат корректировке, так как утратили свою актуальность достиганием их численных значений нормального состояния уже в 2018-2019г.г. при плановом значении только 2019 г., так же отсутствуют индикаторы, характеризующие энергобезопасность на региональном уровне. Не нашли отражения в действующей методике факторы влияния предприятий топливно-энергетического комплекса (далее – ТЭК) страны на социальное благополучие граждан и экологическое состояние территорий.

В современных условиях достижение устойчивого развития Республики Беларусь связано с сочетанием неразделимых и взаимообуславливающих экономической, социальной и экологических его составляющих. Энергетика является жизнеобеспечивающей отраслью, которая влияет на эффективность работы всех отраслей экономики, материальное благосостояние и доходы общества. Качество жизни населения определяется не только по уровню экономического благосостояния объемом получаемых доходов, но и по состоянию окружающей среды, в которой проживает человек. Для обеспечения комфортного уровня жизни населения энергетические предприятия в процессе своей деятельности сжигают углеводородное топливо для получения электрической и тепловой энергии и становятся главными источниками выбросов парниковых газов. Поэтому для предприятий ТЭК приоритетной задачей становится снижение вредных выбросов в окружающую среду и обеспечение экологической безопасности населения. Благоприятная окружающая среда может быть обеспечена сочетанием экономических, экологических и социальных интересов человека.

В целях оценки состояния энергетической безопасности регионов страны предлагается использовать дополнительный социально-экологический блок с включением в него следующих индикаторов:

1. Выбросы загрязняющих веществ от сжигания топлива на производство тепловой и электрической энергии на душу населения (кг/чел);
2. Конечное потребление электроэнергии на душу населения (кВт\*ч/тыс.чел);
3. Доля расходов населения на электроэнергию и топливо в общем объеме потребительских расходов домашних хозяйств, %;
4. Совокупные расходы на охрану окружающей среды на душу населения (руб./чел.);

5. Доля бытовых потребителей региона, интегрированных в автоматическую систему контроля и учета электроэнергии (АСКУЭ)%.

Первый показатель, характеризующий среднедушевые выбросы загрязняющих веществ от сжигания топлива для производства тепловой и электрической энергии, должен стать ключевым для улучшения качества воздуха и обеспечения здоровья граждан. Вредные выбросы могут включать в себя различные вредные вещества, такие как диоксиды серы и азота, углекислый газ, мелкие частицы и другие. Эти вещества могут оказывать серьезное воздействие на окружающую среду и здоровье людей.

Второй показатель, отражающий конечное потребление электроэнергии на душу населения, зависит от множества факторов, таких как уровень развития региона страны, его индустриальной активности и эффективности энергопотребления. В регионах с развитым промышленным сектором и разветвленной распределительной электросетью, потребление электроэнергии на душу населения обычно выше, чем в менее развитых регионах. Этот показатель может быть полезным для анализа эффективности энергопотребления, оценки уровня комфорта и жизненного уровня населения, а также для разработки стратегий по сокращению потребления энергии и повышению энергетической эффективности.

Третий показатель, определяющий долю расходов населения на электроэнергию и топливо в общем объеме потребительских расходов домашних хозяйств, может различаться в регионах в зависимости от экономического развития, климатических условий, структуры потребления энергии, доходов населения и индивидуальных предпочтений жителей конкретного региона. В регионах с высоким уровнем жизни и мягким климатом, доля расходов на электроэнергию и топливо может быть относительно невелика, так как люди тратят меньше на обогрев и кондиционирование воздуха. В других регионах с холодным климатом, эта доля может быть выше из-за более высоких расходов на отопление особенно в зимние месяцы и составлять существенную часть бюджета семей.

Следующий показатель дает возможность оценить совокупные расходы на охрану окружающей среды на одного жителя региона. Данный показатель включают в себя как текущие затраты, так и инвестиции в основной капитал, направленные на охрану окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов. Следует отметить, что мероприятия по снижению вредных выбросов требуют существенных капитальных затрат, и кроме государственных расходов на разработку и реализацию экологической политики, должно

присутствовать финансирование из частных источников на мероприятия и программы, направленные на защиту окружающей среды и улучшение экологической обстановки. Многие частные предприятия могут вкладывать средства в экологические инициативы, включающие в себя внедрение более эффективных технологий для сокращения негативного воздействия на окружающую среду, инвестиции в экологически чистые проекты и улучшение производственных процессов с целью снижения негативных экологических последствий. Устойчивое развитие регионов возможно при высоком уровне государственно-частного партнерства при реализации мероприятий эколого-экономической направленности. Население также может участвовать в охране окружающей среды посредством экономии энергетических ресурсов, покупки экологически чистых товаров, участия в программах утилизации и другое. Огромный вклад в решение экологических проблем внесет ввод в эксплуатацию первой Белорусской атомной станции, так как уменьшение использования природного газа на 5 млрд. м<sup>3</sup> для выработки электроэнергии позволит сократить выбросы парниковых газов в атмосферу на 7 млн. т в год, и дополнительная выработка электроэнергии на атомной станции будет стимулировать внедрение электротранспорта, что улучшит экологическую ситуацию в регионах.

Последний показатель данного блока отражает процент домашних хозяйств или потребителей, использующих автоматизированные системы для учета потребления электроэнергии (АСКУЭ). Эти системы позволяют как потребителям, так и поставщикам энергии более эффективно управлять энергопотреблением. Они предоставляют более детальную информацию о расходе энергии в реальном времени, что помогает потребителям более осознанно использовать электроэнергию и снижать расходы. Поставщики энергии также могут использовать эту информацию для планирования и оптимизации поставок энергии. Доля подключенных бытовых потребителей к таким системам может служить показателем уровня развития энергетической инфраструктуры и цифровизации в области учета энергопотребления и энергоэффективности в конкретном регионе страны.

**Выводы.** Энергетика имеет огромное значение для экономического развития страны и ее регионов, а устойчивое экономическое развитие регионов позволяет успешно реализовывать экологические мероприятия и поддерживать достойный уровень благосостояния населения. Выполнение экологических требований при повышении энергетической безопасности регионов страны



обеспечивают социальную безопасность по сохранению жизни, здоровья и благополучия граждан.

Показатели дополнительного социально-экологического блока позволят всесторонне и комплексно проводить оценку и разрабатывать мероприятия по повышению энергетической безопасности регионов Республики Беларусь.

### **Список используемых источников**

1. Сендеров С.М., Рабчук В.И. Состояние энергетической безопасности России на федеральном уровне: методический подход к оценке и основные результаты. / С.М.Сендеров, В.И.Рабчук // Известия Российской академии наук. Энергетика. - №2. – 2018. – С. 3 – 12.

2. Борталевич С.И. Методические основы оценки энергетической безопасности регионов / С.И. Борталевич // Экономический анализ: теория и практика. - №38(293). – 2019. – С. 33 – 37.

3. Зорина Т.Г., Попов Б.И. Индикативный подход к оценке энергетической безопасности Республики Беларусь / Б.И. Попов, Т.Г. Зорина // Информационные и математические технологии в науке и управлении, 2(18), - 2020. - С. 107-127.

УДК 697.34

**М.Б. Перехвал<sup>1</sup>, И.Л. Иокова<sup>2</sup>, П.А. Перехвал<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Республиканское унитарное предприятие «Белнипиэнергопром»

<sup>2</sup> Белорусский национальный технический университет

<sup>3</sup>Общество с ограниченной ответственностью «ТЭРПРОЕКТ»

Минск, Беларусь

### **«УМНАЯ» СИСТЕМА ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ НА БАЗЕ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕПЛООВОГО НАСОСА**

*Аннотация.* Предлагаемая система теплоснабжения сочетает преимущества классического централизованного теплоснабжения и эффективность тепловых насосов. В результате анализа полученных расчетных данных было определено, что такая система теплоснабжения имеет высокие технико-экономические показатели и привлекательна с экологической точки зрения.

**M.B. Perekhval<sup>1</sup>, I.L. Iokova<sup>2</sup>, P.A. Perekhval<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Republican Unitary Enterprise "Belniplerienergoprom"

<sup>2</sup> Belarusian National Technical University

<sup>3</sup> Limited Liability Company "TERPROEKT"

Minsk, Belarus

## **«SMART» HEATING SYSTEM BASED ON CENTRALIZED HEATING WITH THE USE OF A HEAT PUMP**

***Abstract.** The proposed heating system combines the benefits of traditional centralized heating with the efficiency of heat pumps. An analysis of the calculated data has determined that such a heating system exhibits high technical and economic performance and is environmentally appealing.*

С каждым днем технологии все активнее проникают во все сферы нашей жизни. Не стала исключением область строительства нового и модернизация уже имеющегося жилья. Словосочетание «умный дом» перестает быть чем-то непривычным, ведь оно неотрывно связано с современными технологиями и представляет собой концепцию, в которой различные системы в доме связаны между собой, что позволяет обеспечить более быстрое, комфортное и эффективное управление различными аспектами жизни внутри такого дома. Такие дома уже сейчас объединяются в «умные кварталы» и «умные города» – более широкие концепции, включающие в себя контроль и управление различными сферами жизни, системами и ресурсами, такими как общественная безопасность, транспорт, образование, здравоохранение, энергетика и прочее. В Республике Беларусь в настоящее время реализуется проект «умного города» – жилой комплекс «Северный берег», который будет создан в границах двух водохранилищ – Цнянского и Дрозды [1].

Что касается энергетики, то использование современных технологий для снижения уровня потребляемой зданием энергии, является одним из приоритетных направлений развития строящегося и существующего жилищного фонда Республики Беларусь. Кроме использования современных приборов контроля и учета потребляемой энергии, использование современных систем теплоснабжения позволит быстрее добиться желаемого.

В настоящее время основной системой теплоснабжения в Республике Беларусь является централизованная система. Полная ее замена практически не представляется возможной. Более рациональным путем ее усовершенствования является ее модернизация.

В данной статье будет рассмотрен вариант применения теплового насоса в схеме существующей ТЭЦ.

Тепловые насосы термодинамически не отличаются от холодильных машин, но используются для выработки теплоты. Они просты и безопасны. Применение теплонасосных установок вносит наибольший вклад в экономию невозобновляемых энергоресурсов с помощью технологий нетрадиционной энергетики [2].

Централизованное теплоснабжение в Республике Беларусь в основном осуществляется благодаря паротурбинным циклам на ТЭЦ и ГРЭС. В данном случае тепловой насос, предназначенный для отопления, использует теплоту конденсации отработанного в турбине пара, благодаря чему обеспечивает экономию природного газа и уменьшает вредные выбросы в окружающую среду без изменения централизованной системы теплоснабжения, а наоборот выступает в роли дополнения к существующей системе и так же позволяет оставить неизменными существующие тепловые пункты и узлы. Такой вариант теплоснабжения «умного дома» на наш взгляд является наиболее современным и оптимальным – «умным». Ведь модернизация уже существующих технологий – это тоже инновация [1].

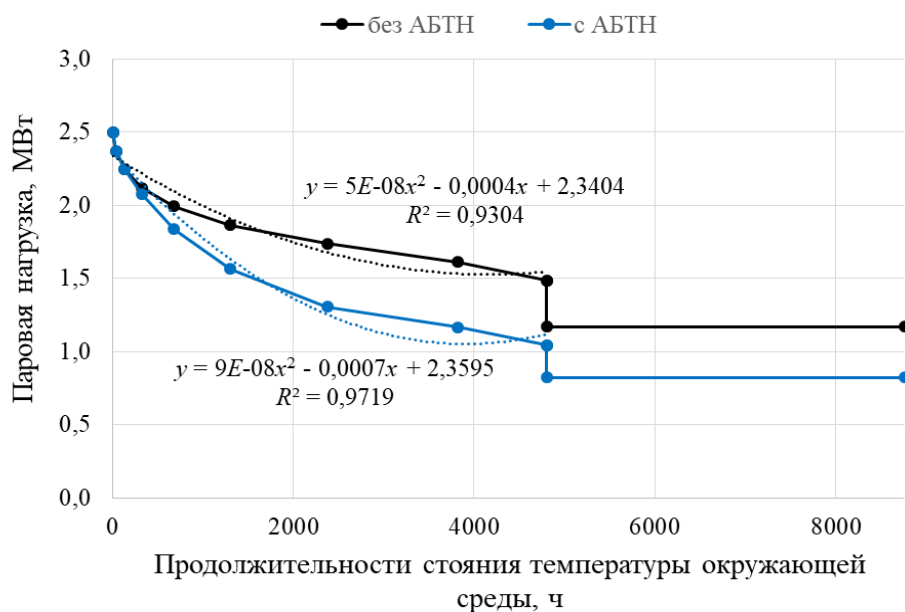
При сравнении парокомпрессионного теплового насоса (ПКТН) и абсорбционного теплового насоса (АБТН) было выявлено, что АБТН при равных условиях термодинамически более эффективен, так как эксергетический КПД его выше, чем у ПКТН [3].

Работа предложенной системы теплоснабжения «умного дома» будет рассмотрена на примере строящегося многоквартирного жилого дома с применением двух АБТН марки BDS 30 с суммарной теплопроизводительностью 2,8 МВт. Для их привода будет использован пар давлением не менее 0,4 МПа.

По результатам расчетов согласно предложенной методике [4], для наглядности полученных данных, был построен график зависимости паровой нагрузки от продолжительности стояния температуры окружающей среды (рис. 1).

Данный график (рис. 1) был аппроксимирован, в результате чего, были получены следующие полиномиальные зависимости:

$$y_1 = (5 \cdot 10^{-8}) \cdot x^2 - (0,0004) \cdot x + 2,3404,$$
$$y_2 = (9 \cdot 10^{-8}) \cdot x^2 - (0,0007) \cdot x + 2,3595.$$



**Рис. 1 - График зависимости паровой нагрузки от продолжительности стояния температуры окружающей среды**

Так как количество паровой нагрузки является площадью под графиком, данные зависимости были проинтегрированы и получены следующие данные: так для кривой, характеризующей работу ТЭЦ без АБТН, было получено 13113,4 МВт·ч (11277,6 Гкал), а для кривой, характеризующей работу ТЭЦ с АБТН, было получено 9841,6 МВт·ч (8463,8 Гкал) (рис. 1). Разница, отражающая экономию, является разность площадей под графиком и составляет: 3271,8 МВт·ч (2813,8 Гкал), что в переводе на тонны условного топлива составляет 467,1 т у.т.

Использование АБТН в схемах ТЭЦ позволяет экономить топливно-энергетические ресурсы, уменьшает количество вредных выбросов в окружающую среду, тем самым улучшая экологическую картину «умного города». При этом имеют место высокие технико-экономические показатели, обеспечивающие инвестиционную привлекательность такого проекта.

### Список использованных источников

1. Пахолкин, О. Умный город / О. Пахолкин, В. Шкленник // Вечерний Минск. – 2023. – 24 окт. – № 44. – С. 6–7.
2. Карнаух, В. В. Техническая термодинамика : учебник / В. В. Карнаух и др. – Москва; Вологда: Инфра-Инженерия, 2022. – 500 с.
3. Перехвал М. Б. Сравнение эксергетической эффективности абсорбционного и парокомпрессионного тепловых насосов / М. Б.

Перехвал, П. А. Перехвал; науч. рук. И. Л. Иокова // Бутаковские чтения : сборник статей II Всероссийской с международным участием молодёжной конференции / под ред. А.С. Заворина ; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2022. – С. 563-565.

4. Иокова, И. Л. Система теплоснабжения «умного дома» на базе централизованного теплоснабжения с утилизацией вторичных энергетических ресурсов при помощи теплового насоса / И. Л. Иокова, М. Б. Перехвал, И. Е. Мигуцкий // Энергетика – Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ. – 2023. – Т. 66.– № 5. – С. 451–460.

УДК 621.793:539.234:539.534.9

**В.В. Поплавский, О.Г. Бобрович, А.В. Дорожко, В.Г. Матыс**  
Белорусский государственный технологический университет  
Минск, Беларусь

**ФОРМИРОВАНИЕ АКТИВНОЙ ПОВЕРХНОСТИ  
ЭЛЕКТРОКАТАЛИЗАТОРОВ ОКИСЛЕНИЯ ЭТАНОЛА И  
МЕТАНОЛА С ПРИМЕНЕНИЕМ ИОННО-АССИСТИРУЕМОГО  
ОСАЖДЕНИЯ ПЛАТИНЫ И РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ МЕТАЛЛОВ  
НА УГЛЕРОДНЫЕ НОСИТЕЛИ**

*Аннотация.* Активные слои на поверхности носителей AVCarb<sup>®</sup> Carbon Fiber Paper P50 и Toray Carbon Fiber Paper TGP-H-060 T формировали ионно-ассистируемым осаждением платины и одного из редкоземельных металлов (Ce, Gd, Dy, Yb) с целью получения электрокатализаторов для топливных элементов прямого окисления этанола и метанола с полимерным мембранным электролитом.

**V.V. Poplavsky, O.G. Babrovich, A.V. Dorozhko, V.G. Matys**  
Belarusian State Technological University  
Minsk, Belarus

**FORMATION OF AN ACTIVE SURFACE  
OF ELECTROCATALYSTS FOR ETHANOL AND METHANOL  
OXIDATION WITH USE OF ION BEAM ASSISTED DEPOSITION  
OF PLATINUM AND RARE EARTH METALS ONTO CARBON  
CARRIERS**

***Abstract.** Active layers on the surface of AVCarb<sup>®</sup> Carbon Fiber Paper P50 and Toray Carbon Fiber Paper TGP-H-060 T carriers were formed by ion beam assisted deposition of platinum and one of the rare earth metals (Ce, Gd, Dy, Yb) in order to obtain electrocatalysts for direct ethanol and methanol fuel cells with a polymer electrolyte membrane.*

Электрохимическое окисление этанола и метанола лежит в основе принципа действия топливных элементов, в которых энергия, выделяемая при окислении топлива, преобразуется непосредственно в электрическую энергию. Такие источники тока отличаются высоким КПД, низкой токсичностью продуктов реакции, а также возможностью создания модульной конструкции для достижения большой мощности. Перспективными для широкого применения в стационарных установках небольшого размера, предназначенных для обеспечения резервного и автономного электропитания, являются низкотемпературные топливные элементы с полимерным мембранным электролитом. Преимущественно разрабатываются элементы, в которых в качестве топлива используется водород. Ведутся также исследования по созданию топливных элементов прямого окисления органических спиртов – метанола и этанола. Применение органических топлив вместо водорода позволяет снять проблему получения, очистки, хранения и распределения водорода, упростить систему подачи топлива.

Электрохимическое окисление топлива идет в присутствии катализатора. Для достижения активности электрокатализаторов в реакциях окисления этанола и метанола в состав каталитических слоев вводится платина и активирующие добавки, в т. ч. редкоземельные металлы, что обусловлено механизмом окисления топлива [1]. Многостадийный процесс окисления спиртов включает электрохимическую адсорбцию молекул спирта, их разложение путем последовательного дегидрирования в адсорбированном состоянии, образование адсорбированных молекул оксида углерода  $\text{CO}_{\text{ads}}$  и их последующее удаление при взаимодействии с хемосорбированными молекулами воды либо с группами  $\text{OH}_{\text{ads}}$ .

Предполагается, что разложение адсорбированных на электрокатализаторе молекул с образованием ионов водорода, электронов и адсорбированного  $\text{CO}_{\text{ads}}$  эффективно катализируется платиной. Но для окисления образующихся на промежуточной стадии и блокирующих поверхность адсорбированных молекул  $\text{CO}_{\text{ads}}$  до  $\text{CO}_2$  и их удаления с поверхности электрокатализатор должен обеспечивать также адсорбцию из раствора кислородсодержащих частиц, источником которых является вода. Поэтому катализатор электрохимического окисления метанола либо этанола наряду с платиной должен содержать

компонент, являющийся промотором активации воды. В качестве таких компонентов исследуются добавки различных металлов, в том числе композиции платины с редкоземельными металлами [2].

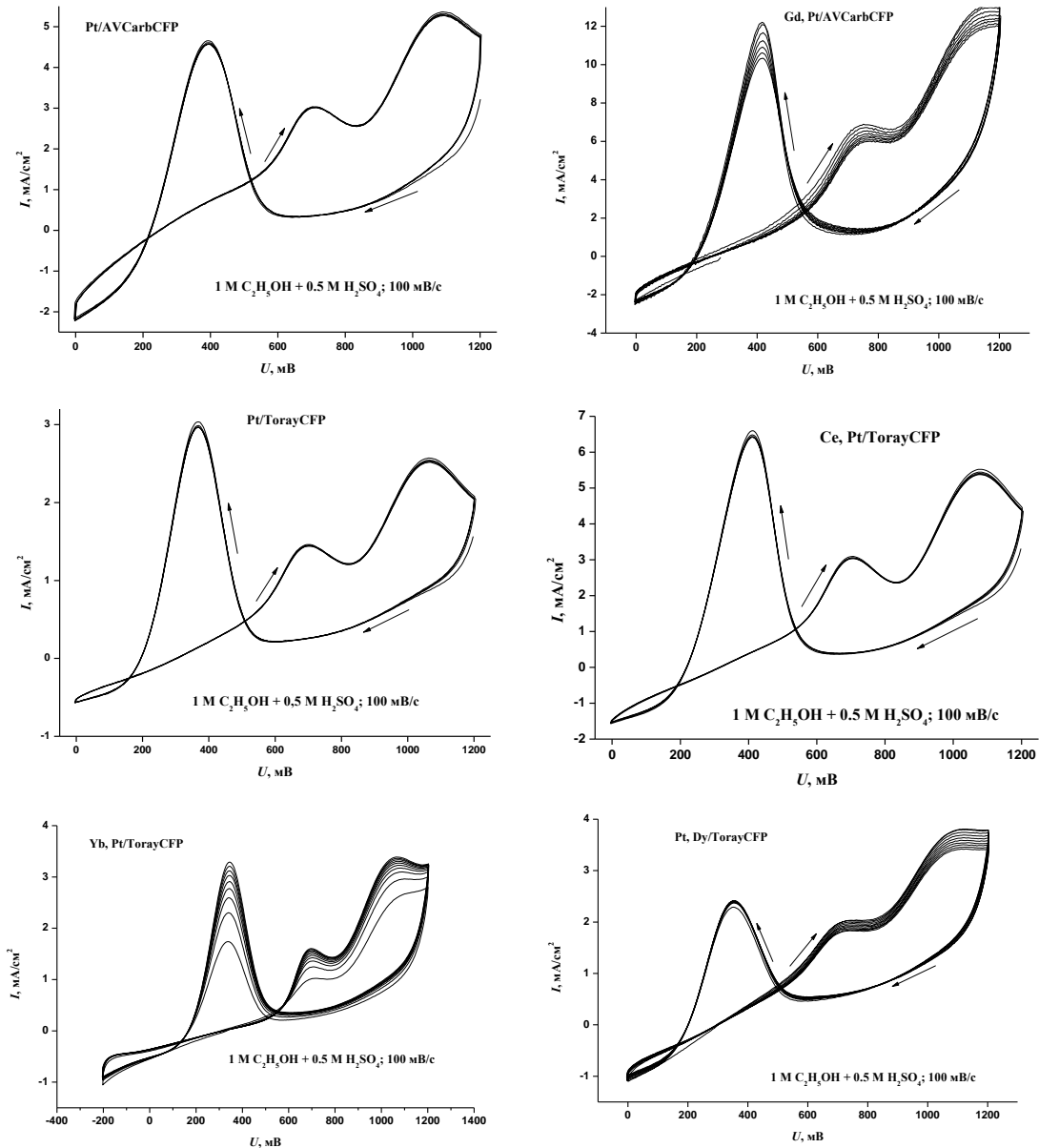
Сложность электрокаталитического процесса окисления этанола и метанола, а также высокая стоимость металлов платиновой группы выдвигают требования поиска новых методов формирования и оптимизации состава каталитических слоев, в том числе с использованием вакуумных методов нанесения металлов. В сравнении с традиционными многостадийными методами приготовления катализаторов (пропитка носителя растворами соединений каждого из осаждаемых металлов, их восстановление до металлического состояния, многократная отмывка от примесей, сушка) формирование активной поверхности электрокатализаторов посредством ионно-лучевой обработки позволяет получать каталитические слои в один–два приема и значительно сократить расход благородного металла.

Цель данной работы: исследование возможности формирования активной поверхности электрокатализаторов окисления этанола и метанола ионно-ассистируемым осаждением платины и одного из редкоземельных металлов в качестве активирующей добавки из плазмы импульсного дугового разряда на специальные углеродные носители, исследование свойств получаемых электрокатализаторов и состава формируемых поверхностных слоев.

В качестве носителей электрокатализаторов выбраны специальные углеродные материалы AVCarb<sup>®</sup> Carbon Fiber Paper P50 (AVCarbCFP) и Toray Carbon Fiber Paper TGP-H-060 T (TorayCFP), предназначенные для изготовления диффузионных слоев мембранно-электродных блоков низкотемпературных топливных элементов с полимерным мембранным электролитом.

Формирование каталитических слоев осуществлено путем поочередного ионно-ассистируемого осаждения платины и одного из редкоземельных металлов (Ce, Gd, Dy, Yb) в качестве способствующей повышению активности добавки. Отличительной особенностью режима осаждения является использование ионов осаждаемого металла, в качестве ассистирующих процессу осаждения. Осаждение металла и перемешивание осаждаемого слоя с атомами поверхности подложки ускоренными ионами того же металла осуществляются в экспериментальной установке соответственно из нейтральной фракции пара и плазмы вакуумного дугового разряда импульсного электродугового ионного источника. Ускорение ассистирующих ионов осуществлялось напряжением 5 кВ. В рабочей камере поддерживался вакуум  $\sim 10^{-2}$  Па.

Активность электрокатализаторов с полученными каталитическими слоями исследована в реакциях электрохимического окисления этанола и метанола. Измерения проведены методом циклической вольтамперометрии с применением потенциостата IPC-Pro M. Значения потенциала  $U$  рабочего электрода отсчитаны от Ag/AgCl электрода сравнения. Измерения проводили при 20 °C в растворах 1 М  $C_2H_5OH$  + 0,5 М  $H_2SO_4$  и 1 М  $CH_3OH$  + 0,5 М  $H_2SO_4$ .



**Рис. 1 - Циклические вольтамперограммы электрокатализаторов, сформированных ионно-ассистированным осаждением металлов на носители AVCarb® Carbon Fiber Paper P50 и Toray Carbon Fiber Paper TGP-H-060 T, полученные в растворе 1 М  $C_2H_5OH$  + 0,5 М  $H_2SO_4$**



Электрохимическое окисление этанола проявляется на вольтамперограммах (рис. 1) в виде специфических пиков тока при изменении потенциала электрода как в анодном, так и в катодном направлениях. На анодной части вольтамперограммы имеется пик тока, обусловленный многостадийным процессом окисления этанола, включающем электрохимическую адсорбцию, разложение молекул спирта и образование адсорбированных молекул оксида углерода  $\text{CO}_{\text{ads}}$ . Уменьшение тока при дальнейшем увеличении потенциала электрода объясняется снижением скорости электрохимической адсорбции молекул этанола вследствие блокирования поверхности электрокатализатора продуктами процессов электрохимической адсорбции.

При последующей развертке потенциала в катодном направлении на вольтамперограмме появляется достаточно интенсивный пик тока с максимумом при значении потенциала около 400 мВ, который обусловлен возобновлением процесса окисления этанола на восстановленной поверхности катализатора. Интенсивность пиков возрастает по мере циклирования, что обусловлено электрохимической активацией модифицированной поверхности. Причем введение в состав поверхности электрокатализаторов в дополнение к платине редкоземельных металлов чаще всего приводит к повышению плотности тока в пиках, что свидетельствует о положительном влиянии активирующей добавки.

Исследуемые электрокатализаторы проявляют активность и в реакции окисления метанола. Однако значения плотности тока в пиках окисления более простых молекул спирта значительно меньше, чем при окислении этанола, где требуется разрыв связи С–С.

Микроструктура и состав получаемых слоев исследованы методами сканирующей электронной микроскопии в сочетании с рентгеновским электронно-зондовым микроанализом, рентгеновского флуоресцентного анализа и спектрометрии резерфордского обратного рассеяния. Исследования показали, что в процессе ионно-ассистируемого осаждения металлов формируются многокомпонентные аморфные слои толщиной ~30 нм, в состав которых входят атомы осаждаемых металлов, материала подложки, а также примеси кислорода. Содержание атомов платины, а также каждого из осажденных редкоземельных металлов в формируемых слоях составляет примерно  $2 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-2}$  (менее 0,01 мг/см<sup>2</sup>) [3].

Таким образом, электрокатализаторы со слоями, сформированными ионно-ассистируемым осаждением платины и редкоземельных металлов в предложенном режиме, отличаясь очень низким

содержанием платины, проявляют активность в процессах окисления органических спиртов. Добавка редкоземельного металла способствует удалению адсорбированного СО, который блокирует поверхность и препятствует дальнейшему протеканию реакции. Отличительной особенностью получаемых электрокатализаторов является их более высокая активность в процессе окисления более сложных молекул этанола по сравнению с метанолом.

#### **Список использованных источников**

1. T. Iwasita // *Electrochimica Acta*. 2002. V. 47. P. 3663. doi:10.1016/s0013-4686(02)00336-5
2. D.M.F. Santos, J.R.B. Lourenço, D. Macciò, A. Saccone, C.A.C. Sequeira, J.L. Figueiredo // *Energies*. 2020, V. 13, P. 1658. doi:10.3390/en13071658
3. V.V. Poplavsky, A.V. Dorozhko, V.G. Matys // *J. Surf. Invest.: X-Ray, Synchrotron and Neutron Tech.* 2019. V. 13. P. 1314. doi: 10.1134/S102745101905032X

УДК 140.8

**А.А. Потоцкий**

Белорусский государственный технологический университет  
Минск, Беларусь

### **ФИЛОСОФСКИЕ АСПЕКТЫ ОСМЫСЛЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ**

*Аннотация.* В докладе проанализированы типы взаимодействия человека и природы, раскрывается роль новых мировоззренческих ориентаций в процессе преодоления негативных явлений в условиях нарастающего экологического кризиса.

**A.A. Pototski**

Belarusian State Technological University  
Minsk, Belarus

### **PHILOSOPHICAL ASPECTS OF UNDERSTANDING ECOLOGICAL PROBLEMS**

*Abstract.* The report analyzes the types of interaction between man and nature and reveals the role of new ideological orientations in the process of overcoming negative phenomena in the context of a growing environmental crisis.

Выявление взаимосвязи философии и экологии во многом предопределено необходимостью комплексного, всестороннего, сознательного регулирования человечеством своей деятельности в природной среде. Проблемы взаимодействия общества и природы органично входят в философскую область знания, преломляясь в ее структурных составляющих. Философия на протяжении всей своей истории отражала проблемы бытия человека, общества и природы, стремясь привести определенное состояние гармонии процессу их взаимодействия на основании духовного постижения человеком себя и мира природы.

Для классической философии неизменными на протяжении всего ее развития являются проблемы взаимодействия человека, общества и природы. Их единение виделось в духовном постижении человеком самого себя и природы, а также в духовной деятельности, направленной на ее преобразование. Еще со времен Ф. Бэкона природа рассматривалась исключительно как «мастерская человека», в которой он должен чувствовать себя хозяином и центром мироздания. Эти мировоззренческие доминанты складывались в культуре техногенной цивилизации еще на преиндустриальной стадии ее развития, в эпоху Ренессанса, а затем и европейского Просвещения. Человек понимался как активное существо, которое находится в деятельностном отношении к миру. Деятельность человека должна быть направлена вовне, на преобразование и изменение внешнего мира, в первую очередь, природы, которую человек должен подчинить себе. В свою очередь, внешний мир рассматривался как арена деятельности человека, как если бы мир и был предназначен для того, чтобы человек с его помощью получал необходимые для себя блага, удовлетворял свои потребности. Подобная мировоззренческая установка являлась важнейшей составляющей генетического кода, который определял духовные основания и механизм эволюции техногенного общества [1].

Сегодня многие философы источником экологических проблем и катаклизмов считают самого человека, его умение создавать и использовать технологии, которые могут стать разрушительными для биосферы. Так рассматривая источники возникновения современных рисков У. Бек пишет, что «риски порождаются индустриальными, то есть технико-экономическими решениями и соображениями полезности. Современные риски отличаются от разрушений, порожденных войной, их «нормальным» или, точнее, их «мирным» порождением в центрах рациональности и процветания, с благословения и при гарантиях закона и социального порядка» [2].

Человеку свойственно стремление к более высокому уровню комфортного существования, для чего он пытается обрести состояние защищенности. Однако природа, общество, явления окружающего мира и сам человек являются постоянными источниками рисков. Экологические риски начинают оказывать все большее влияние на дальнейшее развитие современной цивилизации, в связи с чем особую актуальность приобретает проблема экологической безопасности.

Ситуация, сложившаяся в современном обществе, превращает его само в гигантскую лабораторию по испытанию новой техники. С внедрением во все области нашей социальной жизни высоких технологий не только достигнута небывалая величина их пользы, но и возможного ущерба от них. Именно это обстоятельство стало отличительной чертой техносферы – высокий потенциал катастрофических возможностей для человечества. Как следствие – все большее сомнение в том, что наука и техника, да и общество в целом способны преодолеть негативные последствия от их внедрения.

Вместе с тем, очевидным становится факт, согласно которому обеспечение безопасности человечества становится важнее, чем продолжающийся технический прогресс. Центральным направлением становится не дальнейшее увеличение производства, а преобразование с учетом экологических последствий его осуществления.

Современная философия отмечает неудержимую тягу человечества к обогащению за счет природы и мещанское отношение к ней с позиции собственника, «царя природы». Подобные поведенческие стереотипы в настоящее время выглядят не только архаичными, но и несущими потенциальную угрозу. Философия позволяет сформулировать экологические проблемы, более глубоко, всесторонне их осмыслить и выработать наилучшую экологическую стратегию. Она требует не только перестройки общества, производства, но и экологического образования, формирования новой морали и экологического сознания.

Сегодня проявились новые задачи, стоящие перед философией: духовное осмысление проблем взаимодействия человека, общества и природы и выявление конкретных способов их решения. Основная из них – понимание модели дальнейшего устройства социума как экологоинформационной культуры, способной находиться в гармоничных отношениях с естественной средой. Это, вне сомнения, главная, стратегическая задача на будущее, стоящая перед философской мыслью. Другая принципиальная задача – формирование коэволюционной стратегии общественного развития, переориентация

общества с иждивенческого отношения к природе на отношения, когда и общество, и природа развиваются как гармоничное целое [3].

На современном этапе развития общества необходим не отказ от вмешательства в природные процессы, а изменение вектора такого вмешательства. Сегодня силы природы настолько подорваны бесконтрольным развитием социоприродных процессов, что природа одна не в состоянии справиться с ее внутренними проблемами. Альтернативой стихийному, плохо организованному существованию человечества, не осознавшему себя как нечто целое, саморегулирующееся и единое с природой, является управляемое развитие, основанное на объективных законах природы и общества.

### **Список использованных источников**

1. Белл Д., Иноземцев В.Л. Эпоха разобщенности. Размышления о мире XXI века. М.: Центр исследований постиндустриального общества, 2007. 304 с.
2. Бек У. Общество риска. На пути к другому модерну. М.: Прогресс-Традиция, 2000. 383 с.
3. Степин В.С. Эпоха перемен и сценарии будущего. М.: ИФРАН, 1996. 174 с.

УДК 621.31

**Ф.М. Рахимов, Ш.А. Бобозода**

Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими  
Душанбе, Таджикистан

## **О ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ В ЛОКАЛЬНЫХ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ**

***Аннотация.** Предложены схемы решения локальной электроэнергетической системы, включающей в себя фотоэлектрические панели, ветроэнергетическую установку и био-газогенератор. Рассматриваемая схема отличается тем, что для снижения зависимости от привозного топлива в системах электроснабжения удаленных потребителей, а также для снижения негативных воздействия на окружающую среду, предлагается местная переработка биоотходов.*

***Ключевые слова:** локальные электроэнергетические системы, возобновляемые источники энергии, энергетические установки, блок управления,*

*ветроэнергетические установки, фотоэлектрические панели, био-газогенератор, мощность.*

**F.M. Rahimov, Sh.A. Bobozoda**

Tajik Technical University named after academician M.S. Osimi

Dushanbe, Republic of Tajikistan

## **ABOUT THE POSSIBILITY OF USING RENEWABLE ENERGY SOURCES IN LOCAL ELECTRIC POWER SYSTEMS**

***Abstract.** A circuit solution for a local electric power system is proposed, which includes photovoltaic panels, a wind power plant and a bio-gas generator. The scheme under consideration differs in that in order to reduce dependence on imported fuel in power supply systems for remote consumers, as well as to reduce the negative impact on the environment, local processing of biowaste is proposed.*

***Key words:** local electric power systems, renewable energy sources, power plants, control unit, wind power plants, photovoltaic panels, bio-gas generator, power.*

### **ВВЕДЕНИЕ**

Энергетические установки (ЭУ), использующие энергию возобновляемых источников энергии (ВИЭ), находят все более широкое распространение, как в промышленных масштабах, так и в частном секторе (последнее в качестве автономных источников). На сегодняшний день в этом направлении достигнуты определенные успехи: работают солнечные, ветровые и геотермальные электростанции, из отходов вырабатывается биогаз, из биомассы получают моторное топливо и т.д. [1 – 4].

Решению задач повышения эффективности локальных электроэнергетических систем (ЛЭЭС) посвящено много научных работ [3 – 5]. Под локальной электроэнергетической системой в настоящее время понимается система электроснабжения отдельных объектов или населенных пунктов, содержащих автономные энергоисточники комбинированного типа с ограничением по протяженности распределительной сети.

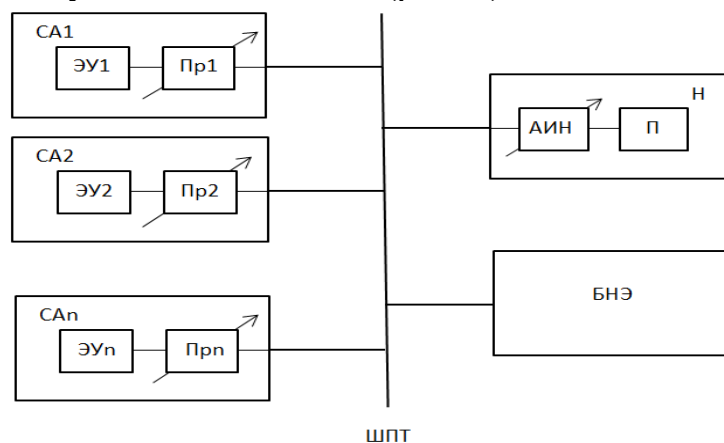
В настоящее время известны различные схемные решения комбинированного использования ЭУ на базе возобновляемых источников энергии. Анализ литературы [3-5] позволил сделать вывод, что энергобаланс локальной электроэнергетической системы во многом зависит от соотношения графика электрических нагрузок системы электроснабжения и изменения потенциала ВИЭ. Данные обстоятельства вызывают необходимость согласования ВИЭ с потребителем, что включает в себя следующее задачи:

- обеспечение наиболее эффективного использования энергоисточников;
- подключение накопителей энергии для согласования процесса выработки и потребления энергии (т.е. балансовой надежности);
- управление режимами работы ЭУ;
- регулирование параметров генерируемой электроэнергии.

С целью определения наиболее эффективного использования энергоисточников [4] предлагается три варианта схемы решения энергоустановок: система со сбросом излишков энергии; система с накопителями энергии; система с регулированием нагрузки. Эти системы при заданных условиях могут обеспечивать эффективность преобразования первичных ресурсов, при этом не нарушая надежность и качество электроснабжения.

Целью данной работы является рассмотрение схемы решений локальной электроэнергетической системы на базе ВИЭ для бесперебойного электроснабжения удаленного потребителя. Путем комбинированного использования ветроэнергетических установок (ВЭУ), фотоэлектрических панелей (ФЭП) и био-газогенератора в качестве резервного источника. Весь процесс работы ЭУ полностью автоматизирован.

Варианты построения схемы гибридной электростанции, использующей ВИЭ, условно можно разделить на три типа: схема с шиной переменного тока, с шиной постоянного тока и комбинированная схема, состоящая из шин постоянного и переменного тока. Наиболее широкое применение получили схемы подключения источников на шину постоянного тока (рис. 1).



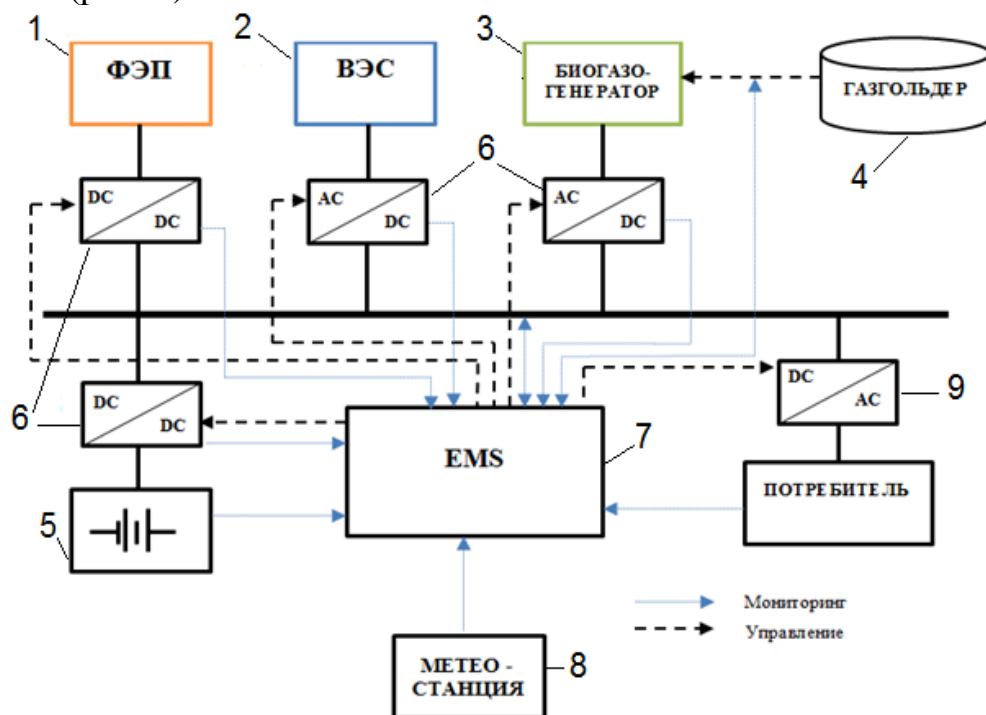
*CA<sub>1</sub>, CA<sub>2</sub> и CA<sub>n</sub> – силовые агрегаты, ЭУ<sub>1</sub>, ЭУ<sub>2</sub> и ЭУ<sub>n</sub> – энергетические установки, Пр<sub>1</sub>, Пр<sub>2</sub> и Пр<sub>n</sub> – управляемые статические преобразователи, Н – нагрузка, П – потребитель, АИН – автономный инвертор напряжения, БНЭ – буферный накопитель энергии, ШПТ – шина постоянного тока.*

**Рис. 1 - Структурная схема системы автономного электроснабжения со вставкой постоянного тока**

В данной схеме не требуется согласовывать режимы работы ВЭУ, ФЭП и ДЭС между собой, что позволяет управлять этими агрегатами, исходя из требуемых критериев оптимальности. В рассматриваемой схеме потребители подключены посредством общего автономного инвертора, что значительно упрощает схемы преобразователей для подключения ЭУ.

Важным достоинством данной схемы является то, что для каждого отдельного силового агрегата используется отдельный преобразователь. Наличие блока управления, задающего управляющие сигналы, обеспечивает режим отбора максимальной мощности с установок возобновляемой энергетики.

В лаборатории ТГУ была разработана энергосистема, задачей которой является комбинированное использование ФЭП, ВЭУ, а в качестве резервного источника выбрана био-газогенераторная установка для электроснабжения локального потребителя заданной мощности (рис. 2).



**Рис. 2 - Схема локальной электроэнергетической системы**

Схема локальной системы электроснабжения включает в себя ФЭП – фотоэлектрические панели – 1, ВЭС – ветровую электрическую станцию – 2, био-газогенератор – 3 с газгольдером – 4, аккумуляторные батареи – 5, служащих для накопления избыточной энергии, преобразователи – 6, инвертор – 9 (рис. 2). Вся схема управляется блоком контроллера EMS (Energy Management System) – 7, который имеет двухстороннюю связь со всеми источниками, а также к нему



подключена метеостанция – 8 для мониторинга солнечного излучения, температуры, скорости и направления ветра.

Блок контроллера EMS имеет функцию обработки метеоданных и прогнозирования выработки электроэнергии от источников возобновляемой энергии. При сравнении полученного прогноза с предполагаемым графиком нагрузки потребителя задается алгоритм режима работы всех энергоустановок ЛЭЭС.

Алгоритм управления ЛЭЭС на базе ВИЭ предусматривает выполнение следующих функций:

- обеспечение стабильности электроснабжения потребителей и качество напряжения (оптимальное использование накопителей в кратковременных динамических режимах);
- обеспечение пределов динамической и статической устойчивости сети с помощью новейших микропроцессорных устройств и программных продуктов;
- ограничение режима эксплуатации АБ предельным уровнем;
- преобразование электроэнергии постоянного тока в переменный ток заданного качества и передача потребителям;
- обеспечение процесса брожения биомассы и накопление биогаза;
- мониторинг первичных ресурсов и прогнозирование гарантированной мощности, выдаваемой энергоустановками.

Применение генераторных установок на биотопливе является альтернативным вариантом, снижении зависимости от привозного топлива.

Газгольдер, являющийся неотъемлемой частью био - газогенератора, обеспечивает возможность накапливать производимый газ в достаточном для использования количестве, а также производить его очистку и создавать необходимое для эксплуатации давление в автономной сети [15, 16]. Выбор объёма газгольдера в первую очередь зависит от вида потребителей: индивидуальный, коллективный, сетевой (при наличии крупных фермерских хозяйств или поселений городского типа).

В связи с включением в состав ЛЭЭС био-газогенератора и системы переработки биомассы функциональные задачи блока управления расширяются. Для достижения максимальной энергетической эффективности ЛЭЭС алгоритм управления режимами, блоком контроллера EMS должен реализовывать следующие дополнительные функции:

1. Максимальное полезное использование энергии, вырабатываемой ВЭУ и ФЭП;
2. Контроль процесса брожения биомассы в «биореакторе» и за температурными режимами в нем;
3. Недопущение понижения или повышения давления газа на газгольдере.

Выполнение этих условий обеспечивает максимальное замещение энергии, вырабатываемой био-газогенератором, энергией ВЭУ и ФЭП, а, следовательно, и максимальную экономию топлива. Максимальное получение использования энергии достигается рациональным выбором установленных мощностей ВЭУ, ФЭП и АБ с учетом ветрового, солнечного режима и характера нагрузки.

### **ВЫВОДЫ**

На данный момент в предлагаемом сочетании энергоисточников разработка локальной электроэнергетической системы представляет актуальную научно-техническую задачу, исследование которой предстоит провести.

В отличие от оптового рынка электроэнергии, где новые стройки окупаются за счет повышения платы за мощность, для локальных энергокомплексов на базе ВИЭ достаточно зафиксировать действующий тариф дизельной генерации на 10-15 лет (в некоторых случаях 7-10 лет). Таким образом, гарантирован возврат средств за счет экономии на топливе.

Внедрение биоэнергетической установки в состав комбинированной ЛЭЭС решает не только задачи независимости энергообеспечения от привозного топлива, но и вопросы охраны окружающей среды, снижения выбросов в атмосферу и местной переработки отходов, что снижает темпы образования новых полигонов.

### **Список использованных источников**

1. Безруких, П.П. Возобновляемая энергетика: стратегия, ресурсы, технологии / П.П. Безруких, Д.С. Стребков – М.: ГНУ ВИЭСХ, 2005. – 264 с.
2. Таскин, А.В. К вопросу создания локальных энергетических установок на базе возобновляемых источников энергии / А.В. Таскин, Ф.М. Рахимов и др. // «Современные технологии и развитие политехнического образования» [Электронный ресурс]: международная научная конференция, ДВФУ,- Владивосток, 2016. с. 391-393

3. Лукутин Б.В., Суржикова О.А., Шандарова Е.Б. Возобновляемая энергетика в децентрализованном электроснабжении // М.: Энергоатомиздат. – 2008. – 231 с.

4. Силин, Н.В. Вопросы комплексного использования возобновляемых источников энергии на локальных объектах / Н.В. Силин, Ф.М. Рахимов // Наука, техника, промышленное производство: история, современное состояние, перспективы [Электронный ресурс] : мат-лы региональной науч.-практич. конф. молодых ученых, Владивосток, 14–16 декабря 2016 г. – С. 77-81.

5. Обухов, С.Г., Плотников, И.А. Сравнительный анализ схем автономных электростанций, использующих установки возобновляемой энергетика // Промышленная энергетика. – 2012. – №. 7. – С. 46-51.

УДК 614.7

**Е.В. Россоха, М.Т. Насковец, А.М. Французова**  
Белорусский государственный технологический университет  
Минск, Беларусь

### **КАЛЬКУЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ УСТРОЙСТВА И СОДЕРЖАНИЯ ПОДЪЕЗДНЫХ ПУТЕЙ К ЛЕСОХОЗЯЙСТВЕННЫМ ДОРОГАМ**

*Аннотация.* Для реализации лесохозяйственных мероприятий необходимо устраивать подъездные пути к лесохозяйственным дорогам. Авторы предлагают рекомендации по калькулированию затрат, учитывающие проблематику в этой сфере и действующую практику лесхозов

**Y.V. Rassokha, M.T. Naskovets, A.M. Frantsuzova**  
Belarusian State Technological University  
Minsk, Belarus

### **CALCULATION OF THE PROCESSES OF CONSTRUCTION AND MAINTENANCE OF ACCESS ROADS TO FORESTRY ROADS**

*Abstract.* In order to implement forestry measures, it is necessary to arrange access roads to forestry roads. The authors offer recommendations on cost calculation, taking into account the problems in this area and the current practice of forestry.

Одной из проблем лесозаготовительной деятельности является доступности древесины, что определяется, в том числе процессами устройства и содержания подъездных путей к лесохозяйственным дорогам. Основой эффективности указанных процессов является понимание 3-х ключевых детерминант:

1. *Обоснования необходимости устройства и содержания подъездных путей (далее – ПП).* Анализ показал, что необходимость инициирования работ по устройству (или содержанию) ПП появляется при освоении лесосеки и реализации других лесохозяйственных мероприятий. Таким образом, впоследствии при формировании работ и калькулировании затрат лесхоз имеет возможность связывать их с конкретными лесохозяйственными мероприятиями.

2. *Применения единых принципов формирования работ и калькулировании затрат по устройству и содержанию ПП,* включающие: единообразие процессов формирования работ и калькулирования затрат по устройству и содержанию ПП; типизация работ по устройству и содержанию ПП в соответствии с применяемыми конструкциями; обоснованность стоимости работ при калькулировании затрат; единообразие учета скалькулированных затрат в себестоимости реализации лесохозяйственных мероприятий.

3. Разработка и реализация документов, необходимых для реализации устройства и содержания ПП. В частности, «Рекомендации по калькулированию и учету фактических затрат по устройству и содержанию ПП», «Требования по наполнению Банка данных ПП» и др.

В настоящем исследовании авторами были выявлены следующие особенности практикоприменения процессов устройства и содержания ПП:

1. Лесхозы используют 2 способа реализации работ по устройству/содержанию подъездных путей. Первый – включает выполнение всех работ полностью «своими силами». Второй – предполагает частично (или полностью) привлечение подрядной организации (как правило, локальной).

2. Лесхозы производят свод и учет затрат на основании документов, подтверждающих выполнение работ и стоимость фактически понесенных затрат. Например, подтверждающими документами могут быть «Акты выполненных работ», «Акты сдачи-приема работ», «Путевые листы», «Справки о стоимости ресурсов (материалов)», «Справки о стоимости выполненных работ», «Утвержденные нормы выработки и расценки перевозку грузов», «Ведомости объемов работ и расхода ресурсов» и др.

3. Сводная и объектная сметы работ по устройству/содержанию подъездного пути, как правило, не составляются. Определение стоимости затрат ведется по их фактическому расходованию, а учет затрат ведется на основании «Типового плана счетов бухгалтерского учета», адаптированного под специфику лесхозов.

4. Подъездные пути к лесохозяйственным дорогам, как правило, используются для проведения лесохозяйственных мероприятий в лесном фонде.

5. Процессы, реализуемые при устройстве/содержании подъездного пути, включают: осмотр специалистом лесхоза подъездного пути или траектории (места) ее устройства; принятие решения о способе выполнения работ; оформление Приказа о выполнении работ; свод фактических затрат о стоимости выполненных работ и израсходованных ресурсов; учет фактически понесенных затрат на основании подтверждающих документов.

Таким образом, нами предлагается следующая структура и содержание «Рекомендаций по калькулированию и учету затрат на выполнение работ по устройству и содержанию подъездных путей к лесохозяйственным дорогам»:

1. *«Общие положения»* содержат информацию о статусе документа, направлениях и цели их использования.

2. *«Номенклатура и объемы работ»* определяют исполнителей и источники информации (в том числе банки данных ПП) для принятия решений по планированию перечня и объемов работ.

3. *«Расчет стоимости работ и ресурсов»* включает требования к источникам информации и процессам по формированию стоимости работ и ресурсов как самим лесхозом, так и с привлечением подрядной организации.

4. *«Оформление документации по стоимости затрат»* определяет требования к составу и содержанию документации при калькулировании затрат. Так, в состав документации по определению стоимости работ целесообразно включать: ведомости фактических объемов работ и расхода ресурсов; документы, подтверждающие стоимость понесенных затрат; локальная смета; объектная смета для банка данных подъездных путей; сводная смета по видам работ (при необходимости); пояснительная записка; приказ на проведение работ по устройству и содержанию подъездного пути. Состав пояснительной записки предусматривает отражение следующих сведений: основание для разработки документации по определению стоимости работ; наименования заказчика и исполнителя (при подрядном способе); сведения об осмотре специалистом лесхоза подъездного пути или

траектории (места) ее устройства; расчетный период определения стоимости работ; наименование объекта устройства/содержания, местонахождение; общие сведения об объекте содержания (из Банка данных); сведения об организационно-технологических особенностях устройства/содержания объекта, учтенных при определении стоимости; другие значимые сведения о порядке определения стоимости устройства/содержания объекта; источники информации о стоимости ресурсов; перечень нормативно-методических документов, использованных при разработке документации.

5. «Учет фактической стоимости затрат» в себестоимости осуществляется в соответствии с практикой лесхоза по калькулированию затрат (составления калькуляций затрат по видам продукции, лесохозяйственным мероприятиям и видам работ).

УДК 674.048

**Д.С. Русаков, А.Г. Серебренников, И.В. Олексюк, Г.С. Варанкина**

Санкт-Петербургский государственный  
лесотехнический университет имени С.М. Кирова  
Санкт-Петербург, Россия

## **КОМПЛЕКСНОЕ И РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РЕСУРСОВ В ПРОИЗВОДСТВЕ ФАНЕРЫ**

*Аннотация.* Технологии, внедряемые в лесопромышленном комплексе, позволяют, в частности, повысить качество фанерной продукции, а также улучшить ее экологические свойства. За последние несколько лет российские фанерные компании разработали и внедрили множество новейших технологий, о которых пойдет речь в статье.

**D.S. Rusakov, A.I.G. Serebrennikov, I.V. Oleksyuk, G.S. Varankina**

St. Petersburg State Forestry University  
St. Petersburg, Russia

## **COMPLEX AND RATIONAL USE OF RESOURCES IN PLYWOOD PRODUCTION**

*Abstract.* Technologies being introduced in the timber industry make it possible, in particular, to improve the quality of plywood products, as well as improve their environmental properties. Over the past few years, Russian plywood companies have

*developed and implemented many new technologies, which will be discussed in the article.*

Любая отрасль промышленности будет динамично развиваться и будет конкурентоспособной только в том случае, если будет внедрять новые технологии [1]. Деревообработка – это одна из тех сфер, где крайне важна постоянная нацеленность на повышение рационального использования сырья, уменьшение токсичности продукции [2]. Многие российские производители фанерной продукции пытаются решить эти проблемы [3]. В частности, на комбинате «СВЕЗА Кострома» установлены линии ребросклеивания шпона и бесшпindleльные линии лущения, усовершенствована система загрузки горячих прессов на участке выпуска большеформатной фанеры, модернизированы сушильные установки (для сушки шпона). Внедрено электронное управление производством SAP ERP. Все это привело к наращиванию годовой производительности комбината на 2%. На комбинате «СВЕЗА Мантурово» поставили эксперимент по склеиванию «соевой фанеры» толщиной 12 мм, так, при производстве «соевой фанеры» используется клей на основе соевой муки, что позволяет отнести конечный продукт к экологически чистому [4].

На первый взгляд идеи могут показаться незначительными, но за каждым реализованным проектом стоят аналитические расчеты, оценка экономической эффективности, проведенные лабораторные исследования.

На Вятском фанерном заводе была установлена новая линия ребросклеивания шпона – производства компании Hashimoto denki Co. Ltd. Новая линия позволяет предприятию снизить удельный расход древесного сырья. Теперь в производство фанеры направляется больший процент кускового шпона за счет применения современных технологий его ребросклеивания в полноформатный лист [4].

В академической среде также активно изучаются многие из вышеобозначенных вопросов, ведь невозможно развитие отрасли без новых научных открытий.

Так, команда учёных пермского Политеха разработала новый способ производства фанеры с помощью клея на основе полиэтилена и его сополимеров, поскольку достаточно длительное время были попытки внедрить дешёвые экологичные полимерные материалы, к тому же обладающие способностью использоваться вторично, например, полиэтилен. Введение в него различных добавок позволяет модифицировать клеящий полимер. При этом в нём появляются активные группы веществ, позволяющие повысить качество сцепления слоёв и, следовательно, прочность готовой фанеры [5]. Плёночный

клей, который предложили применять учёные, состоит из нескольких слоёв. Каждый из них обладает разными физико-химическими свойствами: какие-то слои отвечают за сцепление с древесиной (процессы адгезии), в то время как другие обеспечивают прочность самого клеящего состава (процессы когезии). Добавляя в такой клей дополнительные вещества, можно изменять свойства конечного продукта – фанеры. Процесс прессования будет происходить без изменения технологических режимов формования.

На базе Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета проведены экспериментальные исследования в области производства композиционной фанеры на основе модифицированных фенолоформальдегидных смол. В эксперименте использовали луцный березовый шпон толщиной 1,5 мм, влажностью  $6\pm 2\%$ , шероховатостью поверхности 200 мкм, склеивали композиционную фанеру различных толщин [центральный слой – отходы (обрезки фанеры) и некондиционные древесные материалы]; фенолоформальдегидный клей на основе – фенолоформальдегидной смолы марки СФЖ-3014 с добавлением отходов сталеплавильных производств – шлаков. Склеивание производилось на лабораторном прессе, давление прессования 1,65 МПа, температура плит пресса 120 °С. Эксперименты показали (таблица 1), что при введении шлаков в фенолоформальдегидную смолу, происходит значительное увеличение прочности клеевого соединения (по сравнению с ГОСТ).

**Таблица 1 - Рецептура, физико-химические показатели клея, физико-механические показатели композиционной фанеры**

Компоненты клея, мас. ч.	Количество, мас. ч.	Вязкость, с	Расход клея, г/м <sup>2</sup>	Упрессовка фанеры, %	Предел прочности фанеры при статическом изгибе вдоль волокон наружных слоев, МПа	Предел прочности при скалывании по клеевому слою, после кипячения в воде в течение 1 часа, МПа
Композиционная фанера с внутренним (центральным) слоем из обрезков фанеры						
Смола СФЖ-3014	190	90	160	5,09	79	2,03
Шлак	10					
Композиционная фанера с внутренним (центральным) слоем из березовых брусков						



(длина × ширина × толщина; 400×12×12 мм)						
Смола СФЖ-3014	190	90	180	25,1	81	2,54
Шлак	10					

Фанера композиционного типа – эффективное решение в рамках комплексного использования древесных ресурсов деревообрабатывающих предприятий. При ее производстве квалифицированно используются отходы нескольких отраслей: деревообрабатывающей и сталеплавильной. Физико-химические свойства фенольных смол, модифицированных шлаками, соответствуют стандартам, а физико-механические показатели композиционной фанеры существенно превышают прочность фанеры, склеенной фенолоформальдегидной смолой марки СФЖ-3014.

Данные примеры показывают заинтересованность ученых в решении вопросов по снижению токсичности, повышению физико-механических свойств фанерной продукции, а также рациональному использованию древесного сырья.

Главным выводом станет четкое понимание того, что промышленные производства и научные школы активно ищут ответы на вызовы, с которыми они сталкиваются в ходе своей деятельности. Их гармоничное взаимодействие помогает экономике динамично развиваться и решать различного рода задачи. Первостепенной задачей можно считать повышение экологичности производства фанерной продукции, так как именно она определяет курс развития фанерных производств.

### **Список использованных источников**

1. Варанкина Г.С., Русаков Д.С., Иванова А.В., Иванов А.М. Снижение токсичности древесных клееных материалов на основе модифицированных лигносульфонатами карбамидоформальдегидных смол. Научный периодический журнал Братского государственного университета. 3 (31). Системы. Методы. Технологии. Братск, БрГУ, 2016, - с. 154-160.
2. Русаков Д.С. Применение побочных продуктов сульфатно-целлюлозного производства для склеивания фанеры. В сборнике: Леса России: политика, промышленность, наука, образование. Материалы Второй международной научно-технической конференции. Санкт-Петербург, 2017. С. 117-120.
3. Соколова Е.Г. Влияние модификатора в составе клеевых композиций на свойства готовой продукции / Материалы XXVIII международной научно-практической конференции.

Фундаментальные и прикладные науки сегодня 18-19 апреля 2022 г. Bengaluru, Karnataka, India С. 159-164.

4. Новые технологии на фанерном производстве России // [Электронный ресурс] – URL: <https://www.lesonline.ru/n/59AE6> (дата обращения: 6.11.2023).

5. Экологичный клей для изготовления фанеры // [Электронный ресурс] – URL: <https://pstu.ru/news/2023/01/12/13625/?ysclid=lon93wsbd1224192228> (дата обращения: 6.11.2023).

УДК 502

**И.О. Савельев, Д.В. Кукис, Е.М. Тимофеев**  
НИУ «МЭИ»  
Москва, Россия

## **ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ**

*Аннотация.* В статье приведен анализ ситуации в электроэнергетическом комплексе, который позволяет выделить два ключевых направления: энергетический переход и достижение углеродной нейтральности. Эти изменения соответствуют глобальным принципам устойчивого развития и учитывают как текущие решения, так и планирование развития электроэнергетического комплекса.

**I.O. Savelyev, D.V. Kukis, E.M. Timofeev**  
National Research University «Moscow  
Power Engineering Institute»  
Moskov, Russia

## **PROBLEMS AND PROSPECTS FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT IN THE ELECTRIC POWER INDUSTRY**

*Abstract.* The article analyzes the situation in the electric power complex, which allows us to identify two key directions: energy transition and achieving carbon neutrality. These changes are in line with the global principles of sustainable development and take into account both current decisions and planning for the development of the electric power complex.

Современная энергетика стоит перед множеством вызовов, в том числе, обусловленных обеспечением долгосрочного экологического и экономического благополучия общества в целом. Поэтому вслед за всеобщими тенденциям в электроэнергетической сфере возрастает актуальность вопросов, связанных со снижением воздействия на окружающую среду как результата деятельности электроэнергетического комплекса. Глобальные тренды, формирующиеся в энергетической сфере, такие как переход к возобновляемым источникам энергии, достижение энергетической эффективности, цифровизация и внедрение умных сетей, децентрализация и переход к распределенным и гибридным энергосистемам, а также экологическая устойчивость и энергетическая безопасность, обусловлены потребностью в новых решениях, позволяющих ориентировать энергокомпании на достижение целей устойчивого развития. [1]

Все вышесказанное позволяет говорить о необходимости выявления проблем и перспектив устойчивого развития электроэнергетической отрасли в Российской Федерации, как условия поиска конструктивных решений в сложившейся ситуации.

Анализ современного состояния электроэнергетической отрасли в Российской Федерации позволяет выделить два основных вектора ее развития:

- энергетический переход, подразумевающий в первую очередь технологические изменения в отрасли и обеспечивающийся посредством цифровизации и внедрения умных сетей [2];

- достижение углеродной нейтральности.

Первый вектор обусловлен изменением технологических подходов к производству и переходом к информационному обществу, основой которого выступают цифровые технологии и интеллектуальные системы управления знаниями.

Основные принципы энергетического перехода включают в себя персонализацию, интеллектуализацию производства и потребления энергии, а ключевыми положениями выступают концепции 3-Д (Декарбонизация, Децентрализация, Диджитализация) и 3-С (Со-обеспечение, Со-организация, Со-развитие) [2]. Повышенная активность потребителей, стремительное развитие техники и технологий, являясь катализаторами энергетического перехода, обуславливают трансформацию отдельных систем электроэнергетического комплекса, применение инновационных технологий, создание децентрализованных структур. Интеграция технологических систем в электроэнергетике сегодня приводит к

значительным изменениям, включая развитие распределенной генерации энергии и создание централизованно-распределенных систем, что увеличивает роль распределительных электросетей и требует более пристального внимания к их развитию.

Распределенные источники генерации энергии существенно меняют структуру и принципы работы энергосистем. Вместо традиционной однонаправленной системы, включающей источник, сеть и потребителя, становится возможным переход к полинаправленной системе, где энергия передается от системы к потребителю и обратно. Это приводит к изменению архитектуры распределительных электросетей, придавая им сходные черты с крупными системами и требует новых методов управления их развитием и функционированием.

Внедрение цифровых технологий и интеллектуализации энергетических систем, включая применение интеллектуального прогнозирования и управления, позволяет повышать эффективность планирования и снижает дефицит мощности. [5] Этот трэк ориентирован в первую очередь на технологические изменения.

Второй вектор связан с достижением углеродной нейтральности экономики и энергетики. Он непосредственно связан с отказом от использования углеводородных источников энергии для снижения выбросов углекислого газа [1] и базируется на сокращении парниковых выбросов, использовании возобновляемых источников энергии, разумном производстве и потреблении.

Однако, не смотря на достаточно позитивные тенденции, развитие электроэнергетической отрасли сопряжено с рядом проблем:

- обеспечение кибербезопасности как следствие масштабного применения цифровых технологий, что создает угрозу для надежности и безопасности электроснабжения;

- интеграция и совместимость цифровых решений с разнородными системами и аппаратами, входящими в состав электроэнергетических комплексов;

- обеспечение надежности и устойчивости цифровых систем в сложных климатических, экономических и внешнеполитических условиях;

- обеспечение стабильности и постоянства производства энергии на основе использования возобновляемых источников;

- необходимость адаптации электросетевого комплекса к современным экологическим нормам и требованиям углеродной нейтральности;

— разработка методов эффективного накопления и сохранения энергии.

Основываясь на вышесказанном, можно выделить следующие перспективы развития электроэнергетического комплекса в России:

— для обеспечения надежности и безопасности электроснабжения в условиях цифровой трансформации, необходимо сосредоточить усилия на развитии кибербезопасности. В том числе в ключе кадрового обеспечения. Специалисты в области кибербезопасности становятся ключевым звеном в электроэнергетическом комплексе будущего. Их знания и навыки должны быть на высшем уровне, чтобы обеспечить эффективную защиту от кибератак. Помимо кадрового вопроса также нельзя забывать и про разработку и внедрение единых стандартов безопасности для компонентов и систем электроэнергетического комплекса. Это позволит создать единый уровень защиты и уменьшить риски;

— внедрение Smart Grid и Smart Meters [5] позволяет улучшить управление сетью и повысить прозрачность для потребителей. Смарт-сети дают возможность более точного учета энергопотребления, управления традиционными и возобновляемыми источниками энергии. Они активно внедряются, прежде всего, в распределительные сети. Хотя в России существуют положительные примеры внедрения подобных технологий, в целом этот процесс только начинает развиваться;

— развитие новых технологий, таких как блокчейн и искусственный интеллект, предоставляет дополнительные инструменты для создания гибких и совместимых систем управления электроэнергетическим комплексом. Однако, для успешной интеграции цифровых технологий необходимо разработать универсальные протоколы и стандарты, позволяющие различным устройствам и системам взаимодействовать между собой. Это откроет новые возможности для автоматизации и оптимизации процессов в электроэнергетическом комплексе;

— разработка и внедрение технологий, способных противостоять неблагоприятным погодным условиям, становятся критически важными шагами. Развивать новые технологии необходимо с учетом мирового опыта и в условиях международного сотрудничества, не забывая и про разработку стратегий диверсификации и обеспечения независимости в снабжении энергоресурсами;

— в ключе возобновляемых источников энергии необходимо рассматривать комплексное развитие солнечной, ветровой, гидро- и

биоэнергетики. Уже сейчас технологии позволяют создавать мощные ветряные парки, способные эффективно генерировать энергию даже при низких скоростях ветра. Малые гидроэлектростанции и морские энергетические установки предоставляют возможности для надежного производства электроэнергии;

— адаптация электросетевого комплекса к современным экологическим нормам и стремлению к углеродной нейтральности является критически важным шагом в создании устойчивого будущего для энергетики. Переход к возобновляемым источникам, повышение энергоэффективности и модернизация инфраструктуры — все это часть пути к более экологически устойчивому энергопроизводству;

— один из ключевых аспектов достижения углеродной нейтральности — это увеличение доли возобновляемых источников энергии, таких как солнечная и ветровая энергия. В России имеется огромный потенциал для развития этих источников, особенно в отдаленных и малонаселенных регионах;

— разработка водородной энергии обеспечивает возможность для хранения и передачи энергии с нулевыми выбросами. Россия обладает богатыми ресурсами для производства водорода, что делает этот сектор многообещающим.[3]

— развитие технологий хранения энергии, таких как батареи и системы водородной энергии, играет ключевую роль в обеспечении стабильности и надежности электроснабжения при использовании возобновляемых источников энергии.

В заключении стоит подчеркнуть, что изменение энергетических систем в свете энергетического перехода происходит одновременно в разных направлениях, которые взаимосвязаны и оказывают влияние друг на друга. Эти направления включают в себя экологические аспекты, развитие технологий, преобразование структурной организации, а также взаимодействие на глобальном уровне и многое другое.

Кроме того изменения могут происходить как в краткосрочной перспективе, воздействуя на текущие решения, так и в долгосрочной перспективе, формируя стратегические планы развития энергетических систем. Энергетический переход требует интегрированного и гибкого подхода к решению данных вызовов, учитывая их взаимосвязь и воздействие на современное и будущее состояние энергетики и окружающей среды.

## Список использованных источников

1. Гончарова, Н. А. Перспективы развития устойчивой энергетики России в рамках международного опыта / Н. А. Гончарова, О. Л. Соколова, Е. С. Заколюкина // Наука и бизнес: пути развития. – 2022. – № 9(135). – С. 90-92.
2. Холкин, Д. Новая формула энергетического перехода / Д. Холкин, И. Чаусов // Энергетическая политика. – 2020. – № 12(154). – С. 40-53. – DOI 10.46920/2409-5516\_2020\_12154\_40.
3. Малых, Е. Б. Водородная энергетика: оценка перспектив развития / Е. Б. Малых, В. А. Плотников // Естественно-гуманитарные исследования. – 2022. – № 41(3). – С. 216-220.
4. Конюхов, В. Ю. Цифровизация в энергетике. Новая эра / В. Ю. Конюхов, Т. А. Опарина // Молодежный вестник ИрГТУ. – 2022. – Т. 12, № 2. – С. 273-279.
5. Новиков, С. В. Smart Grid и Smart Metering в России: проблемные вопросы / С. В. Новиков, В. А. Скопинцев // Мир измерений. – 2013. – № 8. – С. 3-10.

УДК 544.228

**A.A. Savitsky, Gao Yu, Tian Yujie**  
Belarusian State Technological University  
Minsk, Belarus

## **SYNTHESIS AND INVESTIGATION OF THE PHYSICAL-CHEMICAL PROPERTIES OF MOFS AS THE POTENTIAL MATERIALS FOR HYDROGEN STORAGE**

**Abstract.** *MOFs (Metal-Organic Frameworks) materials MOF-5 ( $Zn_4O(1,4\text{-benzenedicarboxylate})_3$ ) и MOF-177 ( $Zn_4O(4,4',4''\text{-benzene-1,3,5-triyltribenzoate})$ ) were synthesized by different methods such as *electrochemical, solvothermal, microwave-assisted*. Physical-chemical properties of the MOFs (crystal structure, thermal stability) were investigated.*

**А.А. Савицкий, Гао Юй, Тянь Юйцзе**  
Белорусский государственный технологический университет  
Минск, Беларусь

## СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МОКС КАК ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ АККУМУЛИРОВАНИЯ ВОДОРОДА

*Аннотация.* МОКС (металл-органические каркасные структуры) типа MOF-5 ( $Zn_4O(1,4\text{-бензендикарбоксилат})_3$ ) и MOF-177 ( $Zn_4O(4,4',4''\text{-бензен-1,3,5-триил трибензоат})_2$ ) синтезированы различными методами (сольвотермальным, электрохимическим, микроволновым). Исследованы физико-химические свойства (кристаллическая структура, термостойкость), полученных МОКС.

The development goals and technological route plans of hydrogen storage in the United States and the European Union all point to high-safety and high-efficiency hydrogen storage based on materials, such as the MOFs.

MOF-5 samples were produced by solvothermal and electrochemical methods. Firstly, based on the XRD results of the solvent-thermal method synthesis of MOF-5 represented in the figure 1, it is perfectly consistent with the reference [1]. The sharp peak values indicate high crystallinity, and the diffraction peaks at  $2\theta=6.8^\circ$ ,  $9.6^\circ$ ,  $13.8^\circ$ ,  $15.4^\circ$  correspond to the (200), (220), (400), (420) crystal planes of the cubic crystal system.

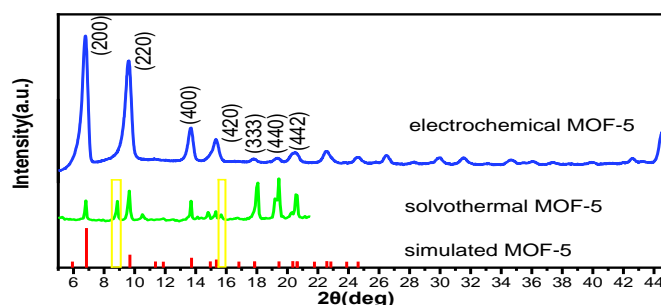
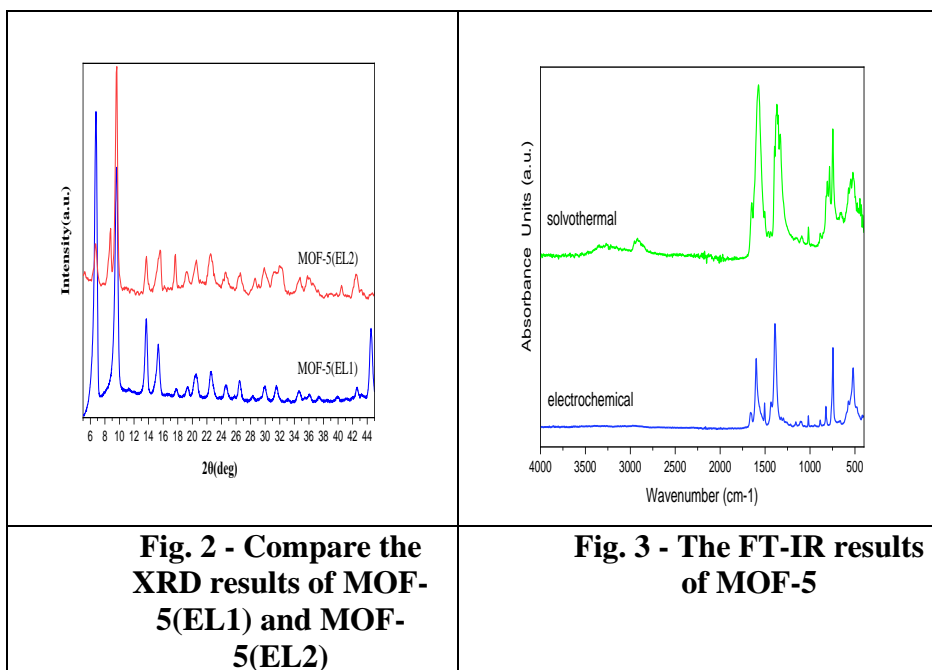


Fig. 1 - Powder X-ray diffraction patterns collected using Cu K $\alpha$  radiation for MOF-5 produced by solvothermal and electrochemical methods

From the fig.1, peaks at  $2\theta=8.9^\circ$  and  $15.8^\circ$  appear, which are not present in standard cards. According to the literature [2] by the Yaghi team it is known that this is due to the fact that the samples were stored in the air for a certain time, leading to the partial decomposition of the sample due to the presence of water vapor.





The XRD results comparison of two electrochemically prepared MOF-5 samples are shown in fig. 2. Firstly, it can be observed that the characteristic peaks of the two samples overlap significantly. Secondly, it is evident that MOF-5 (EL2) exhibits a peak at  $2\theta=8.79$ , similar to the solvothermal result. Under the same experimental conditions, we know that this peak is caused by residual solvent within the framework pores. Comparing these results with the BET surface area, it can be concluded that the difference in reaction current can affect the framework pore size, thereby impacting the temperature required for solvent evaporation within the pores. In other words, as the reaction current increases, the framework pore size decreases, resulting in a higher temperature requirement for drying the solvent within the pores.

The FT-IR spectrum of the MOF-5 prepared by solvothermal and electrochemical methods after vacuum degassing can be summarized into five regions [3].

a) In the first region ( $3600-3300\text{ cm}^{-1}$ ), as revealed by the Bordiga team [4], the broad band centered at  $3500\text{ cm}^{-1}$  associated with H-bonded  $\nu_{(\text{OH})}$  groups used for water adsorption almost disappears due to vacuum degassing at 393K. However, a weak absorption persists, indicative of the presence of carboxylic acid complexes  $\nu_{(\text{OH})}$  arising from the outer surface or internal defects (e.g. 1,4-benzenedicarboxylate vacancies). This weak feature of the band precisely reflects the very low defectivity of the studied material.

b) In the second region (3200-2850  $\text{cm}^{-1}$ ), again referring to the results of the Bordiga team [4], it is known that the sharp peak in this region is due to the aromatic and aliphatic  $\nu(\text{CH})$  modes of the benzene ring and DMF. Additionally, the second harmonic of the extremely intense  $\nu(\text{CO})$  vibration in this range may also have an impact on the peak value.

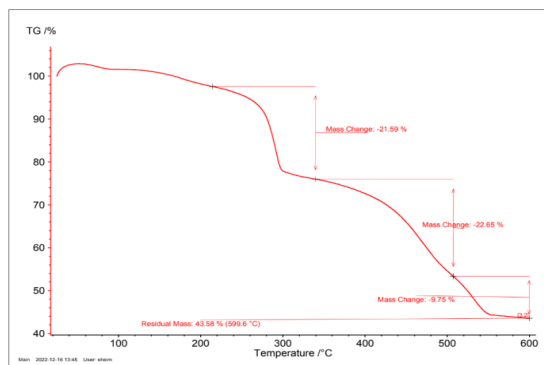
c) In the fourth region (1700-1300  $\text{cm}^{-1}$ ), the Raman double peak resulting from the asymmetric and symmetric modes of carboxylate salt is evident (two curves are observed near 1580  $\text{cm}^{-1}$  and 1504  $\text{cm}^{-1}$ , respectively). The peak near 1650  $\text{cm}^{-1}$  is attributed to hydroxyl group, and the peak at 1388  $\text{cm}^{-1}$  is due to the symmetric stretching vibration of the carboxylic acid group in the BDC molecule.

d) In the fifth region (1300-700  $\text{cm}^{-1}$ ), the peaks are assigned to skeletal modes and out-of-plane vibration modes of BDC, as well as to the stretching mode of benzene ring and C-H bonding vibration, which show strong peaks in the 800-750  $\text{cm}^{-1}$  range.

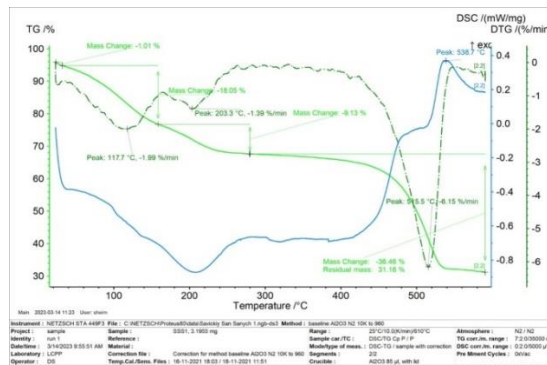
Furthermore, the Yang team [5] suggests that regarding the differences between electrochemical and solvothermal methods, the peak shape of the electrochemical results at 1580  $\text{cm}^{-1}$  is less sharp than that of the solvothermal results due to the template effect of the ionic liquid.

According to the summary from the literature, new spectral bands appear at 3610, 3200, 1300, 1230, and 660  $\text{cm}^{-1}$  after storing for a period of time in humid conditions. These spectral bands are related to the collapse of MOF-5 structure due to the change of carboxyl groups and zinc oxide in the environment. The peaks at around 660  $\text{cm}^{-1}$ , 1300  $\text{cm}^{-1}$ , 3200, and 3610  $\text{cm}^{-1}$  can be seen in the MOF-5 results prepared by the solvent thermal method. It is concluded that this sample has partially collapsed due to improper storage.

Thermal stability of MOF-5 was studied by TGA (fig. 4). From the curve, it can be seen that there are three obvious stages of weight loss in the temperature range from 73.6  $^{\circ}\text{C}$  to 600  $^{\circ}\text{C}$ . The first stage, within the temperature range of 73.6-216  $^{\circ}\text{C}$ , the mass loss is 2.43%, that is attributed to solvent mass loss. The second stage, within the temperature range of 216-340  $^{\circ}\text{C}$ , the mass loss is 21.59%, and 293  $^{\circ}\text{C}$  has a maximum mass loss rate, that is attributed to the guest organic molecule DMF release in MOF-5. The third stage, within the temperature 340-600  $^{\circ}\text{C}$ , the mass loss is 32.4%, it is a maximum mass loss rate, it marks the collapse of the frameworks structure. After decomposition, the residual mass is 43.58%, which is close to the theoretical decomposition residue 42.42%. So it shown that 340  $^{\circ}\text{C}$  is the maximum temperature for remaining the crystal MOF-5 stable, and the purity was high.

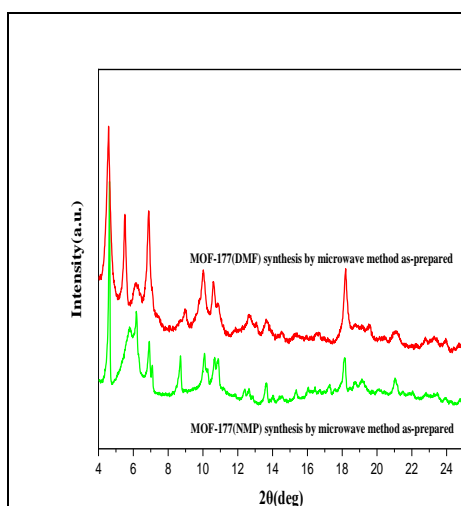


**Fig. 4 - TGA of the crystal MOF-5 (solvothormal method) under nitrogen atmosphere**

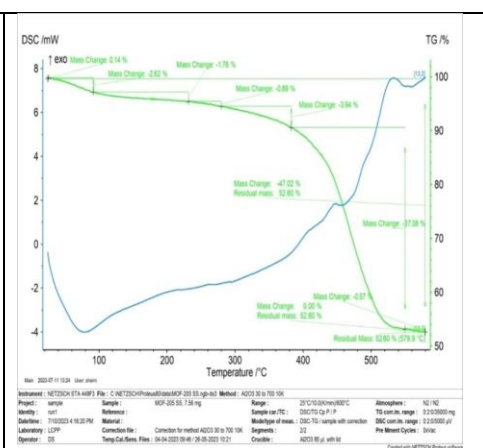


**Fig. 5 - TGA of the crystal MOF-5 (solvothormal method) under nitrogen atmosphere**

The TG-DSC curve of MOF-5 prepared by electrochemical synthesis exhibited three weight losses, with the first two occurring in the temperature range of 30-280°C, accounting for 27.18% of the total weight loss, which could be attributed to the release of solvent molecules from the pores of MOF-5, including water, DMF. The third weight loss occurred in the temperature range of 380-538.7 °C, with the largest weight loss of 36.46%, mainly due to the destruction of the MOF-5 framework and decomposition at high temperature. After 538.7 °C, the weight remained almost unchanged, indicating that only ZnO was left as the final product. Based on the TG-DSC characterization, the thermal stability temperature range of electrochemically synthesized MOF-5 is between 280-380 °C.



**Fig. 6 - The XRD results of MOF-177 by microwave method as-prepared**



**Fig. 7- The TGA results of MOF-177 by solvothormal method and microwave method after vacuum drying at 200 °C for 15h**

The conclusion drawn from XRD analysis of MOF-205 indicates that an improved microwave synthesis method was employed to prepare MOF-177. Two different organic solvents, DMF and NMP, were respectively used to dissolve the reactants, resulting in the formation of MOF-177 (DMF) and MOF-177 (NMP). The results obtained from the graph clearly demonstrate a significant level of crystallinity. This confirms the notion that improving the crystallinity of the microwave synthesis method is indeed the correct direction.

### References

1. Hafizovic, J., Bjørgen, M., Olsbye, U., Dietzel, P. D. C., Bordiga, S., Prestipino, C., Lamberti, C., & Lillerud, K. P. *Journal of the American Chemical Society*, 2007, v.129(12), p. 3612–3620.
2. Kaye, S. S., Dailly, A., Yaghi, O. M., & Long, J. R. *Journal of the American Chemical Society*, 2007, v.129(46), p.14176–14177.
3. Hadjiivanov, K., Panayotov, D., Mihaylov, M., Ivanova, E., Chakarova, K., Andonova, S., & Drenchev, N. *Chemical Reviews*, 2020, v.121(3), p.1286–1424.
4. Bordiga, S., Vitillo, J. G., Ricchiardi, G., Regli, L., Cocina, D., Zecchina, A., Arstad, B., Bjørgen, M., Hafizovic, J., & Lillerud, K. P. *Journal of Physical Chemistry B*, 2005, v.109(39), p.18237–18242.
5. Yang, H., Liu, X., Song, X., Yang, T., Zhen, L., & Fan, C. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 2015b, v.25(12), p.3987–3994.

УДК 621.316.9

**Р.Т. Абдуллозода, О.С. Сайфиддинзода, Х.Д. Бобоев**  
Таджикский технический университет им. академика М.С. Осими  
Душанбе, Таджикистан

### РАСЧЕТ КОРРОЗИОННОГО СОСТОЯНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ЗАЕМЛИТЕЛЕЙ

*Аннотация.* В статье рассматривается применение действующего метода оценки состояния заземляющих устройств. Определение потери массы заземляющих электродов и изменение сопротивления растекания тока, а также общая длина и масса заземляющих устройств. Приводятся пример расчета коррозионного состояния элементов заземлителей.

*Ключевые слова:* заземлитель, заземляющее устройство, коррозия, влажность грунта.

**R.T. Abdullozoda, O.S. Sayfiddinzoda, Kh.D. Boboev**  
Tajik Technical University named after academician M.S. Osimi  
Dushanbe, Tajikistan

## **CALCULATION OF CORROSION STATE ELEMENTS OF GROUNDING LEADERS**

*Abstract.* The article discusses the application of the current method for assessing the condition of grounding devices. Determination of the mass loss of grounding electrodes and the change in resistance to current spreading, as well as the total length and mass of grounding devices. An example of calculating the corrosion state of grounding elements is given.

*Key words:* ground electrode, grounding device, corrosion, soil moisture.

Заземление является наиболее распространенным защитным средством, которое применяется не только с целью обеспечения электробезопасности обслуживающего персонала, но и в ряде случаев используется как основной элемент для обеспечения нормального режима работы электрооборудования, системы релейной защиты и автоматики и т.п.

Состояние заземляющих устройств (ЗУ) непосредственно влияет на работу электрических аппаратов, вторичной цепи релейной защиты и автоматики, а также других элементов электрической сети. На работу заземляющих устройств существенно влияют множество факторов [1 – 5] в число которых входят влажность грунта, его химико-минеральный состав, протекание токов нулевой последовательности по заземляющим электродам и т.п. В земле, в районе измерений, могут проходить посторонние токи. К ним относятся так называемые блуждающие токи и токи, обусловленные режимом работы электроустановок. Блуждающие токи могут быть постоянными и переменными [8].

Посторонние токи вызывают падение напряжения в земле независимо от наличия измерительного тока и искажают результаты измерений, а иногда делают измерение невозможным. Поэтому перед измерением необходимо выяснить наличие посторонних токов в земле и источники этих токов. При обнаружении постороннего тока в земле необходимо принять меры к устранению или хотя бы ограничению влияния этих токов на результат измерения [8].

Действующие методы оценки состояния заземляющих устройств [6] требуют больших трудовых, материальных и временных затрат, согласно которым, требуется измерение основных параметров

заземлителей, проведение визуальных осмотров и обработка результатов.

Также, существует метод оценки состояния заземляющих устройств, согласно которому оценка состояния элементов заземляющих устройств осуществляется при учете среднего значения тока, протекающего по заземляющим электродам и влажности грунта в месте размещения элементов заземлителей, т.е. сокращается количество измерений.

Используя последний метод [7] приводим пример расчета коррозионного состояния ЗУ, находящегося в эксплуатации в течение 3-х лет со следующими параметрами:

- длина вертикального электрода  $L_{\text{в}} = 3,8$  м;
- количество вертикальных электродов  $n_{\text{в}} = 48$ ;
- сечение вертикального электрода  $S_{\text{в}} = 23,760$  мм<sup>2</sup>;
- суммарная длина горизонтальных электродов 700 м;
- сечение горизонтальных электродов  $S_{\text{г}} = 50,27$  мм<sup>2</sup>;
- среднее значение влажности грунта за период эксплуатации в месте нахождения заземляющих электродов 17,2 %;
- среднее значение токов, протекающих по заземляющим электродам (токи, протекающие через заземляющий проводник), 125 мА.

*Общая длина вертикальных электродов*

$$L_{\Sigma\text{в}} = L_{\text{в}} \cdot n_{\text{в}} = 3,8 \cdot 48 = 182,4 \text{ м}$$

*Общая масса вертикальных электродов*

$$m_{\text{в}} = L_{\Sigma\text{в}} \cdot k = 182,4 \cdot 23,76 = 4333,82 \text{ кг}$$

*Общая масса горизонтальных электродов*

$$m_{\text{г}} = L_{\text{г}} \cdot k = 50,27 \cdot 4 = 201,08 \text{ кг}$$

***Общая масса вертикальных и горизонтальных электродов***

$$m_{\Sigma} = m_{\text{в}} + m_{\text{г}} = 4333,82 + 201,08 = 4534,9 \text{ кг}$$

Определяем кодированное значение влажности грунта и токов, протекающих через заземляющий проводник.

*Кодированное значение влажности грунта*

$$X_1 = \frac{X_{iH} - X_{i0}}{\lambda_i} = \frac{17,2 - 0}{30} = 0,573$$

*Кодированное значение токов протекающих через заземляющий проводник*

$$x_2 = \frac{X_{in} - X_{i0}}{\lambda_i} = \frac{125 - 0}{150} = 0,833$$

Определение потери массы заземляющих электродов и изменение сопротивления растекания тока для десяти суток проводится по уравнениям ( $y_1$  и  $y_2$ ).

$$y_1 = 0,1525 - 0,0205 \cdot 0,573 - 0,02359 \cdot 0,833 + 0,0138 \cdot 0,573^2 - 0,0568 \cdot 0,833^2 - 0,08338 \cdot 0,573 \cdot 0,833 = \mathbf{0,04658 \%}$$

$$y_2 = 5,932 - 0,76928 \cdot 0,573 - 1,01368 \cdot 0,833 + 0,3245 \cdot 0,573^2 - 2,39545 \cdot 0,833^2 - 2,72325 \cdot 0,573 \cdot 0,833 = \mathbf{1,79136 \%}$$

Определяем коэффициент времени для  $y_1$  и  $y_2$ .

$$k_{в1} = \frac{y_1}{n} = \frac{0,04658}{10} = 0,004658 \text{ \%/сут}$$

$$k_{в2} = \frac{y_2}{n} = \frac{1,79136}{10} = 0,179136 \text{ \%/сут}$$

Определяем потерю массы заземлителя, находящегося в эксплуатации в течение 3-х лет.

$$\Delta m = k_{в1} \cdot T = 0,004658 \cdot 1095 = \mathbf{5,10051 \%}$$

Таким образом можно сделать вывод, что заземляющие электроды, находящиеся в эксплуатации в течении 3-х лет, при выше указанной влажности грунта и наличии токов, протекающих через заземляющий проводник, из-за коррозии потеряют массу более чем на 5 процентов.

### Список использованных источников

1. Абдуллоев Р.Т., Сидоров А.И., Тряпицын А.Б. Факторы, влияющие на коррозию заземляющих устройств // В сборнике: Достижения науки - агропромышленному производству. материалы LIV международной научно-технической конференции; Секция 13. Физика, химия и нанотехнология Секция; 14. Механика и математические методы; Секция 15. Безопасность жизнедеятельности и техническая эксплуатация автотранспорта; Секция 16. Тепловодогазоснабжение сельского хозяйства. Под редакцией П.Г. Свечникова. 2015. С. 93-96.

2. Sidorov A., Abdullozoda I., Abdullozoda R., Sadullozoda S., Saifiddinzoda O. METHOD FOR DETERMINING THE STATE OF AN GROUNDING DEVICES в сборнике: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 3, Mining, Production, Transmission, Processing and Environmental Protection. Сер. "III International Scientific and

Practical Conference "Actual Problems of the Energy Complex: Mining, Production, Transmission, Processing and Environmental Protection" 2021. С. 012005.

3. Абдуллоев Р.Т., Сидоров А.И. Физическое моделирование элементов заземлителей при учете электромагнитных процессов // В сборнике: Наука ЮУрГУ. Материалы 67-й научной конференции. Министерство образования и науки Российской Федерации; Южно-Уральский государственный университет. 2015. С. 467-473.

4. Сидоров А.И., Тряпицын А.Б., Абдуллоев Р.Т. Технические средства для определения состояния заземляющих устройств // В сборнике: Безопасность жизнедеятельности в третьем тысячелетии. 2015. С. 245-250.

5. Сидоров А.И., Додхудоев М.Д., Абдуллоев Б.Т., Абдуллоев Р.Т. Двухфакторный эксперимент по исследованию процесса коррозии заземляющего устройства // В сборнике: Энергосбережение и инновационные технологии в топливно-энергетическом комплексе. материалы Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов, молодых ученых и специалистов. 2016. С. 396-398.

6. СТО 56947007-29.130.15.105-2011. Методические указания по контролю состояния заземляющих устройств электроустановок. Стандарт организации АОА «ФСК ЕЭС». 12 с.

7. Пат. 2649630 Российская Федерация: МПК G01RB 17/00 (2006.01). Способ определения коррозионного состояния заземляющих устройств/ Р.Т. Абдуллоев, А.И. Сидоров, Н.И. Горбунов, И.А. Шеремета. – № 2017103850; заявл. 06.02.2017; опубл. 04. 04. 2018, Бюл. № 10-2018.

8. Крикун И.В. Испытания заземляющих и зануляющих устройств электроустановок. Изд. 2-е, перераб. и доп. М., «Энергия», 1973



**Г.Б. Свиридов, А.Ю. Марченков, А.А. Панькина**

НИУ «МЭИ»  
Москва, Россия

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СТАЛИ 15X2НМФА-А МЕТОДОМ КИНЕТИЧЕСКОГО ИНДЕНТИРОВАНИЯ ПРИ ПОВЫШЕННЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ**

*Аннотация.* В работе методом инструментального индентирования определены значения твёрдости стали 15X2НМФА-А при комнатной и повышенных температурах. Показано снижение характеристик твёрдости стали при увеличении температуры и возможность реализации использованного метода при повышенных температурах на базе универсальной испытательной машины.

**G.B. Sviridov, A.Yu. Marchenkov, A.A. Pankina**

National Research university «МЭИ»  
Moscow, Russia

## **DETERMINATION OF MECHANICAL CHARACTERISTICS OF 15KH2NMFA-A STEEL BY INSTRUMENTED INDENTATION AT HIGH TEMPERATURES**

*Abstract.* In this paper, the hardness values of 15Kh2NMFA-A steel at room temperature and high temperatures were determined using the instrumental indentation. The decrease of steel hardness characteristics with increasing temperature and the possibility of implementing said method at high temperatures on the universal testing machine are shown.

Сталь 15X2НМФА-А используется для изготовления корпусов водо-водяных энергетических реакторов (ВВЭР) атомных электростанций. Реакторы такого типа установлены на 22 из 37 энергоблоков АЭС России. Металл корпуса ВВЭР, работающего в диапазоне температур от 200 до 320°C, требует периодического контроля механических свойств в процессе эксплуатации, и точное определение характеристик прочности является одним из важных этапов прогнозирования состояния металла корпуса реактора.

В настоящее время для контроля его механических свойств используются образцы-свидетели, которые испытывают растяжением с определением характеристик прочности и пластичности. Наряду с объективными преимуществами этой технологии, можно отметить и несколько её недостатков, основным из которых является возможное различие свойств металла образца-свидетеля и металла

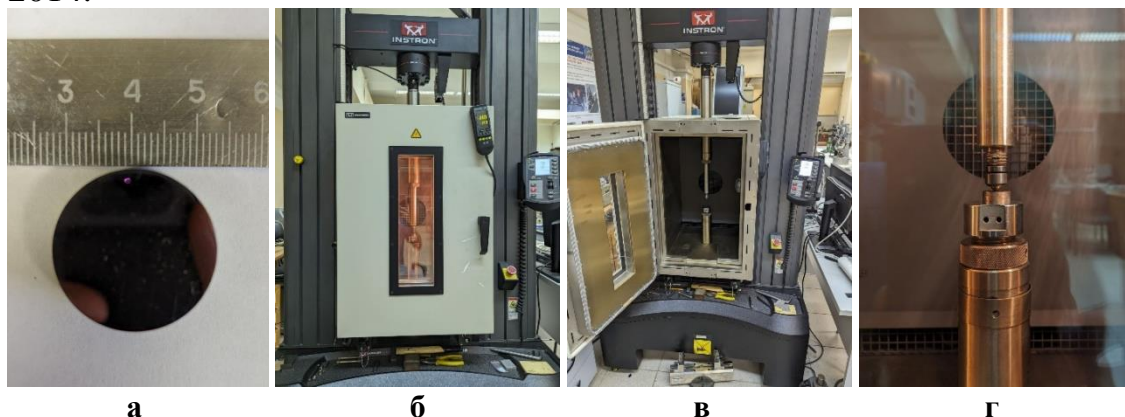
непосредственно корпуса реактора. В этой связи целесообразно думать о развитии способов контроля механических свойств, позволяющих определять механические свойства металла непосредственно на корпусе реактора и других элементах энергетического оборудования, работающих при повышенной температуре. Метод кинетического (инструментального) индентирования может стать одним из таких способов, внедрение которого позволит создать технологию неразрушающего контроля металла оборудования без изготовления и испытания образцов.

Для этого на первом этапе необходимо исследовать изменение диаграмм инструментального индентирования при повышении температуры и установить взаимосвязь механических характеристик, определяемых по диаграммам вдавливания, с механическими характеристиками, определяемыми испытаниями растяжением. При комнатной температуре такие связи в общем виде известны [1]. Однако, при повышении температуры испытания характер диаграмм вдавливания изменяется не только из-за изменения свойств испытуемого материала, но также за счёт изменения физико-механических характеристик индентора и изменения жёсткости узлов испытательного оборудования. В этой связи для того, чтобы использовать метод инструментального индентирования для оценки механических свойств металла при повышенной температуре, в настоящей работе проведено экспериментальное исследование по установлению характера изменения диаграмм вдавливания при различных высоких температурах.

Из прутка стали 15Х2НМФА-А Ø23 мм для проведения испытаний инструментальным индентированием были подготовлены образцы толщиной 10 мм, показанные на рис. 1а.

На универсальной испытательной машине Instron 5982 (рис. 1б-1г) было проведено инструментальное индентирование образцов с целью определения твёрдости при температурах 20, 100, 200 и 300°C. Испытания проводились в температурном кабинете. Перед испытанием вдавливанием производился нагрев до заданной температуры и последующая выдержка в течение 2-2,5 часов для температурной стабилизации испытательной системы. В установленный на столике образец вдавливался шаровой индентор диаметром 10 мм со скоростью 0,2 мм/мин до достижения максимальной нагрузки в 1000 кгс (9810 Н), затем следовала выдержка в нагруженном состоянии в течение 10 секунд и разгрузка с той же скоростью. В процессе нагружения были зарегистрированы диаграммы нагружения в координатах «нагрузка-

перемещение», которые затем обрабатывались согласно ГОСТ Р 56232-2014.

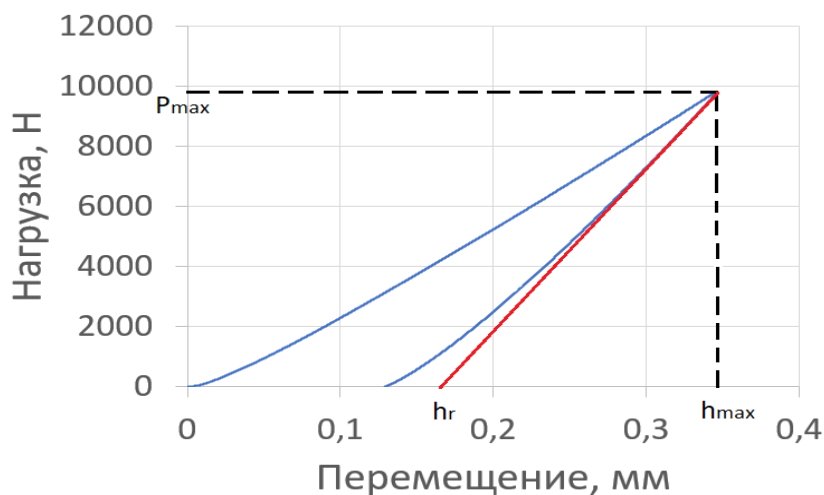


**Рис. 1 - Образец из реакторной стали 15X2НМФА-А для испытаний инструментальным индентированием (а) и экспериментальная установка для испытаний индентированием при повышенных температурах (б-г)**

Для определения твёрдости на диаграмме были определены характерные точки – максимальная нагрузка  $P_{max}$  и максимальное перемещение индентора  $h_{max}$ . Затем к верхней точке участка разгрузки была проведена касательная (рис. 2), и в месте пересечения касательной с осью абсцисс определена точка  $h_r$ . Далее были рассчитаны значения твёрдости при индентировании  $HB_{IT}$ :

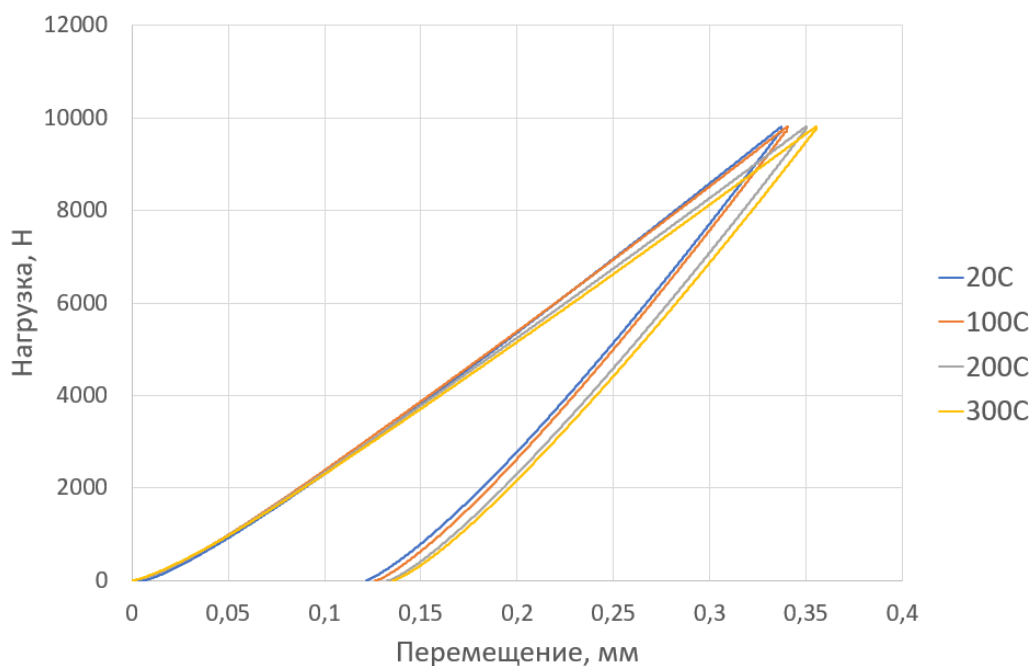
$$HB_{IT} = \frac{P_{max}}{\pi \cdot D \cdot h_c} \quad (1)$$

где  $D$  – диаметр используемого индентора,  $h_c = h_{max} - 0.75(h_{max} - h_r)$ .



**Рис. 2 - Пример зарегистрированной диаграммы инструментального индентирования для стали 15X2НМФА-А**

На рис. 3 представлены характерные диаграммы вдавливания, зарегистрированные при различных температурах. Из диаграмм видно увеличение полной и остаточной глубины отпечатков при более высоких температурах, а также уменьшение угла наклона линии разгрузки у горизонтальной оси, что свидетельствует о плавном снижении модуля нормальной упругости при повышении температуры.

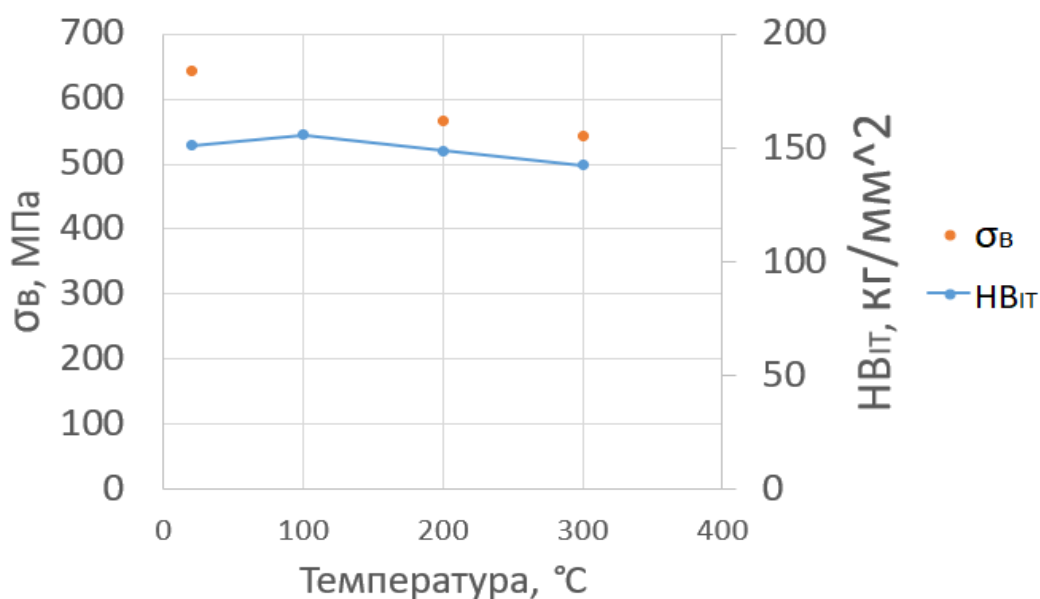


**Рис. 3- Диаграммы вдавливания для стали 15X2НМФА-А при температурах 20-300°C**

Результаты расчётов твёрдости при индентировании  $HV_{IT}$  представлены в таблице 1 и на рис. 4. Наблюдается небольшой рост твёрдости около значения температуры в 100°C по сравнению с комнатной температурой, после чего наблюдается снижение значений твёрдости при дальнейшем повышении температуры.

**Таблица 1- Результаты определения твёрдости  $HV_{IT}$  стали 15X2НМФА-А при повышенных температурах методом инструментального индентирования**

№	$T$ °C	$P_{max}$ $H$	$h_{max}$ мм	$h_r$ мм	$h_c$ мм	$HV_{IT}$ кг/мм <sup>2</sup>	$\sigma_B$ МПа
1	20	9810	0,345	0,165	0,210	151	644
2	100	9810	0,341	0,158	0,204	156	-
3	200	9810	0,351	0,167	0,213	149	567
4	300	9810	0,366	0,176	0,235	142	544



**Рис. 4 - График изменения твёрдости  $HB_{IT}$  и предела прочности  $\sigma_B$  стали 15X2НМФА-А в зависимости от температуры**

На рис. 4 и в таблице 1 приведены также данные испытаний растяжением образцов из этой же партии стали при различных температурах [2]. Указанные на графике значения твёрдости показывают тенденцию к снижению, аналогично значениям предела прочности при таких же значениях температуры. Испытания при более высоких температурах позволят спрогнозировать свойства данной стали при отклонении условий эксплуатации от нормальных, например, в случае тяжёлой аварии.

*Исследование выполнено в ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» за счет гранта Российского научного фонда № 23-79-10140, <https://rscf.ru/project/23-79-10140/>*

#### **Список использованных источников**

1. Матюнин В.М. Индентирование в диагностике механических свойств материалов. – М.: Издательский дом МЭИ, 2015. – 288 с.
2. Локтионов В.Д., Соснин О.В., Любашевская И.В. Прочностные свойства и особенности деформационного поведения стали 15X2НМФА-А в температурном диапазоне 20-1000°C // Атомная энергия. 2005. Т. 99. №. 3. – С. 229-232.

УДК 66.081.6

**И.С. Седоплатов, П. Луа, С.В. Ковалев, А.А. Столяров,  
О.А. Ковалева, Д.И. Кобелев**

Тамбовский государственный университет им. Г.Р. Державина  
Тамбов, Россия

## **РАЗРАБОТКА ПРОМЫШЛЕННОГО ДИЗАЙНА КОНСТРУКЦИИ ЭЛЕКТРОБАРОМЕМБРАННОГО АППАРАТА РУЛОННОГО ТИПА**

*Аннотация.* В статье приведена конструкция электробаромембранного аппарата рулонного типа. Описан процесс работы, а также представлен ряд конструктивных особенностей, позволяющий улучшить характеристики аппарата.

**I.S. Sedoplatov, P. Lua, S.V. Kovalev, A.A. Stolayrov,  
O.A. Kovaleva, D.I. Kobelev**

Derzhavin Tambov State University  
Tambov, Russia

## **DEVELOPMENT OF INDUSTRIAL DESIGN OF THE CONSTRUCTION OF AN ELECTROBAROMEMBRANE DEVICE OF A ROLL TYPE**

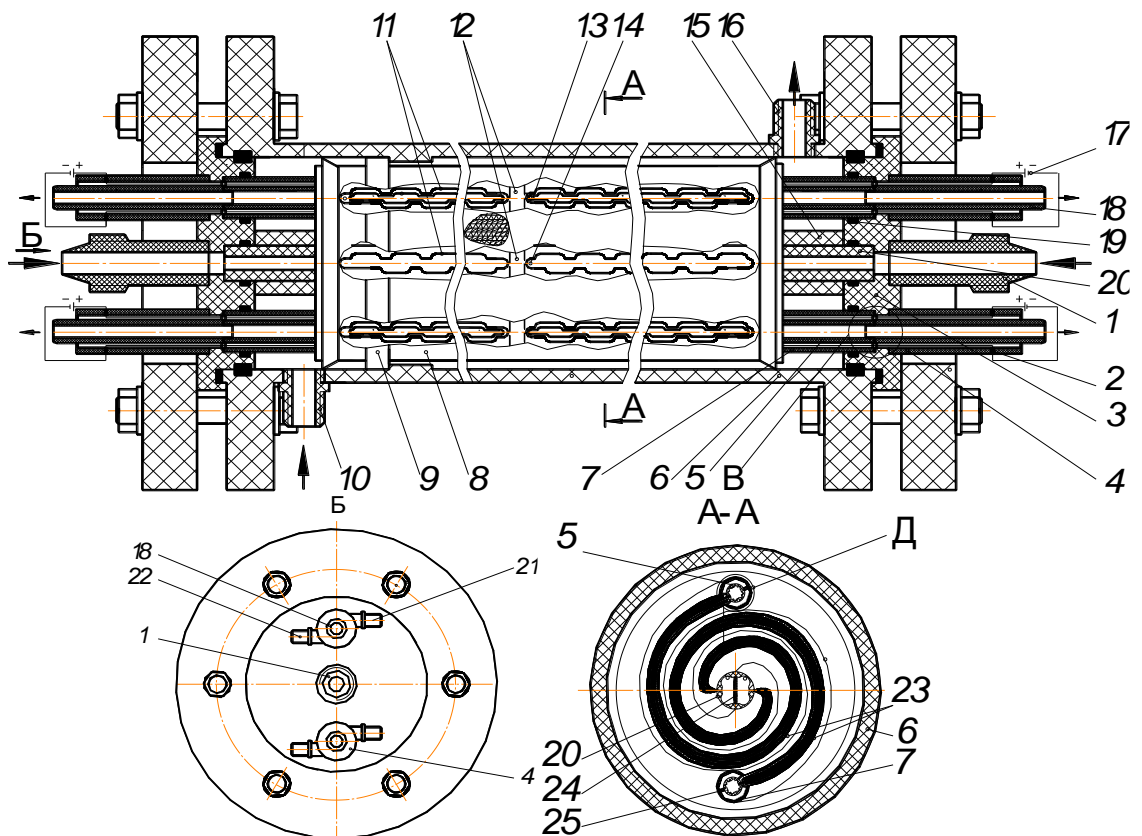
*Abstract.* The article presents the design of an electrobaromembrane device of a roll type. The process of operation is described, as well as a number of design features are presented to improve the characteristics of the device.

При реализации электромембранных процессов разделения растворов важной задачей является устранение негативных явлений тепловыделения и осадкообразования (при наложении разности электрических потенциалов на систему мембрана – раствор). Для этого в системах электромембранного разделения технологических жидкостей (например, в электрохимических мембранных аппаратах рулонного типа) применяется принудительное охлаждение растворов (потоков ретентата или пермеата) [1-4]. Различным конструкциям мембранных аппаратов присущи как достоинства, так и недостатки, поэтому необходим рациональный выбор промышленного дизайна конструкции аппарата. Наиболее универсальными среди мембранных аппаратов являются устройства, которые могут применяться и для электробаромембранного разделения растворов (при действии трансмембранного давления и электрического напряжения), и для

баромембранного разделения (при действии трансмембранного давления без перепада электрического потенциала на мембране) [3, 4].

Основная конструктивная особенность аппарата (рис. 1, 2) – дополнительные каналы для циркуляции разделяемого раствора и отвода ретентата и пермеата в перфорированной внутренней трубке аппарата при осуществлении подачи разделяемого раствора по двухконтурной схеме

*Аппарат работает следующим образом.* Исходный раствор подается в аппарат через штуцер подачи исходного раствора 1, далее через сквозную проточку в центре крышки 3 поступает в перфорированную трубку 20 с вертикальной перегородкой 24 и прокачивается в ней до поперечной перегородки 12. Затем через эллиптические проточки 14 с большими полуэллипсами 11 раствор поступает в пространство, где расположена сетка-турбулизатор 33, по разные стороны от которой установлены прианодные 35 и катодные 34 мембраны, образующие межмембранный канал.



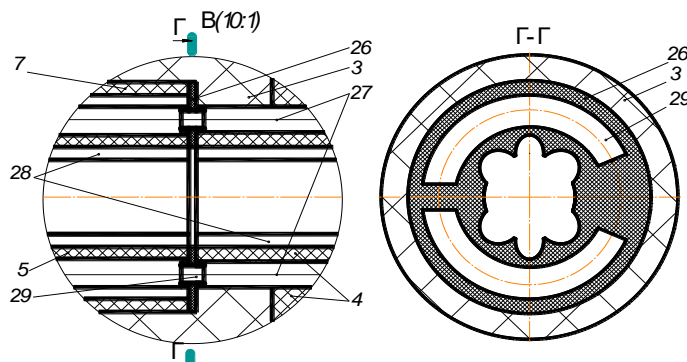


Рис. 1 – Электробаромембранный аппарат рулонного типа

По межмембранному каналу раствор поступает в эллиптические щели 13, во внутреннюю трубку 5 и отводится по внутреннему пространству штуцера для отвода ретентата 18. В этот же момент времени к дренажным сеткам (катоде 37 и аноду 38) включением устройства для подвода электрического тока 17 через электрические провода 27 подводится внешнее постоянное электрическое поле с заданной плотностью тока.

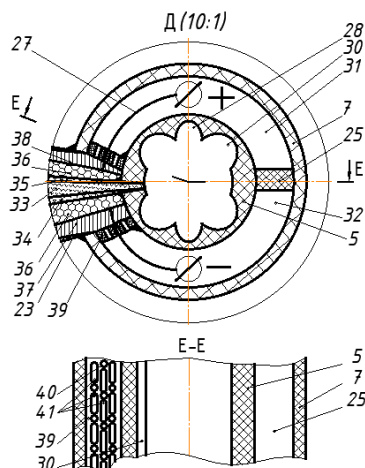


Рис. 2 – Вид Д увеличенный на рис. 1 и сечение E-E элемента электрохимического мембранного аппарата

Электрические провода 27 проходят через герметизирующую заливку 2 внешней отводной трубки 4, далее через коллекторы для отвода прианодного пермеата 31 и прикатодного пермеата 32 (между перегородкой 25, внешней 7 и внутренней 5 трубками и полимерными перфорированными перегородками 39), отверстия 29 в фиксирующей прокладке 26, эллиптические отверстия 41 и отверстия проходные 40.

Раствор при движении турбулизируется сеткой-турбулизатором 33, установленной в межмембранном канале около поверхности прианодных 35 и прикатодных 34 мембран (в зависимости от схемы подключения дренажных сеток (анода 38 и катода 37) и от схемы подключения электродов «плюс» или «минус»). В межмембранном



канале растворенное вещество в растворе диссоциирует на ионы – анионы и катионы, которые под действием электрического тока и градиента давления проникают (совместно с растворителем) сквозь поры соответственно прианодных 35, прикатодных 34 мембран и подложки мембран 36 (при этом анионы и катионы поступают в пространство, где расположены дренажные сетки – анод 38 и катод 37). Образующийся при этом пермеат (прианодный и прикатодный) самотеком отводится через эллиптические отверстия 41 и проходные отверстия 40 в полимерной перфорированной перегородке 39, на которую уложены концы дренажных сеток – анода 38 и катода 37. Пермеат поступает в коллекторы для отвода прианодного пермеата 31 и прикатодного пермеата 32, проходит через отверстия 29 (выполненные в виде двух полумесяцев с прямоугольными краями) в фиксирующей прокладке 26 и выводится через штуцеры для отвода прианодного пермеата 21 и прикатодного пермеата 22 в виде кислот, оснований и растворенных газов (образующихся в результате электрохимических реакций на электродах).

Исходный раствор поступает через штуцеры подачи исходного раствора 1 с правой и левой торцевых поверхностей корпуса аппарата 6, при этом за счет поперечных перегородок 12 и полимерной ленты в аппарате образуются два контура разделения раствора.

Одновременно с подачей исходного раствора в аппарат подается вода (через штуцеры ввода 10 и вывода 16 охлаждающей воды), которой заполняется коллектор для протекания охлаждающей воды, образованный между корпусом аппарата 6, пленкой 23, внешними трубками 7, перфорированной трубкой 20, крышкой 3 и втулкой 15. Штуцеры 10, 16 расположены в сечении корпуса аппарата 6 (под углами (- 90°) и 90° от горизонтальной оси) на расстоянии 95 мм от края торцевых поверхностей корпуса аппарата.

Исходный раствор, протекая по всему межмембранному каналу (где расположена сетка-турбулизатор 33), очищается от катионов и анионов, поступает через эллиптические щели 13 во внутреннюю трубку 5 (с четырьмя эллиптическими проточками 30 и малыми эллиптическими проточками 28) и выводится в виде ретентата через штуцеры 18.

На внешней поверхности рулонного элемента 8 установлена резиновая манжета 9 во избежание байпасирования охлаждающей жидкости, минуя внутреннюю поверхность рулонного элемента 8 (между соседними пленками 23). В крышке 3 выполнены кольцевые проточки под прокладки 19, в которые вставлены концы внешних трубок 7 и перфорированных трубок 20.

В качестве охлаждающей воды может использоваться водопроводная или дистиллированная вода температурой 278...288 К. Полимерная лента герметично приклеена при скручивании рулонного элемента к поверхностям прикатодных 34, прианодных 35 мембран. В ходе разработки промышленного дизайна электробаромембранного аппарата рулонного типа были рассмотрены основные конструкции подобных аппаратов, для выявления их сильных и слабых сторон в процессе эксплуатации. Была предложены конструктивные особенности аппарата, позволяющие снизить гидравлическое сопротивление, увеличить общую площадь мембран и площадь охлаждающей поверхности.

### Список использованных источников

1. Лазарев, С.И. Программное обеспечение для расчета конструктивно-технологических параметров электробаромембранного аппарата трубчатого типа / С.И. Лазарев, Т.А. Хромова, Д.А. Родионов // Виртуальное моделирование, прототипирование и промышленный дизайн [Электронный ресурс]: материалы междунар. науч.-практ. конф. – Тамбов: Издательский центр ФГБОУ ВО ТГТУ, 2021. – С. 276–278.
2. Современное конструктивное оформление электромембранных процессов / И.С. Седоплатов, О.А. Ковалева, П. Луа [и др.] // Машины, агрегаты и процессы. Проектирование, создание и модернизация: материалы междунар. науч.-практ. конф. – Санкт-Петербург: НИЦ МС, 2023. – № 6. – С. 75–78.
3. Пат. № 2788979 РФ, МПК В01D61/46. Электробаромембранный аппарат рулонного типа / С. В. Ковалев, Д.И. Кобелев, О.А. Ковалева, П. Луа, В. Ю. Рыжкин; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный университет имени Г.Р. Державина. – № 2022121117; заявл. 03.08.2022; опубл.: 26.01.2023, Бюл. № 3. – 20 с.
4. Седоплатов, И. С. Проектирование конструкции мембранного аппарата рулонного типа при помощи САПР AutoCad 2022 / И.С. Седоплатов, С.В. Ковалев, П. Луа [и др.] // Ползуновский альманах. – 2022. – Т. 1, № 4. – С. 99–101.

**ЭФФЕКТЫ ПАРАДОКСАЛЬНОГО ВРАЩЕНИЯ  
ЖИДКОСТИ СО СВОБОДНОЙ ГРАНИЦЕЙ ПРИ  
ПЕРИОДИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ**

*Аннотация.* Поставлена и решена новая задача о течении вязкой жидкости со свободной границей. Полученные результаты, в частности, могут использоваться в научном поиске перспективных подходов к решению актуальных прикладных проблем, в том числе, проблем, связанных с зеленой энергетикой.

**V.L. Sennitskii**

Lavrentyev Institute of Hydrodynamics SB RAS  
Novosibirsk, Russia

**EFFECTS OF A PARADOXICAL ROTATION OF A LIQUID  
WITH A FREE BOUNDARY UNDER PERIODICAL INFLUENCES**

*Abstract.* A new problem is formulated and solved on a flow of a viscous liquid with a free boundary. The obtained results in particular can be used for a scientific search of perspective approaches to the solution of actual applied problems and in that number of the problems connected with a green energetics.

1. Периодическим по времени явлениям, процессам принадлежит важнейшая роль в природе и технике, в том числе в области экологии, современных энергетических технологий, зеленой энергетике. Это положение, в частности, является актуальным и в отношении изучения необычной, парадоксальной динамики гидромеханических систем. Такая – нетривиальная – динамика систем, как показывают результаты регулярно проводимых исследований (см., например, [1–4] и представленную там литературу), многообразно реализуется при оказании на гидромеханические системы периодических по времени воздействий.

Целью настоящей работы является содержательное изучение парадоксального поведения вязкой жидкости, направленное на расширение понимания диапазона возможностей периодических воздействий, что может быть применено при разработке перспективных методов управления гидромеханическими системами, при создании систем, обладающих предписанными свойствами и использоваться в научном поиске эффективных подходов к решению актуальных прикладных проблем. Рассматривается задача о движении

вязкой жидкости при периодических по времени воздействиях на жидкость со стороны окружающего ее твердого тела, которое пульсирует и совершает вращательное движение. Испытываемые жидкостью воздействия могут характеризоваться наличием либо отсутствием выделенного направления в пространстве. Выявлены новые гидромеханические эффекты. В частности, обнаружен эффект, состоящий в том, что (на фоне колебаний) часть жидкости совершает стационарное вращательное движение в направлении, противоположном направлению среднего (по времени) вращения находящегося в жидкости твердого тела.

2. Имеется несжимаемая вязкая жидкость, окружающая твердое тело – бесконечно длинный круговой цилиндр  $\Xi$  радиуса  $A$ . Ось тела  $\Xi$  находится на оси  $Z$  инерциальной прямоугольной системы координат  $X, Y, Z$ . Тело  $\Xi$  совершает вращательное движение вокруг оси  $Z$  с угловой скоростью  $\Omega$ . Радиус  $A$  и угловая скорость  $\Omega$  заданным образом периодически с периодом  $T$  изменяются со временем  $t$  (среднее значение угловой скорости  $\Omega$  может быть как отличным от нуля, так и равным нулю). Жидкость занимает область  $Q: A < R < B; 0 \leq \theta < 2\pi; -\infty < Z < \infty$  ( $R = \sqrt{X^2 + Y^2}$ ,  $\theta, Z$  – цилиндрическая система координат;  $B > A$  – функция  $t$ , связанная с радиусом  $A$  условием постоянства разности  $B^2 - A^2$ ). Жидкость граничит с твердым телом  $\Xi$  и с пустотой (твердая граница  $\Gamma_s$  и свободная граница  $\Gamma_f$  жидкости характеризуются соотношениями  $R = A; R = B; 0 \leq \theta < 2\pi; -\infty < Z < \infty$ ). Требуется определить периодическое по времени осесимметричное, плоское движение жидкости со свободной границей, которое порождается оказываемыми на жидкость воздействиями со стороны находящегося в ней твердого тела.

Пусть  $\tau = t/T; 0 \leq \varepsilon < 1$  – параметр;  $g = \sin 2\pi\tau$ ;  $h = \sin(2\pi\tau + \varphi)$  ( $\varphi$  – постоянная);  $a = A/\hat{A} = 1 + \varepsilon g$  ( $\hat{A} > 0$  – постоянная, значение  $A$  при  $\varepsilon = 0$  (значение  $A$  в отсутствие пульсаций тела  $\Xi$ ));  $\hat{B}$  – постоянная, значение  $B$  при  $\varepsilon = 0$ ;  $\kappa = \hat{B}/\hat{A}$ ;  $b = B/\hat{B} = \sqrt{a^2 + \kappa^2 - 1} / \kappa$ ;  $\omega = \Omega T = \hat{\omega}[h + \varepsilon(\kappa - 1)s]$  ( $\hat{\omega} > 0, s$  – постоянные);  $\sigma, \rho$  и  $\nu$  – соответственно коэффициент поверхностного натяжения, плотность и кинематический коэффициент вязкости жидкости;  $Re = \hat{A}^2/(\nu T)$  – число Рейнольдса;  $r = R/\hat{A}$ ;  $\mathbf{e}_r$  и  $\mathbf{e}_\theta$  – единичные векторы, направления которых совпадают с направлениями возрастания соответственно  $r$  и  $\theta$ ;  $\mathbf{V}$  – скорость жидкости;  $\mathbf{v} = T\nu/\hat{A} = v_r(r, \tau)\mathbf{e}_r + v_\theta(r, \tau)\mathbf{e}_\theta$ ;  $P$  – давление в жидкости;  $p = T^2 P/(\rho \hat{A}^2) = p(r, \tau)$ ;  $\lambda = \sigma T^2/(\rho \hat{A}^3)$ .

Задачу о движении жидкости составляют уравнение Навье–Стокса, уравнение неразрывности и условия на твердой и свободной границах жидкости

$$\frac{\partial \mathbf{v}}{\partial \tau} + (\mathbf{v} \cdot \nabla) \mathbf{v} = -\nabla p + \frac{1}{\text{Re}} \Delta \mathbf{v} \quad \text{в } Q; \quad (1)$$

$$\nabla \cdot \mathbf{v} = 0 \quad \text{в } Q; \quad (2)$$

$$v_r = \frac{da}{d\tau}, \quad v_\theta = \omega a \quad \text{на } \Gamma_s; \quad (3)$$

$$v_r = \kappa \frac{db}{d\tau}, \quad p - \frac{2}{\text{Re}} \frac{\partial v_r}{\partial r} - \frac{\lambda}{\kappa b} = 0, \quad \frac{\partial v_\theta}{\partial r} - \frac{v_\theta}{r} = 0 \quad \text{на } \Gamma_f. \quad (4)$$

Отметим, что в задаче (1) – (4) испытываемые жидкостью периодические по времени воздействия со стороны тела  $\Xi$  при  $s \neq 0$  характеризуются наличием, а при  $s = 0$  – отсутствием выделенного направления в пространстве.

3. Согласно (2) – (4) имеем

$$v_r = w/r, \quad (5)$$

где  $w = a(da / d\tau) = \kappa^2 b(db / d\tau)$ .

Из (1) – (5) следует

$$p = \frac{\lambda}{\kappa b} - \frac{2}{\text{Re}} \frac{d}{d\tau} \ln b - \frac{dw}{d\tau} \ln \frac{r}{\kappa b} + w^2 \frac{r^2 - \kappa^2 b^2}{2\kappa^2 b^2 r^2} + \int_{\kappa b}^r \frac{v_\theta^2}{r'} dr'; \quad (6)$$

$$\text{Re } r^2 \frac{\partial v_\theta}{\partial \tau} = r^2 \frac{\partial^2 v_\theta}{\partial r^2} + (1 - \text{Re } w)r \frac{\partial v_\theta}{\partial r} - (1 + \text{Re } w)v_\theta \quad \text{в } Q, \quad (7)$$

$$v_\theta = \omega a \quad \text{при } r = a, \quad \frac{\partial v_\theta}{\partial r} - \frac{v_\theta}{r} = 0 \quad \text{при } r = \kappa b.$$

Будем рассматривать задачу (7) при малых по сравнению с единицей значениях  $\varepsilon$ . Применим метод разложения по степеням малого параметра. Предположим, что

$$v_\theta \sim v_0 + \varepsilon v_1 \quad \text{при } \varepsilon \rightarrow 0. \quad (8)$$

Используя (7), (8), определим задачи  $\varepsilon^N$  ( $N = 0, 1$ ) приближений. Решая эти задачи, найдем

$$\begin{aligned} v_0 &= \hat{\omega} \operatorname{Imag} \left[ \frac{I_2(q\kappa)K_1(qr) + K_2(q\kappa)I_1(qr)}{Q_1} e^{i(2\pi\tau + \varphi)} \right], \\ v_1 &= \hat{\omega} \left[ \cos \varphi + (\kappa - 1)s + \frac{1}{2} \operatorname{Real} \frac{e^{i\varphi} q Q_2}{Q_1} \right] r - \\ &\quad - \frac{1}{2} \pi \operatorname{Re} \hat{\omega} \operatorname{Imag} \left\{ \frac{e^{i\varphi}}{Q_1} [I_2(\kappa b)G_K + K_2(\kappa b)G_I] \right\} \\ &\quad + \operatorname{Real}(\tilde{v} e^{4\pi i \tau}). \end{aligned} \quad (9)$$

Здесь  $q = (1 + i)\sqrt{\pi \operatorname{Re}}$ ;  $Q_1 = I_2(\kappa b)K_1(q) + K_2(\kappa b)I_1(q)$ ;  $Q_2 = I_2(\kappa b)K_0(q) - K_2(\kappa b)I_0(q)$ ;  $G_I = I_1(qr) - I_1(q)r - qr \int_1^r \frac{I_0(qr')}{r'} dr'$ ;

$G_K = K_1(qr) - K_1(q)r + qr \int_1^r \frac{K_0(qr')}{r'} dr'$ ;  $\tilde{v}$  – функция  $r$ ;  $I_0, I_1, I_2, K_0, K_1, K_2$  – модифицированные функции Бесселя.

Формулами

$$v_0 = v_0 + \varepsilon v_1 \quad (10)$$

и (5), (6), (9) определяется приближенное решение задачи (1) – (4). Данное решение, свидетельствует о наличии ряда (происходящих на фоне колебаний) необычных стационарных вращательных течений жидкости.

Обратимся к вопросу о среднем по времени движении жидкости при малых по сравнению с единицей значениях  $\kappa - 1$ .

Пусть  $\chi = (\kappa - r)/(\kappa - 1)$ . Используя (5), (9), (10), получим

$$\begin{aligned} \langle \mathbf{v} \rangle &= \int_\tau^{\tau+1} \mathbf{v} d\tau' \sim \varepsilon \hat{\omega} [s - \pi \operatorname{Re}(\sin \varphi) \chi] (\kappa - 1) \mathbf{e}_\theta \quad \text{при } \kappa \\ &\quad - 1 \rightarrow 0. \end{aligned} \quad (11)$$

Отметим, что в рассматриваемом приближении безразмерная скорость  $\langle \mathbf{v} \rangle \cdot \mathbf{e}_\theta$  совпадает с безразмерной средней по времени угловой скоростью вращения жидкости вокруг оси  $Z$ .

Согласно (11) (на фоне колебаний) при любом значении  $Re > 0$  имеет место, в частности, следующее. Если  $s \neq 0$ , то при  $\chi \sin \varphi = 0$  средняя (по времени) угловая скорость вращения жидкости равна (отличной от нуля) средней угловой скорости вращения тела  $\Xi$ . Если  $s \sin \varphi < 0$ , то при  $1 \leq r \leq \kappa$  жидкость вращается в направлении, совпадающем с направлением среднего вращения тела  $\Xi$ , при том, что для  $1 \leq r < \kappa$  жидкость «обгоняет» твердое тело. Если  $s \sin \varphi > 0$ , и  $|s| > \pi Re |\sin \varphi|$ , то при  $1 \leq r \leq \kappa$  жидкость вращается в направлении, совпадающем с направлением среднего вращения тела  $\Xi$ , при том, что для  $1 \leq r < \kappa$  жидкость «отстает» от твердого тела. Если  $s \sin \varphi > 0$ , и  $|s| > \pi Re |\sin \varphi|$ , то при  $r = r^* = \kappa - (\kappa - 1)s / (\pi Re \sin \varphi)$  угловая скорость жидкости равна нулю; при  $r^* < r \leq \kappa$  жидкость вращается в направлении, совпадающем с направлением среднего вращения тела  $\Xi$ , при том что для  $r^* < r < \kappa$  жидкость «отстает» от твердого тела; при  $1 \leq r < r^*$  жидкость вращается в направлении, противоположном направлению среднего вращения тела  $\Xi$ ; для  $s = \pi Re \sin \varphi$  выполняется:  $r^* = 1$ , и угловая скорость жидкости равна нулю при  $r = 1$ . Если  $s = 0$  то при  $1 \leq r < \kappa$  направление вращения жидкости определяется знаком  $\sin \varphi$  (при  $\sin \varphi < 0$  жидкость вращается в направлении, совпадающем с направлением вектора  $e_\theta$ , при  $\sin \varphi > 0$  жидкость вращается в направлении, противоположном направлению вектора  $e_\theta$ ); при  $r = \kappa$  угловая скорость вращения жидкости равна нулю. При  $s \sin \varphi > 0$ ,  $|s| > \pi Re |\sin \varphi|$  для больших значений  $Re |\sin \varphi|$  разность  $\kappa - r^*$  является малой по сравнению с разностью  $\kappa - 1$ ; это соответствует наличию такого движения жидкости, что (на фоне колебаний) в «очень тонкой области»  $r^* < r \leq \kappa$  жидкость вращается в направлении, совпадающем с направлением среднего вращения тела  $\Xi$ , а в «основной области»  $1 \leq r < r^*$  жидкость вращается в направлении, противоположном направлению среднего вращения твердого тела.

**4.** Из представленного в работе следует, что воздействия, не имеющие выделенного направления в пространстве, могут порождать качественные изменения в движении жидкости; по достигаемому влиянию на динамику гидромеханических систем такие воздействия способны эффективно конкурировать, например, со стационарными воздействиями на системы (см. также [2, 4]). Причиной обнаруженных эффектов является согласованность (друг с другом) оказываемых на жидкость воздействий. Гидромеханическая система, подвергающаяся периодическим по времени воздействиям, не имеющим выделенного направления в пространстве, производит отклики (реакции на воздействия), которые характеризуются наличием выделенного

направления в пространстве и выражаются в том, что свободные части системы (части системы, движение которых не задано) – в том числе, жидкие слои – на фоне колебаний совершают среднее движение. Это находится в непосредственной связи со следующим обобщенным принципом среднего движения: основополагающей причиной того, что не имеющими выделенного направления в пространстве периодическими по времени (колебательными, вибрационными) воздействиями на гидромеханическую систему порождается среднее по времени движение свободных частей системы, является возможность совершения свободными частями системы движения в различных направлениях в пространстве в неодинаковых условиях (см. в связи с этим также [2]). Изложенным в настоящей работе, в частности, демонстрируется, как «не имеющим направления» создается «имеющее направление».

### **Список использованных источников**

1. Челомей В. Н. Избранные труды. М.: Машиностроение, 1989. 336 с.
2. Сенницкий В.Л. Парадоксальное движение жидкости // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2017. № 8, ч. 1. С. 28–33. DOI: 10.17513/mjprfi.11753.
3. Сенницкий В.Л. Вынужденные вращательные колебания гидромеханической системы // Сборник статей Международной научно-технической конференции Минские научные чтения-2022 в 3 т. Минск, 07–09 декабря 2022 г. Минск: БГТУ, 2022. Т. 3. С. 181–186.
4. Сенницкий В.Л. Об особенностях течения жидкости в поле силы тяжести // Сибирские электронные математические известия. 2022. Т. 19, № 1. С. 241–247. DOI: 10.33048/semi.2022.19.018.

УДК 621.039.3

**М.П. Симонова-Лобанок**

Белорусский национальный технический университет  
Минск, Беларусь

### **ПОЛУЧЕНИЕ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭНЕРГИИ БЕЗ ГРАНИЦ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ**

*Аннотация.* Человечество в своем развитии подошло к краю пропасти, название которой глобальная экологическая катастрофа. Чтобы этого не



*случилось, необходимо уменьшить негативное воздействие человека на природу. Строительство АЭС на быстрых нейтронах - один из таких путей.*

**M.P. Simonova – Lobanok**  
Belarusian National Technical University  
Minsk, Belarus

## **OBTAINING AND USING ETERNAL ENERGY TO SOLVE ENVIRONMENTAL PROBLEMS**

***Abstract.** Humanity in its development has come to the edge of an abyss, the name of which is a global environmental catastrophe. To prevent this from happening, it is necessary to reduce the negative impact of humans on nature. The construction of fast neutron nuclear power plants - is one of these ways.*

Биосфера планеты Земля подошла к своим биофизическим пределам. Эти пределы уже близки, а в некоторых случаях уже и пройдены. В докладе «Глобальная экологическая перспектива» - (GEO-5), на Конференции ООН по устойчивому развитию в Рио-де-Жанейро (2012) предупреждается, что если человечество срочно не изменит нынешние модели производства и потребления природных ресурсов, то страны столкнутся с беспрецедентным уровнем разрушения и деградации [1].

Получение электроэнергии относят к основным экологическим проблемам современности. Угольные, нефтяные и газовые электростанции наносят экологический ущерб не только природе, но и биосфере в целом. По данным Международного энергетического агентства 81% мировой электроэнергии производится в результате сжигания ископаемого топлива. Воздух в окрестностях шахт и угольных электростанций наполняется углекислым газом, диоксидом серы, оксидом азота и пылью. Флора и фауна рядом с территорией выработок медленно вымирает. Постоянно растущий спрос на добычу углеводородов с целью их использования для получения электроэнергии ведет к глобальному потеплению. Продукты сгорания топлива – летучие газовые соединения поглощают солнечное тепло и нагревают планету, вызывая парниковый эффект. По мнению ученых уже к 2100 году средняя температура нашей планеты может увеличиться на 4%, что приведет к экологической катастрофе на Земле. Человечество должно искать пути уменьшения своего негативного воздействия на природу [4].

В феврале 2022 года Европейская комиссия признала атомную энергетику «зеленой», при условии, что АЭС будут соответствовать

всем стандартам безопасности. Находящиеся сейчас в эксплуатации атомные электростанции с тепловой электрогенерацией, являются потенциальным носителем экологических катастроф. Авария на ЧАЭС и АЭС Фукусима-1 тому яркое подтверждение. Существует и другая проблема при получении энергии в результате деления урана-235 – проблема утилизации радиоактивных отходов. В течении десятилетий в результате работы реакторов с тепловой электрогенерацией в мире накопилось более 300 тысяч тонн ядерных отходов. Частичная переработка радиоактивных отходов позволяет снизить объемы таких отходов, но не ликвидировать их полностью.

22 сентября 2022 года в РФ произошло, можно сказать, эпохальное событие, которое должно не только изменить к лучшему жизнь человечества, но и уменьшить существенно, негативное воздействие людей на окружающую среду. В этот день на Белоярской АЭС (Свердловская область) был впервые выведен на полную мощность энергоблок с реактором на быстрых нейтронах. Реактор на быстрых нейтронах – это ядерный реактор, в активной зоне которого нет замедлителей нейтронов. Такой тип реакторов позволяет превращать отработавшее ядерное топливо в новое топливо для АЭС, образуя замкнутый ядерно-топливный цикл. Реакторы на быстрых нейтронах в качестве теплоносителя используют не воду, а легкоплавкие металлы (натрий, свинец). В активную зону Белоярского реактора загружался не обычный уран -235, а так называемое МОКС – топливо. МОХ (Mixed- Oxide fuel) – ядерное топливо, которое содержит несколько видов оксидов плутония и урана. Данная технология позволяет не только перерабатывать ядерное топливо бесконечное количество раз, но и использовать его практически до бесконечности, т.к. в каждом последующем цикле реактор производит больше топлива, чем было в него заложено. При этом будут отсутствовать проблемы накопления отработавшего ядерного топлива. По этой схеме, реакторы на быстрых нейтронах будут и «готовить» новое топливо, и дожигать уран из отработавшего топлива. Получается, своего рода, вечный двигатель – источник энергии без границ. Кроме того, в реакторах на быстрых нейтронах можно использовать уран – 238, запасы которого составляют 99% природного запаса урана. В действующих АЭС используется уран- 235, запасы которого составляют менее 1% от природного урана. По расчетам ученых запаса урана-238 хватит на многие тысячелетия, тогда как запасов урана-235 хватит примерно на 150 лет [2].

Для решения задачи замыкания ядерного цикла нужны две вещи: первая – реактор, который работает не на обогащенном уране, а на

МОКС или другом топливе, где основной делящий материал – плутоний, вторая – наличие промышленного производство самого топлива. До этого, никому не удавалось в промышленном масштабе реализовать замкнутый ядерный цикл с быстрым реактором. Это большая победа Российской науки.

В настоящее время, в Северске (Томская область) на площадке Сибирского химического комбината началось строительство атомного энергоблока мощностью 300 мегаватт с инновационным реактором на быстрых нейтронах БРЕСТ-ОД-300 (Быстрый Реактор Естественной безопасности со Свинцовым Теплоносителем). Реактор станет частью опытно-демонстрационного энергетического комплекса. Вместо МОКС - топлива используют смесь нитридов урана и плутония. В этом комплексе в качестве теплоносителя вместо натрия используется свинец. Свинцовые реакторы обладают так называемой естественной безопасностью. В случае возникновения нештатной ситуации в их активной зоне выбросы радиоактивных веществ в атмосферу исключены. По плану реактор должен заработать до 2030 года. После успешного завершения данного проекта, человечество получит практически неисчерпаемый источник энергии. Параллельно будет решена задача по выводу ядерных отходов из топливного цикла без нарушения естественного радиационного баланса Земли. Проектируемый топливный цикл, данного проекта, обеспечит возврат ровно того же количества радиации, которое было извлечено из земных недр [3].

В будущем подобные установки сделают атомную энергетику не только более безопасной по сравнению с действующими АЭС, но и позволит существенно уменьшить негативное воздействие человека на природу. По прогнозам специалистов в 2050- м году реакторы на быстрых нейтронах будут активно строиться по всему миру.

За пределами России приоритет в строительстве реакторов на быстрых нейтронах должен принадлежать государствам, входящим в такие объединения, как Союзное государство, страны СНГ, ЕАЭС, ШОС и БРИКС. Такая география строительства АЭС на быстрых нейтронах позволит данным государствам получить не только экономическую выгоду, но и исключить экологические катастрофы регионального масштаба на своих территориях. Уже сегодня правительства, ученые, бизнесмены этих стран должны объединить свои усилия для успешного завершения проекта БРЕСТ-ОД-300 и начать подготовку к строительству на своих территориях АЭС на быстрых нейтронах.

## Список использованных источников

1. Доклад GEO -5. Конференция ООН по устойчивому развитию (“Рио +20”) 2012 г. [Электронный ресурс]. - Режим доступа [http://www.geo5\\_report\\_russian\\_low\\_res0](http://www.geo5_report_russian_low_res0). Дата доступа: 3.11.2023
2. Прокопенко А. Вечная энергия. [Электронный ресурс] .- Режим допуска <http://gia.ru>>. -Дата доступа:5.11.2023
3. Прохвталов В. [Электронный ресурс].- Режим доступа <http://www.mk.ru.science>>.- Дата доступа:6.11.2023
4. Симонова - Лобанок М.П. Общая экология: Монография / М.П. Симонова – Лобанок. - Минск: «Право и экономика», 2011, 75с.

УДК.504.05

**Ю.И. Болдилова, Ю.А. Суворова**

Тамбовский государственный технический университет  
Тамбов, Россия

### **ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ МЕТАЛЛООБРАБАТЫВАЮЩИХ ПРОИЗВОДСТВ**

*Аннотация.* Исследованы источники выбросов загрязняющих веществ металлообрабатывающего цеха машиностроительного предприятия. Изучена статистика данных выбросов по Тамбовской области. Разработана многоступенчатая технологическая схема очистки.

**Ju.I. Boldilova, Ju.A. Suvorova**

Tambov State Technical University  
Tambov, Russia

### **ENSURING ENVIRONMENTAL SAFETY OF METALWORKING INDUSTRIES**

*Abstract.* The sources of emissions of pollutants from the metalworking shop of a machine-building enterprise are investigated. The statistics of emission data for the Tambov region were research. A multi-stage technological scheme of cleaning has been developed.

Металлообрабатывающие производства – один из основных источников загрязнения атмосферы. По официальным данным, общее

количество выбросов загрязняющих веществ в атмосферу в РФ составляет 2,7010131 т/год. Данные представлены в таблице 1.

**Таблица 1 - Выбросы в атмосферу загрязняющих веществ металлургического производства (тысяч тонн в год) по России**

Год	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Кол-во	816,2	787,9	751,4	496,3	303,8	289,2	365,4	262,2	114,6	954,0	994,3	824,1

Несмотря на тенденцию снижения общего количества загрязнений в 2016 году, вопросы очистки отходящих газов металлоперерабатывающих производств являются актуальными в связи с содержанием в таких газах опасных для окружающей среды веществ: серная кислота, азотная кислота, соляная кислота, карбонат натрия, оксид углерода, гидроксид натрия, хлористый водород и т.д.

В таблице 2 представлены статистические данные по выбросам загрязняющих веществ, характерных для металлообрабатывающих производств, в Тамбовской области от стационарных источников.

**Таблица 2 – Выбросы загрязняющих веществ от стационарных источников в Тамбовской области**

Количество, тыс.т/год	Загрязняющие вещества	
	Аммиак	Оксид углерода
2007	56	17485
2008	62	16299
2009	63	15632
2010	70	15363
2011	70	15840
2012	81	16119
2013	82	15782
2014	87	15517
2015	94	15530
2016	96	15862
2017	101	16169
2018	97	16596

Как видно по данным, представленным в таблице 2, за исследуемый период наблюдается возрастание количества выбросов аммиака, что негативно сказывается на состоянии окружающей среды.

В качестве объекта исследования взято машиностроительное предприятие г. Тамбова. Проведены расчеты выбросов загрязняющих веществ от участков: гальванического, сварочного, газовой резки

металла, металлообработки, которые показали, что суммарно в год на предприятии может образовываться до 2,701 т/год загрязняющих веществ, которые условно можно разделить на группы:

- гетерогенные твердые примеси в виде тонко- и грубодисперсных аэрозолей: взвешенные вещества, пыль неорганическая, пыль абразивная, пыль древесная, общим количеством до 0,46 т/год.

- токсичные органические вещества: ацетон, ксилол, толуол, фтористый водород, серная кислота – до 0,61 т/год.

- кислотные примеси: фтористый водород, серная кислота, азотная кислота – до 0,003 т/год.

- вредные газы: диоксид азота, оксид углерода, аммиак, оксиды марганца – до 0,16 т/год

При попадании в окружающую природную среду данные вещества могут привести к глобальному потеплению, загрязнению почвы и водоемов, интоксикации живых организмов. В связи с этим для обеспечения экологической безопасности необходима разработка систем очистки отходящих газов металлообрабатывающих производств. Загрязняющие вещества имеют различные физико-химические свойства, для их удаления из газовых выбросов необходимо разработать многоступенчатую технологическую схему очистки на основе механических и физико-химических методов.

На первом этапе очистки необходимо удалить грубодисперсные примеси, для чего используется, как правило, фильтр грубой очистки; на второй ступени происходит очистка от тонкодисперсных примесей в электростатическом фильтре; на третьей ступени происходит обезвреживание кислотных примесей (монооксида углерода СО, оксидов азота NO<sub>x</sub>, фтористого водорода HF) в химическом фильтре, на четвертой – очистка от токсичных органических веществ активным углем в адсорбере.

Таким образом, в целях обеспечения экологической безопасности металлообрабатывающих производств, необходимо обеспечить комплексную многоступенчатую очистку отходящих газов от загрязняющих веществ.

### **Список использованных источников**

1. Исидоров, В. А. Экологическая химия / В. А. Исидоров. — СПб.: Химиздат, 2001. — 304 с.

**Ю.А. Суворова, К.С. Шабалкина**  
Тамбовский государственный технический университет  
Тамбов, Россия

## **ПЕРЕРАБОТКА АКТИВНОГО ИЛА ГОРОДСКИХ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ С ПОЛУЧЕНИЕМ БИОГАЗА**

*Аннотация.* Рассмотрена проблема накопления активного ила с сооружений биологической очистки городских сточных вод. Предложен способ утилизации активного ила анаэробным сбраживанием в метантенках. Рассчитан объем метантенков для переработки активного ила и объем образующегося биогаза.

**Yu.A. Suvorova, K.S. Shabalkina**  
Tambov State Technical University  
Tambov, Russia

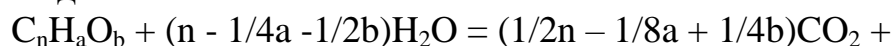
## **PROCESSING OF ACTIVATED SLUDGE FROM URBAN WASTEWATER TREATMENT PLANTS TO PRODUCE BIOGAS**

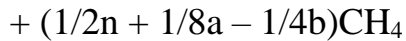
*Abstract.* The problem of accumulation of activated sludge from biological treatment facilities of urban wastewater is considered. A method of utilization of activated sludge by anaerobic digestion in methane tanks is proposed. The volume of methane tanks for the processing of activated sludge and the volume of biogas generated are calculated.

На городские очистные сооружения г. Тамбова ежедневно поступает 70 - 100 тыс. м<sup>3</sup> сточных вод, где они проходят очистку, а после сбрасываются в реку Цна. Сооружения биологической очистки представлены аэротенками, из которых иловая смесь поступает во вторичные отстойники, где происходит ее отделение от очищенной воды. Из вторичных отстойников активный ил поступает на фильтр-пресс для обезвоживания. В настоящий момент активный ил не используется, накапливается на иловых картах, приспособленных для хранения и сушки осадков сточных вод.

Для переработки активного ила, образующегося при очистке сточных вод, в полезный продукт и освобождения занимаемых им площадей при накоплении целесообразно его утилизировать. Как показал анализ научно-технических источников информации, одним из наиболее распространенных направлений утилизации активного ила является его анаэробное сбраживание с получением биогаза.

В общем виде уравнение реакции анаэробного сбраживания имеет вид:





Выделяемый биогаз состоит из метана и углекислого газа и может быть использован в котельных или нагревателях для получения пара и горячей воды, в стационарных газогенераторах для получения электроэнергии с рекуперацией тепла, в технологических процессах термосушки и сжигания осадков, в двигателях внутреннего сгорания или в дизельных двигателях. Свойства биогаза: плотность 1,22 кг/м<sup>3</sup>; теплотворная способность 4,5 - 6,5 кВт·ч/м<sup>3</sup>; содержание метана 55 - 65%; содержание углекислого газа 35 - 45%. Выход и состав биогаза зависит от состава исходного органического сырья.

Процесс сбраживания осуществляется в метантенках, представляющих собой реакторы с мешалкой, в которых поддерживается определенный температурный режим для обеспечения нормальной жизнедеятельности микроорганизмов: мезофильный при температуре от 25 до 40 °С или термофильный при температуре от 40 до 60 °С

Проведен расчет метантенка для сбраживания активного ила, образующегося в сооружениях биологической очистки городских сточных вод г. Тамбова в количестве 4600 т/г. Влажность активного ила составляет 77 %, содержание органических веществ – 16,56 %, зольность 6,44 %. Для расчета принимали термофильные условия сбраживания. Расчет был проведен в соответствии с методикой, представленной в [1].

В соответствии с проведенным расчетом, общий объем метантенков составил 47,77 м<sup>3</sup>. Масса распавшегося с образованием биогаза вещества составила 0,74 т/сут, с учетом того, что в среднем из 1 г распавшегося беззольного вещества осадка при сбраживании получается 0,9 дм<sup>3</sup> биогаза, выход газа из метантенков составил 666 м<sup>3</sup>/сут. Теплотворная способность биогаза в среднем составляет 5500 ккал/м<sup>3</sup>. Таким образом, при переработке активного ила очистных сооружений может быть получено  $3,663 \cdot 10^6$  ккал тепла в сутки.

### **Список использованных источников**

1. СП 32.13330.2018 Канализация. Наружные сети и сооружения.



УДК 338.48

**А.И. Антоненков, М.В. Михадюк,  
Л.М. Судиловская, Е.В. Михадюк**

Белорусский государственный экономический университет  
Минский государственный архитектурно-строительный колледж  
Минск, Беларусь

## **РЕКРЕАЦИОННЫЕ РЕСУРСЫ И ИХ ОЦЕНКА**

*Аннотация.* Представлена научная и практическая информация по природно-ресурсному потенциалу Беларуси. Рассмотрена возможность использования данных ресурсов в рекреационных целях. Проанализированы рекреационные ресурсы Беларуси, дана их оценка и перспективы использования.

**A.I. Antonenko, M.V. Mikhadyuk,  
L.M. Sudilovskaya, E.V. Mikhadyuk**

Belarusian State University of Economics  
Minsk State College of Architecture and Civil Engineering  
Minsk, Belarus

## **RECREATIONAL RESOURCES AND THEIR ASSESSMENT**

*Abstract.* Scientific and practical information on the natural resource potential of Belarus is presented. The possibility of using these resources for recreational purposes is considered. Recreational resources of Belarus are analyzed, their assessment and prospects of use are given.

На современном этапе исторического развития большая часть населения обладает достаточным количеством материальных ресурсов и свободного времени, чтобы обеспечить удовлетворение своих рекреационных потребностей с целью повышения комфортности жизни.

Рекреация приобрела значительный удельный вес в социально-экономической структуре общественного производства. Рекреация и рекреационная деятельность становится существенной статьёй экономического, социального, культурного развития территорий. За счет внутренней и внешней рекреационной деятельности происходит неизбежная ассимиляция национальных культур, сглаживаются межнациональные различия и конфликты.

Социально-экономической основой развития рекреации и рекреационной деятельности является наличие рекреационных ресурсов на какой-то определенной территории.

Прогнозирование, планирование и осуществление рекреационной деятельности требует качественной оценки рекреационных ресурсов с целью наиболее эффективного их использования, воспроизводства и охраны.

Оценка рекреационных ресурсов должна проводиться с учетом комплекса показателей и с четким указанием объекта оценки и его субъектов.

Оценка природных рекреационных ресурсов проводится в несколько этапов:

1-й этап – выделяется объект оценки – природный комплекс, природная территория, отдельный рекреационный ресурс;

2-й этап – определяется субъект, с позиции которого ведется оценка, – рекреант, государственно-административный орган, организатор рекреационной деятельности и др.;

3-й этап – формулируются критерии оценки, которые определяются как ее масштабом и целью, так и субъектом оценки;

4-й этап – разрабатываются параметры оценочной шкалы градации. Любая шкала – синтетическая, так как она, собственно, и есть оценка ресурса. Шкалы показывают оценочные отношения между объектом и субъектом. Каждая ступень шкалы является показателем интенсивности взаимодействия свойства данного оцениваемого объекта и состояния субъекта оценки. Чаще всего используются трех-, четырех- или пяти-, шестиступенчатые шкалы, включающие такие ступени. Как наиболее благоприятные; благоприятные; умеренно благоприятные; малоблагоприятные; неблагоприятные [1].

В рекреационной географии общеприняты три основных типа оценки природных рекреационных ресурсов: медико-биологический, психолого-эстетический и технологический.

При медико-биологическом типе оценки рассчитываются оценки климатических, гидрологических, геологических и геоморфологических, биологических, бальнеологических и бальнеогрязевых ресурсов, так как этот тип оценки отражает прежде всего влияние природных факторов на организм человека.

Система условных (эффективных) температур, которыми характеризуется комплексное воздействие метеорологических элементов – температуры воздуха, относительной влажности, скорости ветра, солнечной радиации и длинноволнового излучения. Применяя метод условных температур, выявляется зона комфорта, вне которой человек ощущает либо охлаждение, либо перегревание.

Метод комплексной климатологии учитывает влияние всего комплекса метеорологических элементов на организм человека.

Оцениваются такие показатели, как погода суток, погода момента, контрастность смен погоды.

Оценка культурно-исторических рекреационных ресурсов с точки зрения возможности их вовлечения в рекреационную деятельность включает несколько этапов.

На первом этапе проводится учет и дается характеристика объекта или культурно-исторического комплекса. При этом указываются название объекта, его местонахождение, маркировка, обладатель (владелец), все имеющиеся литературные и иные источники информации по объекту, составляется схема местоположения объекта, дается его краткое описание.

На втором этапе определяется типология объекта по рекреационной значимости. В основе типологии лежит информационная сущность культурно-исторических объектов: уникальность или типичность объектов данного вида, познавательное, воспитательное, эстетическое значение, привлекательность.

Критериями памятников градостроительства и архитектуры служит их историко-культурная и художественная ценность, которая определяется специалистами в области истории архитектуры и находит отражение в списках памятников, принятых на государственную охрану, сводах памятников архитектуры, списках памятников всемирного историко-культурного наследия ЮНЕСКО, иных документах.

При проведении экономической оценки культурно-исторических объектов учитывается их историческое, культурное, политическое и общественное значение. В качестве показателя экономической оценки обычно принимается прямой экономический эффект от рекреационной эксплуатации объекта в виде платы за вход, проведения экскурсий, продажи сувениров, буклетов и других мероприятий, а также скрытый экономический эффект от их познавательной и воспитательной информативности. Обычно экономическая эффективность от рекреационного использования памятников меньше, чем эксплуатационные затраты на его содержание, реставрацию, охрану. Чаще всего требуется экономическая поддержка, частных спонсоров, других заинтересованных лиц.

В Беларуси статус историко-культурной ценности придается наиболее значимым памятникам архитектуры и истории, которые имеют отличительные исторические, документальные и духовные черты. Они включаются в Государственный список историко-культурных ценностей, ведение которого является компетенцией Министерства культуры Республики Беларусь.

Основным нормативным актом, регулирующим оценку историко-культурных ценностей, является Указ Президента Республики Беларусь от 19.04.2007 г. №190 «О порядке оценки стоимости культурных ценностей», в соответствии с которым оценка стоимости недвижимых материальных памятников архитектуры, истории и градостроительства осуществляется на основании рыночного метода оценки с учетом факторов их исторической и культурной значимости [1].

Также следует отметить, что каждая территория имеет определенный потенциал, выражающийся в совокупности ресурсов и условий для ее освоения в различных отраслях хозяйственной деятельности. Потенциальные возможности территории реализуются через общественные потребности, которые проявляются в форме различных видов природопользования.

Разнообразие видов природопользования на определенной территории зависит от ее ресурсной обеспеченности и условий ее освоения, структуры и характера общественных потребностей и площади территории.

Количество видов природопользования, возможное на конкретной территории, определяется такими факторами, как:

- структура и характер общественных потребностей;
- ресурсы данной территории и условия их освоения;
- виды сложившегося природопользования на сопредельных территориях;
- величина территории.

В связи с этим рекреационный потенциал представляет собой один из видов потенциальных возможностей использования территории.

Для оценки эффективности менеджмента туристической организации важное значение имеет определение соответствия системы управления и ее организационной структуры объекту управления. Это находит выражение в сбалансированности состава функций и целей управления, оптимальности распределения прав и ответственности, соответствии численности состава работников объему и сложности работ, полноте обеспечения процессов управления требуемой информацией, техническими и коммуникационными средствами [2].

Использование] научного потенциала и проведенные учеными комплексные исследования на заповедной территории и на прилегающих участках позволят научно обосновать допустимый уровень антропогенной нагрузки на различные экосистемы и развивать

экологический туризм в научно обоснованных рамках и масштабах, сохраняя целостность и устойчивость природных комплексов.

Рост популярности сельского и экологического туризма во всем мире свидетельствует о том, что человечество устало от искусственно созданной им же самой среды и готово вернуться к изначальным базовым ценностям: чистый воздух и родниковая вода, натуральные продукты питания и ощущение неразрывного единства с окружающей природой. Таким образом, потребность в таком виде отдыха будет расти и это обеспечит перспективы развития данной отрасли в Беларуси.

### Список использованных источников

1. Челноков, А.А. Рекреационные ресурсы / А.А. Челноков, Л.Ф. Ющенко, А.Ф. Мирончик: учеб. пособие. – Минск: Высшая школа, 2017. – 430 с.

2. Михадюк, М.В. Информационно-рекламное обеспечение туристского и экскурсионного движения / М.В. Михадюк, А.И. Антоненков, Л.М. Судилова // Экономический рост Республики Беларусь: глобализация, инновационность, устойчивость: материалы XV Междунар. науч.-практ. конф. (Минск, 19-20 мая 2022 г. / [редкол.: А.В. Егоров (отв. ред.) и др.]; М-во образования Респ. Беларусь, УО "Белорусский гос. экон. ун-т". — Минск: БГЭУ, 2022. — С. 278–279.

УДК 630\*232

**Д.А. Тагильцев<sup>1</sup>, Д.Д. Мамочкина<sup>1</sup>, П.Г. Мельник<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>МФ Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана (Национальный исследовательский университет)

<sup>2</sup>Институт лесоведения РАН

Россия

### **РОСТ И ПРОДУКТИВНОСТЬ ОМСКОГО ЭКОТИПА ЛИСТВЕННИЦЫ СИБИРСКОЙ В ЧИСТЫХ И СМЕШАННЫХ С ЕЛЬЮ И СОСНОЙ НАСАЖДЕНИЯХ В УСЛОВИЯХ МОСКВОРЕЦКО-ОКСКОЙ РАВНИНЫ**

*Аннотация.* В 65-летнем возрасте омский экотип лиственницы сибирской, в чистых по составу насаждениях характеризуется высокой продуктивностью 698 м<sup>3</sup>/га, в насаждениях смешанных с елью европейской и сосной обыкновенной запас ниже. Для выращивания рентабельных крупномерных сортиментов наиболее приемлемо смешанные лиственницы с елью европейской.

**D.A. Tagiltsev<sup>1</sup>, D.D. Mamochkina<sup>1</sup>, P.G. Mel'nik<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>Mytishchi Branch of Bauman Moscow State Technical University  
(National Research University)

<sup>2</sup>Institute of Forest Science Russian Academy of Sciences  
Russia

## **THE GROWTH AND PRODUCTIVITY OF THE OMSK ECOTYPE OF *LARIX SIBIRICA* IN PURE AND MIXED WITH *PICEA ABIES* AND *PINUS SYLVESTRIS* PLANTATIONS IN CONDITIONS OF MOSKWORETSK-OKSK PLAIN**

*Abstract.* In 65 years old conditions the Omsk ecotype, in pure, by composition, plantations is characterized by high productivity 698 m<sup>3</sup>/heaters in plantations, in mixed with European *Picea abies* and *Pinus sylvestris* the supply is lower. For growing rentable large-size species the most reasonable are mixed *Larix sibirica* with *Picea abies*.

Географические культуры представляют собой один из приёмов лесной селекции, выявляющие ценные наследственные особенности инорайонных популяций [1]. Среди спектра испытанных в географических культурах Бронницкого участкового лесничества провениенций, отдельные экотипы лиственницы сибирской отличаются хорошей динамикой роста и высокой продуктивностью [2], не уступающей эталонным культурам лесовода К.Ф. Тюрмера [3]. Лиственница, в условиях Подмосковья, относится к ценным породам, поскольку имеет высокую продуктивность, а прекрасные результаты возобновления за пределами естественного ареала показывают устойчивость и жизнённость этой породы в новых условиях, что особенно важно для пород-интродуцентов [4].

Опыт с экотипом №3 лиственницы сибирской, происхождением из Тарского района Омской области, заложен в 1955 году. В 50-летнем возрасте, таксационная характеристика Омского экотипа была следующей: высота 25,4 м, средний диаметр 20,0 см, запас 679 м<sup>3</sup>/га, средний прирост 13,6 м<sup>3</sup>/га, текущий прирост – 15,6 м<sup>3</sup>/га [5].

При очередном перечёте, выполненном в октябре 2020 года, объектами исследований являлись три варианта Омского экотипа лиственницы сибирской: чистые культуры, а также смешанные с елью европейской и сосной обыкновенной местного происхождения. В 65-летнем возрасте в чистом по составу насаждении, Омский экотип сохранил высокий потенциал роста и продуктивности: средний прирост достигал величины – 10,7 м<sup>3</sup>/га, запас – 698 м<sup>3</sup>/га. В 65-летнем возрасте культуры характеризовались ростом по Ib классу бонитета; средняя высота 27,9 м, средний диаметр 22,6 см. В смешанных культурах средний диаметр лиственницы равен 30,0 см, ели – 19,2 см,

сумма площадей переченого сечения – 49,7 м<sup>2</sup>/га, из них лиственницы – 39,8 м<sup>2</sup>/га. Порода характеризовались Ia классом бонитета, средняя высота лиственницы – 27,3 м, запас ниже – 489 м<sup>3</sup>/га.

**Таблица 1 – Результаты роста Омского экотипа лиственницы в чистых и смешанных с елью и сосной насаждениях в географических культурах Бронницкого лесничества**

Состав	H <sub>ср</sub> , м	D <sub>1.3</sub> , см	G, м <sup>2</sup> /га	N, шт/га	M, м <sup>3</sup> /га	Z <sub>M</sub> , м <sup>3</sup>	V <sub>ств</sub> , м <sup>3</sup>
100Л	27,9	22,6	52,6	1175	698	10,7	0,594
80Л	27,3	30,0	39,8	544	489	7,5	0,898
20Е	22,1	19,2	9,9	304	119	1,8	0,391
			49,7	848	608	9,3	0,717
43Л	26,4	22,4	23,5	536	311	4,8	0,580
57С	32,6	30,6	29,2	385	417	6,4	1,083
			52,7	921	728	11,2	0,790

Смешение с сосной негативно отразилось на продуктивности лиственницы, её диаметр 22,4 см, сосна лидирует – 30,6 см, общая площадь поперечного сечения – 52,7 м<sup>2</sup>/га, из них лиственницы – 23,5 м<sup>2</sup>/га, средняя высота лиственницы – 26,4 м, а запас всего – 311 м<sup>3</sup>/га, общий запас насаждения значительно выше чем в лиственнично-еловых культурах – 728 м<sup>3</sup>/га. Средний объём ствола лиственницы в 50-летнем возрасте был 0,426 м<sup>3</sup>, а в 65-летнем – 0,594 м<sup>3</sup>, самая крупномерная древесина формируется у лиственницы при смешении с елью европейской – 0,898 м<sup>3</sup>.

Выполненные исследования, позволяют сделать следующие выводы:

2. Опыт выращивания географических культур Бронницкого лесничества показал, что в условиях сложных суборей, Омский экотип лиственницы сибирской в чистых культурах формирует устойчивое и высокопродуктивное насаждения с высоким запасом стволовой древесины.

2. Тип лиственнично-еловых лесных культур способствует формированию крупномерной древесины, средний объём ствола лиственницы достигает 0,898 м<sup>3</sup>, при смешении с сосной только 0,580 м<sup>3</sup>.

3. Смешение лиственницы сибирской с сосной обыкновенной нецелесообразно по причине высокого светолюбия обеих древесных пород. Производительность лиственницы в смешанных лиственнично-сосновых культурах значительно ниже, чем в лиственнично-еловых насаждениях.

## Список использованных источников

1. Мерзленко М.Д., Мельник П.Г. Значение географических лесных культур в сохранении биологического разнообразия древесных растений // Биологическое разнообразие лесных экосистем. – М.: Типография Россельхозакадемии, 1995. – С. 325-327.
2. Тимофеев В.П. Лесные культуры лиственницы. – М.: Лесная промышленность, 1977. – 216 с.
3. Мерзленко М.Д., Мельник П.Г., Маликов А.Н. Динамика роста лиственнично-еловых лесных культур К.Ф. Тюрмера // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2020. – Т. 24. – № 2. – С. 11–16. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-2-11-16
4. Мельник Л.П., Мерзленко М.Д. Динамика участия лиственницы в составе естественного возобновления за пределами её ареала // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. – 2021. – №4 (52). – С. 19-31.
5. Melnik P.G., Karasyov N.N. Productivity of different larch types in Moscow region // Eurasian Forests – Hungarian Forests: Materials of the VI International Conference of Young Scientists. – М.: MSUF, 2006. – P. 83-85.

УДК 620.9

**С.А. Тағоев**

Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими  
Душанбе, Таджикистан

## ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ВОДОРОДНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ В УСЛОВИЯХ РЕСПУБЛИКИ ТАДЖИКИСТАН

*Аннотация.* Научная статья посвящена анализу перспективных направлений развития водородной энергетики в условиях Республики Таджикистан и проблем, которые необходимо решить для их реализации.

**S.A. Tagoev**

Tajik Technical University named after Academician M.S. Osimi  
Dushanbe, Tajikistan



## PROMISING DIRECTIONS FOR THE DEVELOPMENT OF HYDROGEN ENERGY IN THE INTERESTS OF THE REPUBLIC OF TAJIKISTAN

*Abstract.* The scientific article is devoted to the analysis of promising directions for the development of hydrogen energy in the conditions of the Republic of Tajikistan and the problems that need to be solved for their implementation.

Водородная энергетика является одним из направлений развития возобновляемых источников энергии на фоне ограничения выбросов парниковых газов, потребности улучшения экологической ситуации, особенно качества атмосферного воздуха крупных городов, поиска решений аккумуляции энергии.

Для развития «зеленой» водородной энергетике (производство водорода путем электролиза воды с возобновляемым источником электроэнергии), в конкретно взятой стране, необходим ряд условий:

- наличие доступной и относительно дешевой электроэнергии от возобновляемых источников;
- доступность пресной воды;
- заинтересованность инвесторов;
- наличие специалистов по водородной энергетике;
- наличие инфраструктуры по хранению и транспортировке водорода;
- нормативно-правовая база в области водородной энергетике, особенно по технике безопасности, по хранению, транспортировке водорода и эксплуатации соответствующих оборудования.

Первые два пункта можно назвать «фундаментом» водородной энергетике, которые имеются в Таджикистане (пресная вода) или появятся в ближайшем будущем (дешевая электроэнергия от возобновляемых источников). Остальные пункты зависят от стремления общества по созданию водородной энергетике, и которые можно решить в течении короткого времени.

В Таджикистане преобладает «зеленая» энергетика, так как примерно 93% установленной мощности электростанций или 97% годовой электрической энергии производится на основе возобновляемых источников энергии – гидроэлектростанциях. Таджикистан обладает высоким гидроэнергетическим потенциалом (527 млрд. кВт·ч в год), из которого сегодня используется только около 5%. Строится и сдается в эксплуатацию еще один источник «зеленой» энергии - Рогунская ГЭС. Ввод в эксплуатацию всех шести гидроагрегатов запланирован на 2029 год, набор проектной отметки НПУ водохранилища — 2032 год. Проектная мощность Рогунской ГЭС

равна 3600 МВт с 6-ю агрегатами по 600 МВт каждый и годовой выработкой электроэнергии 13,1 млрд. кВт·ч/год [1].

Дешевая и доступная электроэнергия позволяет обеспечить потребность страны другими видами энергий, так как электроэнергию можно легко преобразовать в другие виды энергии. Одно из перспективных направлений, который нуждается в дешевой и доступной электроэнергии, является “зеленое” производство водорода [2]. В летнее время, когда потребность в энергии уменьшается, есть возможность направить часть электроэнергии гидроэлектростанций на производство «зеленого» водорода.

Промышленное производство водорода на основе дешевой и доступной электроэнергии позволяет создать несколько “зеленых” направлений техники и технологий, в частности:

- создание и эксплуатация теплоэлектроцентралей на водороде, и их эксплуатация в отопительном сезоне (рис. 1). При сжигании водорода продуктом сгорания является только водяной пар;

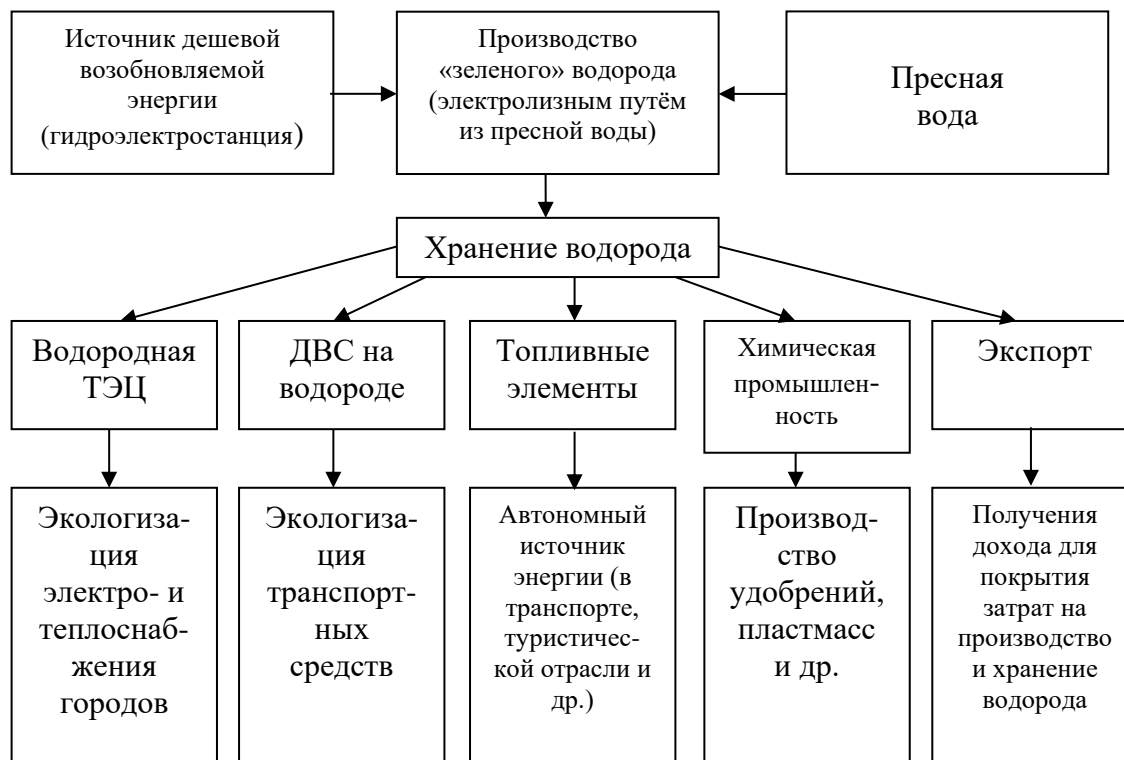
- применения водорода в качестве топлива в двигателях внутреннего сгорания (ДВС) транспортных средств, что наряду с электротранспортом улучшает экологическую обстановку городов;

- производство топливных элементов и их применение в качестве автономного источника электроэнергии в объектах непрерывного электроснабжения, в транспорте, туристической отрасли, в быту и т.д.;

- применение в химической промышленности, при производстве удобрений, пластмасс и т.д.;

Часть производимого водорода можно направить на экспорт, чтобы получить доход для покрытия затрат на производство и хранение и транспортировку водорода.

Проблемой является хранения водорода при высоком давлении и себестоимость производства водородного топлива;



**Рис. 1 - Перспективные направления развития водородной энергетики в Таджикистане**

Себестоимость производства водорода зависит от технологии, стоимости электроэнергии и уровня загрузки мощностей. На сегодняшний день, «зеленый» водород должен стоить не более \$2,5 за 1 кг, чтобы быть конкурентоспособным. Для этого необходима и низкая цена электролиза, и дешевая электроэнергия. В качестве источника дешевой электроэнергии может выступать ГЭС в летнее время (неотопительный сезон).

Теплота сгорания водорода - 140 МДж/кг, что в несколько раз больше теплоты сгорания углеводородных топлив. Затраты на получение водорода электролизом составляет от 160 МДж/кг = 44,4 кВт·ч. Себестоимость производства водорода при цене электроэнергии для промышленных потребителей в Таджикистане 0,056\$ составит  $44,4 \text{ кВт}\cdot\text{ч} \times 0,056 = 2,49\$/\text{кг}$ , что показывает конкурентоспособность водорода с другими видами топлива. В летнее время можно применять более низкие тарифы на электроэнергию для отдельных отраслей промышленности, в частности, производства водорода.

До 2032 года в Таджикистане появится доступная и дешевая электроэнергия, благодаря введению на полную установленную мощность Рогунской ГЭС. До этого времени необходимо привлечь инвесторов по созданию предприятий по производству «зеленого» водорода, инфраструктуру по хранению и транспортировке водорода.

Также необходимо начать подготовку кадров, по всему спектру водородной энергетики и промышленности, создание законодательной базы по безопасному использованию, эксплуатации и хранению водорода. Таджикистану, как стране с развивающейся экономикой, следует обратиться к развитым странам-разработчикам и производителям оборудования по производству, хранению и применению водорода (электролизёры, водородно-кислородные парогенераторы и др.) за финансовой и технологической помощью, чтобы страна смогла создать свою водородную энергетику [3].

Таким образом, производства «зеленого» водорода методом электролиза на основе дешевой электроэнергии ГЭС позволят создать и развивать новое направление в «зеленой» энергетике Таджикистана – водородную энергетику, создать водородную ТЭЦ, повысить экологическую безопасность энергоснабжения городов, создать новые рабочие места. Освоение «зеленого» водорода может стать важным шагом к достижению важнейших целей: укрепление климатической стабильности, энергетической и экономической безопасности и современному развитию Республики Таджикистан.

### Список использованных источников

1. Рогунская ГЭС. <https://ru.wikipedia.org>.
2. Водородная энергетика. <https://ru.wikipedia.org>.
3. Валамат-Заде Т.Г. Краткий обзор возможностей и перспективы развития водородной энергии в Таджикистане. <https:// mts.tj>.

УДК 504.3.054

**Ю.А. Тунакова<sup>1</sup>, С.В. Новикова<sup>1</sup>, А.Р. Шагидуллин<sup>2</sup>, В.С. Валиев<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Казанский национальный исследовательский технический университет  
им. А. Н. Туполева (КАИ)

<sup>2</sup>Институт проблем экологии и недропользования Академии наук  
Республики Татарстан  
Казань, Россия

### СПОСОБ НЕЙРОСЕТЕВОГО РАСЧЁТА КОНЦЕНТРАЦИЙ ПАРНИКОВОГО ГАЗА ДИОКСИДА УГЛЕРОДА

*Аннотация.* Значительные пространственно-временные ограничения по определению содержания диоксида углерода могут быть нивелированы за счет

использования инновационных информационных технологий. Нами использованы сочетания традиционных и инновационных интеллектуальных расчетных технологий для определения концентраций диоксида углерода в воздушном бассейне г. Казани.

**Yu.A. Tunakova<sup>1</sup>, S.V. Novikova<sup>1</sup>, A.R. Shagidullin<sup>2</sup>, V.S. Valiev<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Kazan National Research Technical University named after A. N. Tupolev (KAI)

<sup>2</sup>Institute of Ecology and Subsoil Use Problems Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan  
Kazan, Russia

## **A METHOD FOR NEURAL NETWORK CALCULATION OF GREENHOUSE GAS CONCENTRATIONS OF CARBON DIOXIDE**

***Abstract.** Significant spatial and temporal limitations on the determination of carbon dioxide content can be leveled through the use of innovative information technologies. We used a combination of traditional and innovative intelligent calculation technologies to determine the concentrations of carbon dioxide in the air basin of Kazan.*

В настоящее время большинство климатологов считает, что именно диоксид углерода является основной причиной изменения климата вследствие постоянного роста объема сжигания ископаемого топлива [1]. При этом в нашей стране измерения концентраций диоксида углерода имеют значительные пространственно-временные ограничения. На территории Республики Татарстан измерения концентраций диоксида углерода проводятся на двух автоматизированных постах наблюдений в г. Казань, одном посту в г. Нижнекамске и одном посту в пгт. Нижняя Мактама, Альметьевский м.р. В настоящий момент сведения о выбросах по территории РТ парниковых газов есть в разрезе отраслей промышленности, но не по отдельным предприятиям и источникам выбросов. Рассчитать концентрации диоксида углерода по регламентированным расчетным методикам не представляется возможным, поскольку данные инвентаризации источников выбросов, являющиеся входными параметрами методик расчета рассеивания, отсутствуют. Использование нейросетевых подходов для расчета концентраций примесей в приземном слое атмосферного воздуха позволяет учесть все трудно моделируемые скрытые зависимости между факторами, формирующими уровень загрязнения приземного слоя атмосферного воздуха [2]. В связи с этим был разработан принципиально новый подход, основанный на расчете концентраций CO<sub>2</sub> с учетом химической трансформации примесей в атмосферном воздухе.

В состав отходящих газов, образующихся при сжигании любого вида топлива, в том числе и ископаемого углеродного сырья, в реальных условиях входит также ряд загрязняющих веществ, среди которых оксиды азота и оксид углерода СО –угарный газ. Оксиды азота образуются вследствие окисления атмосферного азота или азотсодержащих топливных примесей. Оксид углерода образуется вследствие недожога топливного углерода. Таким образом, указанные вещества являются неизменными «спутниками» диоксида углерода в реальных промышленных процессах горения, что влечет наличие некоторой взаимосвязи между концентрациями этих газов.

Тот факт, что в экспериментально измеренных автоматизированных постах концентрациях диоксида углерода, помимо поступивших в атмосферный воздух с выбросами из стационарных источников, есть доля диоксида углерода, образовавшегося в ходе вторичных реакций из оксида углерода, может служить основанием для использования концентраций СО в качестве исходных данных для расчета СО<sub>2</sub>. При этом в модели необходимо учитывать процессы превращения веществ в атмосфере.

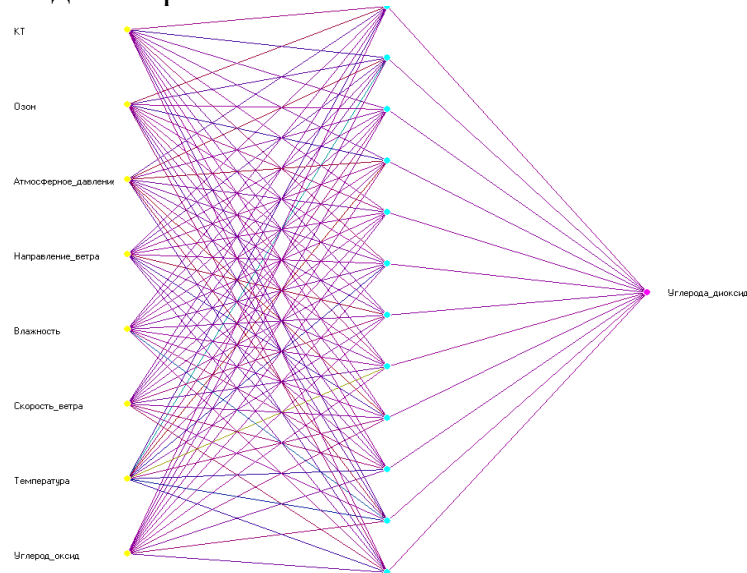
Для коррекции рассчитанных Универсальной программой расчета загрязнения атмосферы (УПРЗА) «Эколог-Город» концентраций оксида углерода в атмосферном воздухе разработана нейросетевая модель типа MLP (многослойный персептрон прямого распространения). После ввода исходных данных в нейросетевой генератор Loginot, система автоматически подобрала оптимальную архитектуру модели:

- Количество входных нейронов – 6
- Количество выходных нейронов – 1: скорректированное значение примеси.
- Количество скрытых слоев -1
- Количество нейронов в скрытом слое – 4
- Функция активации нейронов скрытого слоя – гиперболический тангенс
- Функция активации нейрона выходного слоя – линейная

Для программной реализации расчетного нейросетевого блока значений СО<sub>2</sub> необходимо предварительно реализовать вспомогательный блок статистического расчета коэффициента трансформации КТ, исходя из измеренных значений оксида и диоксида азота, что подробно описано нами в работе [3].

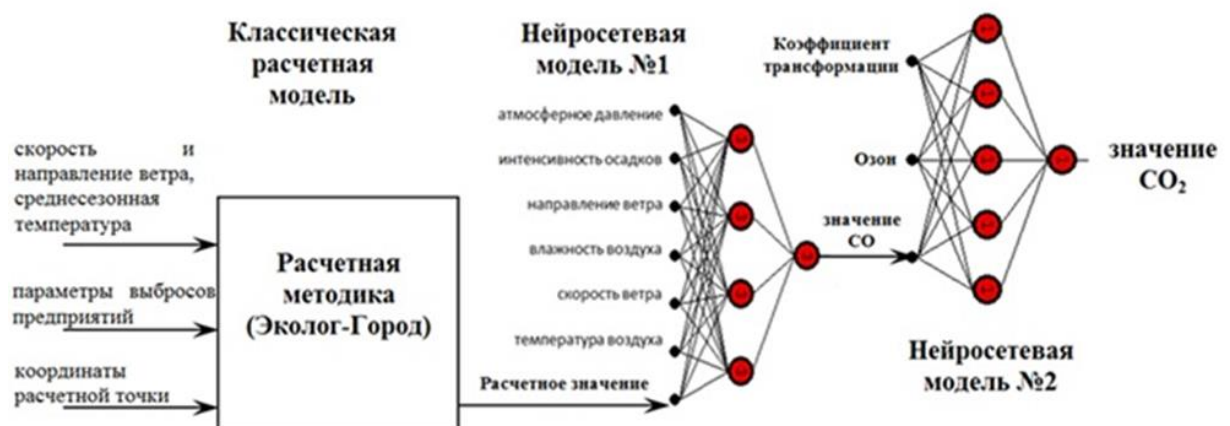
Графическое представление архитектуры спроектированной нейросети иллюстрирует на рис.1. Более подробно проектирование и обучение нейросети для расчета концентраций диоксида углерода

описано нами в работе [4]. Средняя ошибка модели по всему множеству данных составила менее одного процента – 0,87%. Фрагмент данных, сочетающий в себе кортежи всех трех выделенных кластеров, демонстрирующий точность итоговой нейросетевой модели расчета концентраций диоксида углерода в приземном слое атмосферного воздуха, приведен на рис. 3.

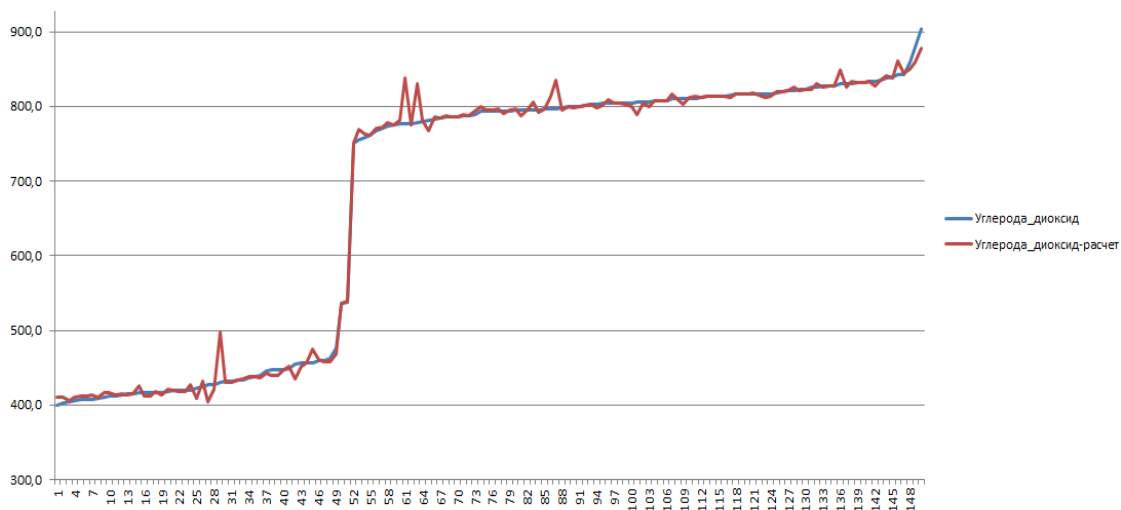


**Рис.1- Архитектура нейросети для расчета концентраций диоксида углерода в атмосферном воздухе**

Концепцию организации последовательности вычислительных процессов представляет рис. 2.



**Рис. 2. - Последовательность вычислительных блоков модели для расчета концентраций диоксида углерода**



**Рис. 3 - Графическое представление фрагмента результатов моделирования концентраций CO<sub>2</sub> нейросетевой моделью в сравнении с экспериментально измеренными эталонными значениями после кластеризации для г. Казани**

Итоговый сценарий, соответствующий всем этапам построения и использования гибридной интеллектуальной модели расчета уровня диоксида углерода в атмосферном воздухе реализован в программе (свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022618230 «Программа нейросетевого расчета концентраций парниковых газов» авторы: Новикова С.В., Тунакова Ю.А., Шагидуллин А.Р.). Более подробно этапы расчета приведены в работе [5].

В результате проведенных исследований нами разработан способ и программа получения расчетных значений концентраций парниковых газов на примере диоксида углерода в условиях отсутствия информации о параметрах источников выбросов данного вещества. Вычислительные эксперименты продемонстрировали высокую точность предложенного подхода.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования в рамках программы «Приоритет 2030».*

### **Список использованных источников**

1. Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.



2. Нечаев Ю.И. Нейронечеткое моделирование активных динамических систем // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. 2018. № 1. С. 3-12.

3. Оценка коэффициента трансформации оксидов азота в приземном слое атмосферы Нижнекамского промышленного узла / И.Г. Григорьева, Ю.А. Тунакова, В.С. Валиев [и др.] // Вестник Казанского технологического университета. 2015. – №19. – С.242-244.

4. Ю.А. Тунакова, С.В. Новикова, А.Р. Шагидуллин, В.С. Валиев Нейросетевой расчет концентраций диоксида углерода// Южно-Сибирский научный вестник. – 2021. – № 6. – С. 18-23.

5. Тунакова Ю.А., Новикова С.В., Шагидуллин А.Р., Валиев В.С. Нейросетевой алгоритм и гибридная модель для расчета концентраций парникового газа диоксида углерода // Системы контроля окружающей среды. 2023. Вып. 3 (53). С. 133-140. DOI: 10.33075/2220-5861-2023-3-133-140

**В.А. Фёдорова, В.Ф. Кириченко, Г.В. Глазырин**  
Новосибирский государственный технический университет  
Новосибирск, Россия

## **РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО ВКЛЮЧЕНИЯ ГЕНЕРИРУЮЩЕГО ОБОРУДОВАНИЯ НА ПАРАЛЛЕЛЬНУЮ РАБОТУ С ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМОЙ**

*Аннотация.* Синхронизация – операция по включению генераторов на параллельную работу с энергосистемой. В рамках исследования разработана автоматическая система синхронизации, реализованная на базе микропроцессорного терминала КПА-М с возможностью включения генераторов различными методами: точной и ускоренной синхронизации.

**V.A. Fyodorova, V.F. Kirichenko, G.V. Glazyrin**  
Novosibirsk State Technical University  
Novosibirsk, Russia

## **AUTOMATIC SWITCHING SYSTEM DEVELOPMENT FOR PARALLEL OPERATION WITH ELECTRIC POWER SUPPLY**

*Abstract.* Synchronization is a complex operation for switching generator to an electric energy system for parallel operation. The authors propose an automatic synchronization system, implemented on the basis of the CEA-M microprocessor terminal with the possibility of turning on generators using various methods: accurate and accelerated synchronization.

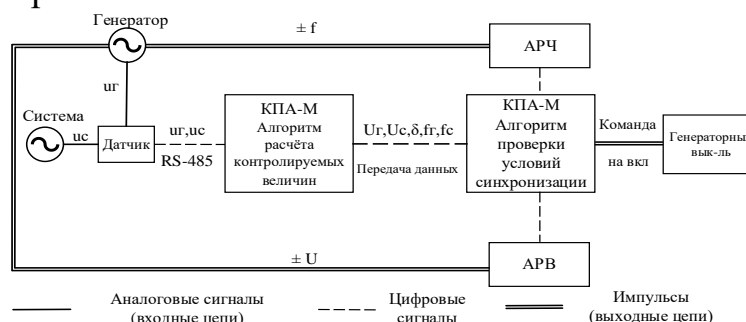
Синхронизация – это процесс, осуществляющий корректное включение синхронных генераторов на параллельную работу с остальными частями электроэнергетической системы (ЭЭС). К данному процессу относится как включение вновь устанавливаемого оборудования и оборудования после ремонтов, так и вынужденный быстрый ввод резервов генерации для ликвидации аварийных ситуаций [1].

На практике процесс синхронизации сопряжен с некоторыми трудностями. Во-первых, при выполнении синхронизации вручную возрастает вероятность неуспешности процесса в силу наличия человеческого фактора. Это приводит как к износу оборудования, так и к его возможному повреждению. Вторая проблема – нерациональность использования лишь одного метода синхронизации для пуска

оборудования. В некоторых случаях требуется быстрый ввод резервов генерации. Проблема исследования заключается в отсутствии интеллектуальной системы синхронизации, способной функционировать в условиях неопределенности режима ЭЭС и производить синхронизацию различными методами. На основании недостатков алгоритмов работы существующих устройств принято решение по разработке автоматической системы синхронизации на базе комплекса КПА-М (производство новосибирской компании «ИАЭС»).

Актуальность исследования заключается в разработке и настройке автоматической мультифункциональной системы синхронизации, которая позволит решить описанные выше проблемы. Такая система способна функционировать в условиях неопределенности режима ЭЭС и осуществлять процесс синхронизации не только автоматически, но и интеллектуально.

Структура мультифункциональной системы синхронизации представлена на рис. 1.



**Рис. 1 - Структурная схема системы синхронизации**

Для осуществления комплексного процесса синхронизации система должна состоять из следующих структурных частей (органов) [2]:

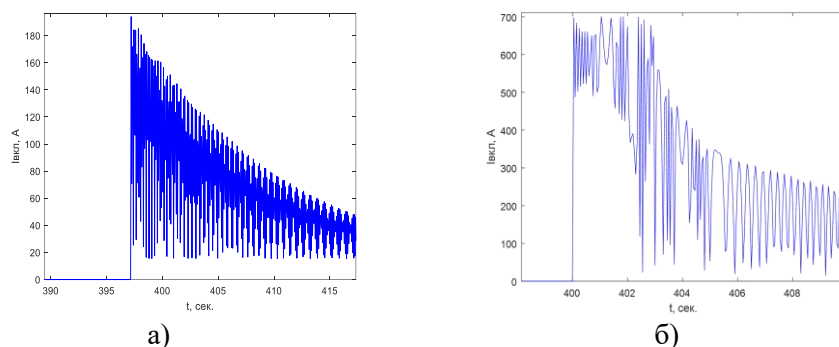
- Измерительный орган. Орган на основании выборок напряжения рассчитывает действующие значения напряжений генератора и энергосистемы, их частоты вращения и угол  $\delta$  между векторами их ЭДС;
- Логический орган. Орган по полученным из предыдущего органа выборкам определяет разницу в режимных параметрах генератора и энергосети, сравнивает её с интегрированными в блок уставками и принимает определенное решение по управляющим воздействиям;
- Орган управляющих воздействий. Орган физически формирует выходные воздействия: подает импульсы на генераторный выключатель, либо на регуляторы тока возбуждения (АРВ) и частоты вращения (АРЧ).

### Логический орган системы синхронизации

Логическая орган системы реализуется программно, его главная задача – выполнять синхронизацию вариативно (автоматически традиционным и нетрадиционным методами или с переводом системы в режим ручного выполнения).

Традиционный метод, которым система может выполнять синхронизацию, является метод точной синхронизации (ТС). При методе ТС необходимо обеспечить равенство режимных параметров генератора и энергосистемы. То есть разница между ними в пределе должны стремиться к нулю. Существует еще один традиционный метод синхронизации – самосинхронизация. Выполнение процесса системой данным методом не предусмотрено в следствии большой величины уравнильных токов в момент включения [3].

Традиционные методы синхронизации не могут обеспечить успешный быстрый запуск генераторов (в аварийном режиме), поэтому возникла необходимость в разработке усовершенствованного метода синхронизации. Уставки для данного метода: угол  $\delta$  в пределах от 0 до 30–40°, ток возбуждения – около 60 % от номинального тока (для тестируемого генератора от 6 до 10 А). Усовершенствованный метод назван ускоренным (УС). На рис. 2 показаны результаты математического моделирования, отражающие эффективность применения метода УС для снижения уравнильных токов в обмотке статора [2].



**Рис. 2 - Изменение уравнильного тока при использовании метода ускоренной синхронизации (а), метода точной синхронизации (б)**

Научная новизна предлагаемых решений:

1. Разработка нового модернизированного (ускоренного) метода синхронизации. Синхронизация данным методом позволит обеспечить оптимальные условия для включения генератора: снизить уравнильные токи в обмотке статора по сравнению с традиционным методом самосинхронизации и времени осуществления синхронизации по сравнению с традиционным методом точной синхронизации на 50

%.

2. Разрабатываемая автоматическая система синхронизации позволит осуществлять синхронизацию на нескольких выключателях различными методами. Подобное решение снижает капитальные затраты на системы синхронизации.

3. Для измерительного органа системы разработан специальный комплексный алгоритм по расчету режимных параметров генератора и энергосистемы, позволяющий определять контролируемые параметры с требуемой точностью даже в аварийных режимах работы энергосистемы.

Основные отличия разрабатываемой системы синхронизации от имеющихся аналогов:

1. Расширенный по сравнению с аналогами функционал: использование традиционного метода точной синхронизации и разработанного в рамках исследования метода ускоренной синхронизации.

2. Корректное выполнение системой функции измерения режимных параметров генератора и энергосистемы в условиях неопределенности режима ЭЭС (возможного аварийного режима с быстрым изменением параметров и их отклонением от номинального значения) за счёт использования разработанного комплексного алгоритма;

3. Обеспечение оптимальных условий для включения генератора при использовании разработанного метода ускоренной синхронизации: снижение уравнивающих токов в обмотке статора по сравнению с традиционным методом самосинхронизации и времени осуществления синхронизации по сравнению с традиционным методом точной синхронизации на 50 %.

4. Снижение капитальных затрат на системы автоматики, т.к. разработанная система может обеспечивать синхронизацию на нескольких выключателях (т.е. нескольких генераторов).

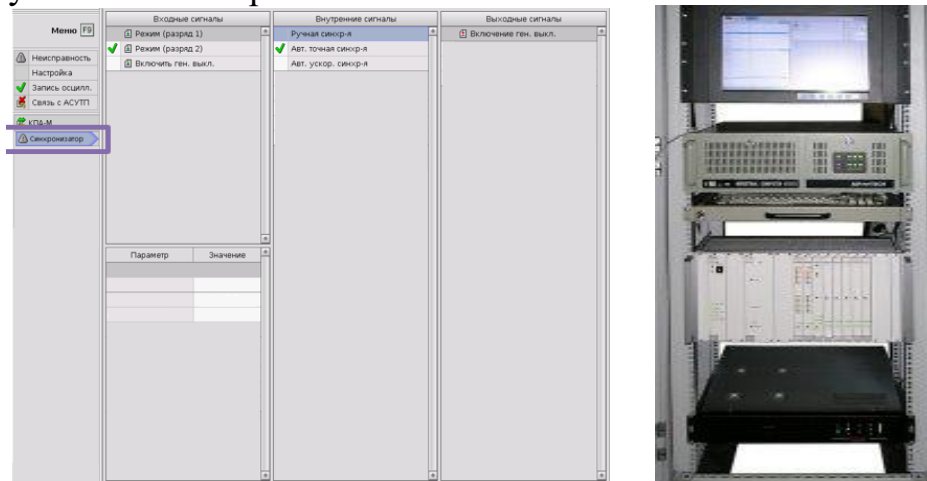
5. Система является цифровой и интегрируется в микропроцессорный терминал КПА-М, который параллельно может быть использован для решения других задач автоматизации (различные защиты генераторного оборудования и т.д.), что в совокупности снижает стоимость системы почти в 3 раза по сравнению с аналогами.

Социальная значимость проекта – исключение человеческого фактора и необходимости высокой квалификации персонала для ручного осуществления процесса, а также использование системы синхронизации для ликвидации аварийных ситуаций в ЭЭС.

Перспектива применения разработки – в учебном процессе

университета и на реальных объектах энергетики, в частности на крупных синхронных вращающихся машинах.

Предполагаемый внешний вид дисплея системы и самой системы в корпусе показан на рис. 3.



**Рис. 3 - Система синхронизации на базе микропроцессорного терминала КПА-М**

### **Список использованных источников**

1. Simulation of transients in an autonomous power system considering the generator and transformer magnetic core saturation / G. Glazyrin, N. Mitrofanov, A. Rusina, V. Fyodorova, A. Arestova. – DOI 10.1016/j.egyr.2022.11.031. – Text: direct // Energy Reports. – 2023. – Vol. 9, suppl. 1: 9 inter. conf. on Power and Energy Systems Engineering (CPESE–2022), Japan, Kyoto, 9–11 Sept. 2022. – P. 444–451.

2. Improving methods for synchronizing generators / V. A. Fyodorova, V. F. Kirichenko, G. V. Glazyrin, A. G. Rusina. - DOI 10.1109/EDM58354.2023.10225125. - Text: direct // 24 International Conference of Young Professionals in Electron Devices and Materials (EDM-2023): proc., Novosibirsk, 29 June – 3 July 2023. – Novosibirsk: IEEE, 2023. – P. 1040-1045. - ISBN 979-8-3503-1044-3.

3. Mathematical model development for the study of the general primary frequency control in the power systems / V. A. Fyodorova, V. F. Kirichenko, G. V. Glazyrin, A. G. Rusina [et al.]. – DOI 10.1109/EDM58354.2023.10225162. – Text: direct // 24 International Conference of Young Professionals in Electron Devices and Materials (EDM–2023) : proc., Novosibirsk, 29 June – 3 July 2023. – Novosibirsk: IEEE, 2023. – P. 104–1045. – ISBN 979-8-3503-1044-3. – Работа выполнена: при поддержке Russian Science Foundation, research project No. 22-79-00181.

УДК 621.039.5

**А.С. Федотов, А.А. Мясников, В.Д. Давиденко,  
А.О. Гольцев, И.А. Базулин**  
НИИ «Курчатовский институт»  
Москва, Россия

## **КОМПЛЕКС ПРОГРАММ «UNK-VVER-S» ПОДГОТОВКИ ГРУППОВЫХ НЕЙТРОННО-ФИЗИЧЕСКИХ КОНСТАНТ ДЛЯ ПОЛНОМАСШТАБНЫХ РЕАКТОРНЫХ РАСЧЁТОВ**

*Аннотация.* Данная работа посвящена использованию программы UNK в подготовке библиотеки констант для расчёта реактора ВВЭР-С и сравнению полученных результатов с реперной программой MCU.

**A. S. Fedotov, A. A. Myasnikov, V.D. Davidenko,  
A.O. Goltsev, I.A. Bazulin**  
Kurchatov Institute  
Moscow, Russia,

## **COMPLEX OF PROGRAMS «UNK-VVER-S» FOR PREPARATION OF GROUP NEUTROPHYSICAL CONSTANTS FOR FULL-SCALE REACTOR CALCULATIONS**

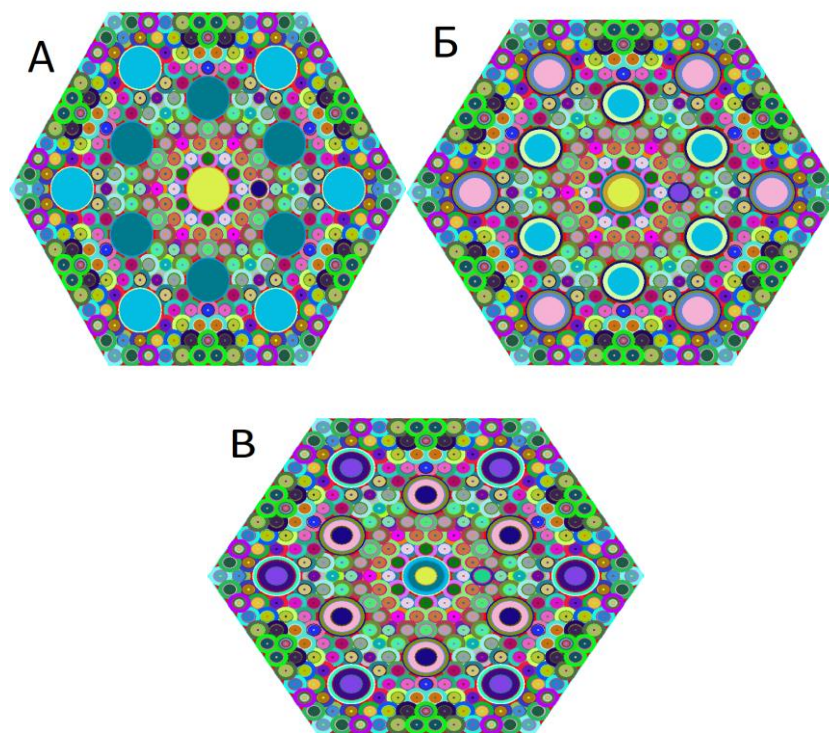
*Abstract.* This work is devoted to the use of the UNK program in preparing a library of constants for calculating the VVER-S reactor and comparing the results obtained with the reference program MCU.

В соответствии с принятыми сценариями развития энергетики серийные блоки АЭС с ВВЭР поколения III+ с повышенной потребительской привлекательностью и конкурентоспособностью будут вводиться в России вплоть до 2038 года. Дальнейшее развитие линии ВВЭР – это проекты ВВЭР-С с возможностью регулирования спектра нейтронов. Такие реакторы смогут работать как в открытом топливном цикле, снижая расход природного урана, так и в замкнутом цикле. Сейчас рассматриваются различные варианты реакторной установки, отличающиеся способом регулирования спектра нейтронов, диаметром ТВЭлов, мощностью, размером корпуса реактора и т.д.

На этом этапе, при проведении многовариантных полномасштабных расчётов реактора с обратными связями, как стационарных, так и нестационарных процессов, используются конечно-разностные 3-D программы (БИПР, СТЕРАН, и пр.), которые, в свою очередь, требуют предварительной подготовки библиотек макроскопических нейтронно-физических констант для всех

возможных состояний активной зоны (~15000 вариантов). Для подготовки таких библиотек на основе модулей комплекса UNK [1, 2], была разработана программа UNK-VVER-S, которая на многопроцессорном вычислительном кластере позволяет получать библиотеку макроконстант активной зоны ВВЭР-С (расчёт ~15000 вариантов) в течение нескольких суток. Для данной программы из всех возможных в комплексе UNK методов расчёта (метод характеристик, метод Монте-Карло, PIJ и пр.) был выбран метод вероятностей первых столкновений (PIJ).

Тестирование осуществлялось путём сравнения результатов расчёта некоторых состояний топливных кассет активной зоны (рис. 1) с результатами, полученными по программе MCU [3] (метод Монте-Карло).



**Рис. 1 - Состояния топливных кассет активной зоны ВВЭР-С. А – ячейка со столбами воды, Б – введены вытеснители, В – введены СУЗ.**

Расчёты такого рода топливных кассет показали, что при варьировании параметров ячейки (температуры топлива, температуры замедлителя, плотности теплоносителя, концентрация  $\text{Xe}^{135}$  и т.п.) отклонения от MCU по эффектам реактивности лежат (таблица 1) в пределах максимум 10-15 %.



**Таблица 1 - Результаты сравнения MCU и UNK**

	UNK-VVER-S	MCU	Откл., %
Температурный эффект реактивности, ΔК/К			
Столбы воды	-0,046	-0,044	4,5
Вытеснители	-0,021	-0,020	5
СУЗ	-0,014	-0,016	12,5
Плотностной эффект реактивности, ΔК/К			
Столбы воды	-0,057	-0,058	1,7
Вытеснители	-0,081	-0,083	2,4
СУЗ	-0,303	-0,308	1,6
Эффект распада Xe135, ΔК/К			
Столбы воды	0,023	0,023	<1
Вытеснители	0,026	0,026	<1
СУЗ	0,026	0,026	<1

Статистика во всех расчётах по MCU на одно состояние равна  $\sim 7 \cdot 10^7$ .

Также следует отметить скорость расчёта полной библиотеки. По разработанному программному комплексу, как упоминалось ранее, счёт идёт на сутки, а по программе MCU для набора приемлемой статистики (количество историй  $\sim 10^7$ ) на каждое состояние потребуются недели.

### Список использованных источников

1. Белоусов Н.И., Давиденко В.Д., Цибульский В.Ф. Программа UNK для детального расчёта спектра в ячейке ядерного реактора: Препринт ИАЭ-6083/4, Москва, 1998.
2. Давиденко В.Д., Цибульский В.Ф., Метод характеристик. Программа UNKGRO. В сб. Алгоритмы и программы для нейтронно-физических расчётов ядерных реакторов. Нейтроника-99, Обнинск, 2000 г.
3. Программа MCU-PD с банком данных MDBPD50. Паспорт аттестации 456 от 24.10.18. Ростехнадзор, Научно-технический центр по ядерной и радиационной безопасности.

УДК 69: 338.012.

**А.М. Французова**

Белорусский государственный технологический университет  
Минск, Беларусь

## **ЭКОСТРОИТЕЛЬСТВО: МИРОВЫЕ ТРЕНДЫ И КЕЙС-РЕШЕНИЯ**

*Аннотация.* Данный доклад является исследованием в определении трендов мирового экостроительства. Актуальность выбранной темы обосновывается тем, что уже многие компании приняли концепции устойчивого развития, которые включают снижение углеродного следа и достижение углеродной нейтральности, а также повышение уровня комфорта и благосостояния.

**A.M. Franzusova**

Belarusian State Technological University  
Minsk, Belarus

## **GREEN BUILDING: GLOBAL TRENDS AND CASES SOLUTIONS**

*Abstract.* This report is a study in determining the direction of the world's green building. The relevance of the chosen topic is justified by the fact that many companies have already adopted concepts of sustainable development, which include reducing the carbon footprint and achieving carbon neutrality, as well as increasing the level of comfort and welfare.

Экостроительство – это практика создания структур и использования процессов, которые являются экологически ответственными и эффективными с точки зрения ресурсов на протяжении всего жизненного цикла здания: от выбора площадки до проектирования, строительства, эксплуатации, технического обслуживания, ремонта и сноса. Здания, построенные по принципам экостроительства имеют решающее значение для решения проблемы изменения климата, достижения целей ESG и повышения их устойчивости.

Каждый аспект конструкции экостроительства, включая расположение, дизайн, строительные материалы и системы, используемые для управления и обслуживания, выбран так, чтобы быть максимально устойчивыми, энергоэффективными и благоприятными как для окружающей среды, так и для населения [1].

Популярными трендами в экостроительстве на сегодняшний день являются:

1. Чистые нулевые здания (Net zero buildings). Чистое нулевое здание – это здание, которое производит столько энергии, сколько потребляет в течение года. Данный результат может быть достигнут с помощью различных средств, включая солнечные батареи, ветровые турбины и геотермальные системы. Преимущества строительства чистого нулевого здания:

– уменьшение воздействия на окружающую среду: чистые нулевые здания проектируются таким образом, чтобы оказывать минимальное воздействие на окружающую среду на протяжении всего их жизненного цикла.

– улучшение финансовых показателей: чистые нулевые здания в большинстве случаев имеют более низкие эксплуатационные расходы, чем традиционные здания, благодаря их повышенной эффективности. Это может привести к улучшению финансовых показателей девелоперов, владельцев и арендаторов зданий.

– улучшение здоровья и благополучия: чистые нулевые здания предназначены для обеспечения здоровой и комфортной внутренней среды, а также к повышению производительности [2].

Успешный кейс:

Powerhouse Telemark, Порсгрунн, Норвегия. Каждый год солнечные панели здания генерируют 243000 киловатт-часов. Этого достаточно, чтобы запустить здание и компенсировать энергию от строительных материалов. Комфортные внутренние температуры поддерживаются тепловыми насосами и геотермальной энергией.

2. Устойчивые материалы (Sustainable materials).

Один из подходов к экостроительству предполагает использование материалов, которые оказывают меньшее воздействие на природные ресурсы и способствуют долгосрочному экологическому балансу. Устойчивые строительные материалы – это материалы, которые проектируются и изготавливаются с учетом их воздействия на окружающую среду на протяжении всего жизненного цикла. Эти материалы направлены на минимизацию истощения ресурсов, потребления энергии и образования отходов.

Эти материалы могут быть получены из возобновляемых источников. Кроме того, рециркулированные материалы, такие, как утилизированная древесина или рециркулированный пластик, могут использоваться для сокращения спроса на новое сырье, а также для минимизации отходов. Эти материалы часто обладают качествами, которые повышают энергоэффективность зданий и здоровье населения.

Успешный кейс:

Masdar City, Абу-Даби, Объединенные Арабские Эмираты. В данном проекте экостроительства используются устойчивые материалы: каждое здание в Масдар-Сити построено из низкоуглеродистого цемента, на 90% из переработанного алюминия и спроектировано таким образом, чтобы снизить потребление энергии и воды на 40%.

## 2. Зеленые крыши (Green roofs).

Зеленые крыши являются видом экостроительства, которое представляет собой систему природных или искусственных особенностей, обеспечивающих экологические выгоды. Зеленые крыши могут быть использованы на новых или существующих зданиях, и применяться в разнообразии форм, размеров, и материалов. Зеленые крыши предлагают много преимуществ для владельцев зданий и жильцов, окружающей среды и сообщества, в том числе:

- уменьшение ливневых стоков: зеленые крыши могут поглощать дождевую воду и замедлять выброс воды в системы ливневой канализации. Это может способствовать уменьшению масштабов эрозии и улучшению качества воды.

- продление срока службы крыши: зеленые крыши могут защитить крышу от ультрафиолетовых лучей, экстремальных температур и физического повреждения. Это может продлить срок службы крыши до двух раз.

- сокращение выбросов парниковых газов: зеленые крыши могут привести к сокращению потребления энергии и снижению выбросов углекислого газа.

- обеспечение среды обитания для птиц и других диких животных: зеленые крыши способствуют улучшению местного биоразнообразия [3].

Успешный кейс:

Боско Вертикале, Милан, Италия. Боско Вертикаль или Вертикальный лес состоит из двух жилых башен 110 и 76 метров, имеет 9000 деревьев, 13000 кустарников и 5000 растений, покрывающих их. Он предназначен для производства кислорода, уменьшения загрязнения и создания среды обитания для местных птиц и насекомых. Две башни окружены зеленой зоной площадью 15000 квадратных метров, что еще больше расширяет биоразнообразие здания.

## 4. Пассивный дизайн (Passive design)

Пассивный дизайн – это термин для типа дизайна, который учитывает местный климат, чтобы помочь поддерживать комфортную температуру в здании без дополнительного отопления или охлаждения, что может сэкономить энергию и деньги.

Здания потребляют энергию на протяжении всего их жизненного цикла, начиная со строительства и заканчивая эксплуатацией и сносом. Имеющиеся данные свидетельствуют о том, что здания, спроектированные с учетом климатических и местных условий, потребляют меньше энергии, чем обычные здания. Разработка, учитывающая климатические факторы, является одной из основных стратегий, направленных на снижение устойчивости спроса на энергию и поддержку соответствующих приоритетов в области эффективности и обезуглероживания [4].

Успешный кейс:

В Москве уже построено несколько экспериментальных зданий с использованием технологии пассивного дома (жилой дом в Никулино-2). Система горячего водоснабжения этого дома использует тепло грунта и вытяжных газов, что позволяет сократить расход тепловой энергии на 32 %.

5. Устойчивое проектирование (Resilient design).

В последние годы растет число стихийных бедствий, таких как наводнения, землетрясения, ураганы и лесные пожары, и ожидается, что они станут более частыми и серьезными в результате изменения климата. В связи с этим растет интерес к одному из направлений экостроительства – устойчивому проектированию, важными принципами которого являются проектирование зданий для смягчения последствий стихийных бедствий, защиты населения и обеспечение быстрого возвращения к нормальным условиям жизни.

Успешный кейс:

Штаб-квартира GAF, Парсиппани, США. После разрушительного урагана «Сэнди» компания GAF построила новое здание штаб-квартиры, в котором особое внимание уделялось обеспечению устойчивости. Они использовали запатентованную кровельную изоляцию, которая сможет противостоять разрушительному воздействию будущих ураганов. Архитекторы также поставили перед собой задачу построить подъездные дороги на возвышенности, чтобы защитить ее от наводнений [5].

Забота об окружающей среде сегодня становится не просто важным для общества и планеты трендом, а еще превращается в способ привлечения инвестиций. И в связи с этим потребители все чаще стали обращать внимание на экологические аспекты при выборе площадки для своих офисов, домов и других зданий. А строительные и девелоперские компании, в свою очередь, все чаще стали использовать экостроительство при возведении зданий. Таким образом, можно сделать следующие выводы:

– единичность проектов экостроительства. Развитию массового экостроительства мешает высокий уровень затрат и рисков, связанных с их реализацией. Многие застройщики не решаются на реализацию проектов экостроительства по причине высокого срока их окупаемости, опасаясь рисков экономической неопределенности, а также из-за недостатка информативной базы о возможностях и выгодах в будущем.

– доступность и цены на специальные технологии и устойчивые материалы. С учетом поиска, транспортировки и последующего использования материалов в проектах экостроительства повышается стоимость и срок разработки, что является основным фактором для привлечения инвестиций.

– экостроительство инфраструктуры. Последние годы движение по экостроительству приобретает все более масштабный характер. Доказательством этому могут служить проекты по созданию целых экогородов, в которых окружающая природа, градостроительное проектирование, застройка, коммуникации и сам образ жизни людей гармонично взаимодействуют.

### **Список использованных источников**

1. Бабкин А. В., Курчеева Г. И., Апрелова Л. А. Проблемы зеленого строительства в условиях реализации концепции здорового города // *π-Economy*. 2022. Т. 15. № 2. С. 59–78.

2. World Green Building Trends 2023: Europe // SmartMarket Report by Dodge Data & Analytics // [Электронный ресурс] URL: <https://www.epo.org/sustainabletechnologies/green-construction.html> (дата обращения: 04.11.2023)

2. Дергунова А. В., Пиксайкина А. А., Адыходжаев А. И. Экономические преимущества энергоэффективных технологий с применением местных сырьевых ресурсов в зеленом строительстве // *Эксперт: теория и практика*. 2023. № 1. С. 73–79.

3. Корниенко С. В. Энергоэффективность, экологическая безопасность, экономическая эффективность – приоритетные задачи «зеленого» строительства // *Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета*. Серия: Строительство и архитектура. 2017. Т. 49. № 68. С. 167–177.

4. Шеина С. Г., Федяева П. В., Черникова А. А. Применение мирового опыта при строительстве энергоэффективных жилых комплексов в России // *Инженерный вестник Дона*. 2022. № 5. С. 549–559.

5. Green building as a tool of energy saving / A. M. Gladkih [et al.] // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2019. Vol. 350. № 1. P. 012032. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/350/1/012032>

УДК 66.081

**I.G. Filippov, H.E. Khalid, K.A. Plekhanov**

National Research University  
"Moscow Power Engineering Institute" (MPEI)  
Moscow, Russia

## **STUDY THE INFLUENCE OF SORBENT (CAO) ON HYDROGEN PRODUCTION FROM BIOMASS GASIFICATION IN DIFFERENT CONDITIONS: USING ASPEN PLUS**

***Abstract.** This work models and simulates in Aspen plus the effect of influence CaO on the production of hydrogen from wood chips gasification under various operating circumstances such as temperature and equivalent ratio. The suggested quasi-steady state model, based on available experimental data, includes pyrolysis, tar cracking, and char conversion. The prediction of the resulting model is validated. The greatest H<sub>2</sub> mole fraction with CaO is roughly 35% at temperatures close to 900 K.*

***Keywords:** Steam Gasification, Biomass, Hydrogen production, Effect of CaO, CO<sub>2</sub> Capture*

**И.Г. Филиппов, Х.Э. Халид, К.А. Плешанов**

Национальный исследовательский университет  
Московский Энергетический институт (МЭИ)  
Россия, Москва

## **ИЗУЧИТЬ ВЛИЯНИЕ СОРБЕНТА (CAO) НА ПРОИЗВОДСТВО ВОДОРОДА ИЗ БИОМАССЫ В РАЗЛИЧНЫХ УСЛОВИЯХ: С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ASPEN PLUS**

***Аннотация.** Эта работа моделирует в Аспене, изучают эффект влияния CaO на производство водорода при газификации древесной щепы при различных рабочих условиях, таких как температура (T), и эквивалентное соотношение (ER). Предложенная модель квазистационарного состояния, основанная на имеющихся экспериментальных данных, включает пиролиз, крекинг смолы и конверсию полукокса. Прогноз полученной модели подтверждается. Наибольшая мольная доля H<sub>2</sub> с CaO составляет примерно 35% при температуре, близкой к 900 K*

***Ключевые слова:** паровая газификация, биомасса, производство водорода, влияние CaO, улавливание CO<sub>2</sub>.*

## I. Introduction

Nowadays, conventional fuels provide the majority of industrial and home energy needs. As these with rising energy needs, energy sources are diminishing at a quicker rate; future energy may come from renewable sources. After fossil fuels, biomass has been designated as the world's greatest major energy source [1, 2]. Many studies have provided an overview of conversion strategies for generating energy from biomass. In comparison to the biological approach, thermo-chemical gasification appears to be more advantageous for energy extraction as syngas [3]. Hydrogen, one of the major elements of syngas, has been receiving more attention as a potential energy carrier, being a clean fuel with higher energy density on mass basis. Researchers have successfully simulated processes such as fluidized bed combustion, coal gasification, integrated coal gasification, and solid oxide fuel cells system using the process modeling program ASPEN Plus Simulator. It makes it possible to individually model and simulate each part of an integrated system; Sreejith et al [2, 3]. Developed a Gibb's free energy minimization model for steam gasification of biomass. The model did not take into account tar, and the char conversion was assumed to be 100%. At a temperature of 973 K and a steam to biomass ratio of unity, a maximum hydrogen concentration of 59.3% was projected. Table 1, content Proximate and ultimate analyses result of wood chips.

TABLE I  
*Proximate and Ultimate analysis of wood chips*

<i>Proximate analysis</i>	<i>Wt.%</i>	<i>Ultimate analysis</i>	<i>Wt.%</i>
Volatile matter	75.5	C	46.99
Fixed carbon	17.59	H	5.75
Moisture	3.56	O	39.51
Ash	3.34	N	0.39
		S	0.01

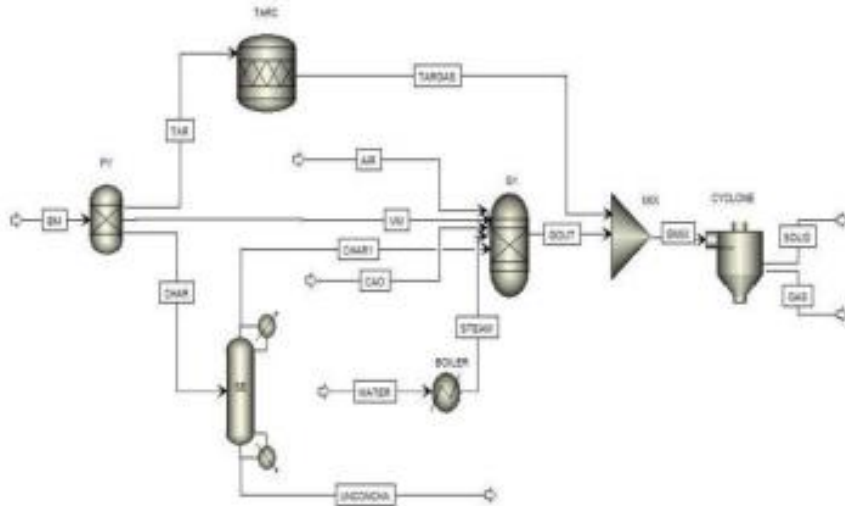
## II. MODELING PROCEDURE

Using the ASPEN Plus process simulator, a nonstoichiometric quasi-steady state model is created to mimic the air-steam gasification of biomass. The impact of CaO sorbent for in-situ CO<sub>2</sub> collection will be examined using the model. Fig.1. Process flow sheet for air-steam gasification. The model's underlying presumptions are as follows:

- A gasifier is a steady-state system with constant pressure and temperature.
- Dilute gases include all gases other than H<sub>2</sub>, CO, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, and N<sub>2</sub>.
- At a superheated state of 1 bar and 200 °C, steam is delivered.
- Carbon considered graphitic is char.



- $\text{CO (g) + H}_2\text{O (g) = CO}_2\text{ (g) + H}_2\text{ (g)}$  exothermic  
 ..... (1)  
 Carbonation reaction  $\text{CaO (s) + CO}_2\text{(g) = CaCO}_3\text{ (s)}$  exothermic...  
 ....(2)  
 Calcinations reaction  $\text{CaCO}_3\text{ (s) = CaO(s) + CO (g)}$  endothermic  
 .....(3)



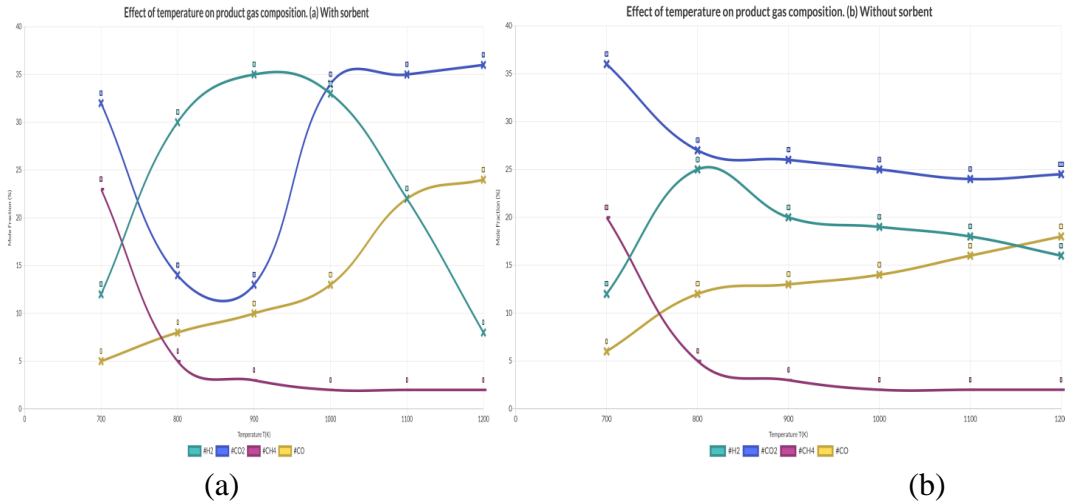
**Fig. 1 - Process flow sheet for air-steam gasification**

### III. RESULTS AND DISCUSSION

The modeling output of several factors and how they interact with one another, for instance, how temperature affects the gas composition product with and without CaO sorbent in Fig 2a,b. According to the reversal of the water gas shift reaction, the H<sub>2</sub> concentration is seen to grow to a maximum value in both circumstances and then decrease with an increase in temperature. Effect of (ER) “Equivalent Ratio” on the make-up of the product gas demonstrates the impact of ER on the mole fraction of the ingredients in product gas with and without CaO. With the exception of CO<sub>2</sub>, all gas components generally decrease with ER. This is because the method has changed to focus on combustion at higher ER levels. In Fig. 3a,b, the rise in CO<sub>2</sub> moles with ER is depicted. A maximum H<sub>2</sub> concentration of 35% is attained at a gasification temperature of 900 K in sorbent-enabled gasification for CO<sub>2</sub> capture. When compared to that without CO<sub>2</sub> sorbent, it is discovered that the maximum mole fraction of H<sub>2</sub> has increased by 25.1%. In contrast, CO<sub>2</sub> concentration remains nearly constant at 1000 K in gasification without sorbent whereas CO<sub>2</sub> concentration declines to a minimal value and subsequently grows in gasification supported by CaO. Beyond 1000 K, there is a trend reversal in the change of CO<sub>2</sub> concentration with temperature.

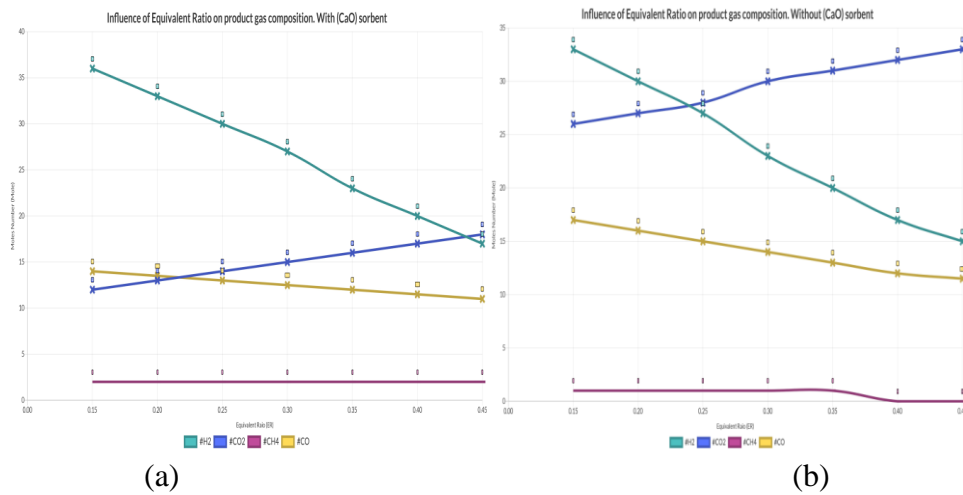
Without sorbent H<sub>2</sub> production diluted dependent on availability to air, although CO<sub>2</sub> production grew progressively as air rose.

In Fig. 4 shows the higher H<sub>2</sub> production from biomass gasification with steam agent. In Fig. 5 compare them with experimental from literature.

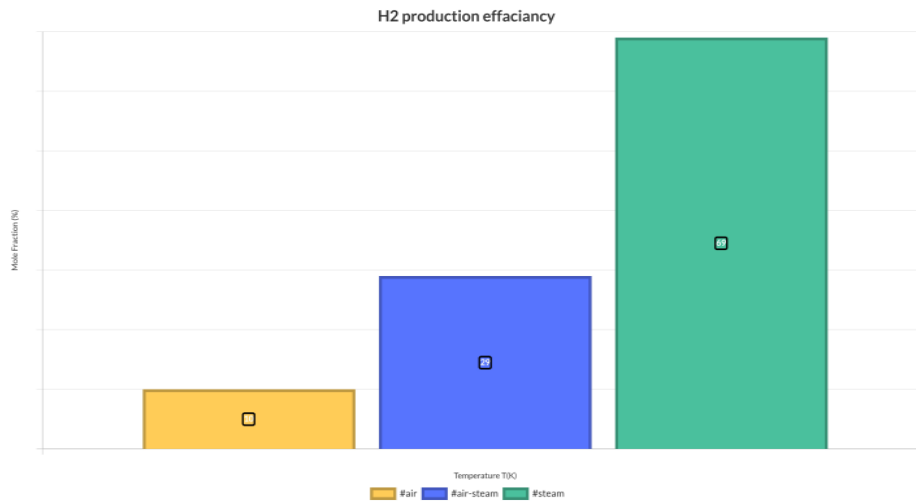


**Fig. 2 - Studied effect of temperature on product gas composition. With (a) and without (b) sorbent (CaO)**

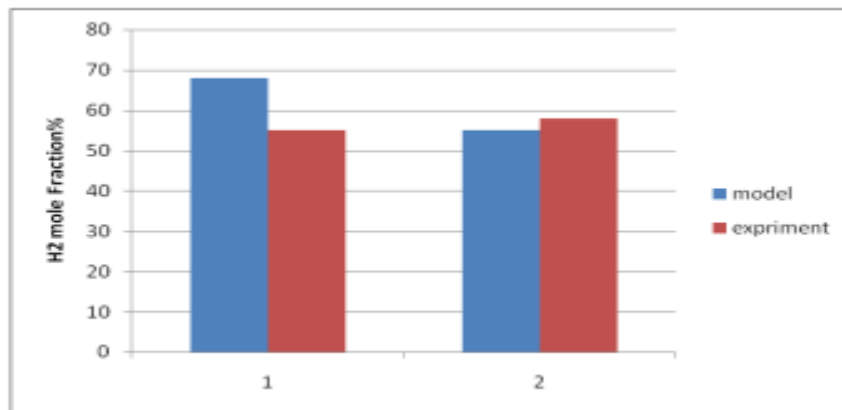
Under conditions (STEAM = 1, AIR-STEAM = 1, AIR = 0.27)



**Fig. 3 - Studied influence of Equivalent Ratio (ER) on product gas composition. With (a) and without (b) sorbent (CaO) under conditions (T= 1000K, STEAM = 1, AIR-STEAM = 1, AIR = 0.27).**



**Fig. 4 - Effect of gratifying agents in product H<sub>2</sub>**



**Fig. 5 - Comparison between model and experimental (T = 1000 K), with sorbent (steam = 1)**

## CONCLUSION

A quasi-steady state model was constructed in ASPEN Plus process simulator to examine the impact of critical operating parameters by adding sorbent (CaO) to air-steam gasification of wood chips. The effect of gasification temperature, Equivalent ratio ER, demonstrates the influence of CaO as a sorbent on raising the Hydrogen yield from air-steam biomass gasification by boosting the tar cracking rate mechanism and capturing CO<sub>2</sub>. This technique was tested using a verified model. As a result, the maximal H<sub>2</sub> mole percentage is around 35% at temperatures close to 900K, which is higher than gasification without sorbent.

## References

1. Mohan, O., et al. Design of fluidized bed reactor for conversion of biomass energy in to concentrated gaseous fuel. in 2015 IEEE International

Conference on Signal Processing, Informatics, Communication and Energy Systems (SPICES). 2015. IEEE.

2. Dincer, I., Green methods for hydrogen production. International journal of hydrogen energy, 2012. 37(2): p. 1954-1971.

3. Sreejith, C., C. Muraleedharan, and P. Arun, Performance prediction of steam gasification of wood using an ASPEN PLUS thermodynamic equilibrium model. International journal of sustainable energy, 2014. 33(2): p. 416-434.

УДК 621.316.721:723

**М.Д. Харабурова, Е.Н. Рыжкова**

НИУ «МЭИ»  
Москва, Россия

## **ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ СЕТЕЙ С КОМПЕНСАЦИЕЙ ЕМКОСТНОГО ТОКА**

***Аннотация.** Применение в сетях с компенсированной нейтралью 6-35кВ дугогасящего реактора не обеспечивает его эффективную работу и точную резонансную настройку в различных условиях эксплуатации в результате ряда причин, влияние которых будет сводиться к минимуму при использовании в таких сетях управляемого резистора с возможностью изменения активного сопротивления.*

**M.D. Kharaburova, E.N. Ryzhkova**

National Research University «MPEI»  
Moscow, Russia

## **INCREASING RELIABILITY OF NETWORKS WITH CAPACITIVE CURRENT COMPENSATION**

***Abstract.** The use of an arc suppression reactor in 6-35 kV networks with compensated neutral does not ensure its efficient operation and accurate resonance tuning in various operating conditions due to a number of reasons, the influence of which will be minimized by the use in such networks of a controlled resistor with the possibility of changing the active resistance.*

ПУЭ регламентирует переход изолированного режима заземления нейтрали в компенсированный путем подключения дугогасящего реактора в распределительные сети 6-35 кВ с большими

емкостными токами замыкания на землю. На сегодняшний день не все сети, где необходима данная компенсация, оборудованы ДГР, а в случае их наличия наибольшее распространение получили нерегулируемые (ступенчатые) реакторы марок ЗРОМ или РЗДСОМ и их аналоги, которые ограничены своим функционалом из-за невозможности изменения тока компенсации без отключения сети.

Основным достоинством компенсированных сетей является: снижение тока в месте повреждения до величины, при которой вероятность повторного зажигания дуги исключена или очень мала, уменьшение скорости восстановления напряжения на поврежденной фазе, что также снижает вероятность повторных пробоев изоляции. Стоит отметить, что данные преимущества будут проявлены только при плавной системе регулирования и автоматической настройке ДРГ в резонанс, когда достигается равенство между индуктивной и емкостной эквивалентной проводимостью сети относительно земли.

Работа по совершенствованию систем автоматического управления является актуальной в следствии наличия недостатков в реализуемых на практике методах подстройки к емкости сети, так как количество аварийных отключений в сетях с резонансным режимом заземления находится практически на уровне показателей сетей с изолированной нейтралью.

Для автоматической настройки компенсации в плавнорегулируемых ДГР используют различные принципы:

- по амплитудным характеристикам, применяемый в сетях с естественной несимметрией;
- по фазовым характеристикам, для сетей с искусственной несимметрией или при использовании источника опорного напряжения;
- по частотным характеристикам, широко используемый в ДГР со ступенчатым регулированием;
- по напряжению промышленной частоты;
- по постоянной времени восстановления напряжения на поврежденной фазе.

Однако частый выход из строя или блокировка системы автоматической настройки компенсации может привести к недопустимым расстройкам с возникновением значительных перенапряжений при повторных зажиганиях дуги.

Процесс острой настройки ДГР в распределительных сетях также осложняется наличием высокой степени естественной не симметрии в электрической сети в результате неоднородности в распределении нагрузок подключенных электроприемников. Применение в таком

случае дугогасящего реактора может вызвать перекомпенсацию, что в свою очередь приводит к высоким значениям дуговых перенапряжений. Не симметрия сети способна создавать неблагоприятные условия для оборудования и системы в целом, увеличивая вероятность повреждений и нестабильности работы системы электроснабжения, вызывая ложные срабатывания релейной защиты и автоматики. Это подчеркивает необходимость регулярного мониторинга и коррекции естественной не симметрии в сети для корректной настройки ДГР и обеспечения наиболее эффективного применения реактора.

Особое внимание следует уделить вероятности возникновения при глубоких расстройках компенсации в переходном процессе феррорезонансных процессов и значительного насыщения магнитных систем ДГР, приводящего к режиму перекомпенсации и увеличению величины тока реактора до 3-4 кратного значения относительного начального [1].

Кроме того, многие производители микропроцессорных систем управления настройки ДГР из-за отсутствия нормативных требований не осуществляют квалификационные испытания автоматики и самостоятельно определяют техническую наполненность устройств, количество и точность регистрируемых показателей для дальнейшего осуществления резонанса сети. Таким образом, необходима разработка новых документов или внесение изменений в существующий РД 34.20.179 с целью актуализации условий выпуска автоматики управления.

Наличие в токе замыкания на землю высших гармоник напрямую влияет на протекающие переходные процессы и может повлечь за собой возникновение сильных повреждений, увеличение времени гашения дуги, уровня перенапряжений и возрастание значения тока в месте повреждения. Тем более опасным влияние высших гармоник становится в условиях отсутствия в нейтрали сети устройств подавления и компенсации ВГ, так как есть высокая вероятность перекрытия междуфазной изоляции кабельных линий или витков в обмотке трансформатора остаточным током ОЗЗ состоящим из наложенного гармонического тока искажения и активной составляющей на не скомпенсированный реактивный ток промышленной частоты. На практике уровень высших гармоник в месте однофазного замыкания определяется исходя из расчетных значений в результате сложности учета всех влияющих факторов, что не является точным и однозначным методом для его дальнейшего изучения.

Стоит отметить, что уровень высших гармоник будет зависеть от назначения сети, а их содержание не подвергается нормативному регулированию. Исследования показали, что в некоторых случаях гармонический ток искажения составлял практически половину значения тока ОЗЗ промышленной частоты.

Как итог, для корректного срабатывания автоматики защиты, успешного гашения дуги и высокой точности резонансной настройки устройства компенсации емкостного тока должны обладать способностью к изменению своих параметров как в обычном режиме работы системы электроснабжения, так и при замыканиях на землю.

Одним из путей достижения надежности компенсированных сетей является подключение регулируемого активного сопротивления. Такой резистор помимо ограничения перенапряжений при дуговых замыканиях и биениях фазных напряжений будет подстраиваться под изменения в сети, а также при параллельном подключении к реактору снизит степень несимметрии напряжения на нейтрали и обеспечит селективную релейную защиту от замыканий на землю.

Были предложены технические решения, отличающиеся измеряемыми характеристиками сети по повышению точности и быстродействия устройств определения расстройки компенсации с использованием земляного резистора, способного адаптироваться под эксплуатационные изменения в сети:

**1. Устройство ограничения дуговых перенапряжений в сетях с компенсацией емкостных токов замыкания на землю,** которое реализует расчет необходимого активного сопротивления резистора исходя из фиксируемых значений емкостного тока ДГР и расстройки компенсации при возникновении перемежающегося дугового замыкания [2].

**2. Устройство защиты от дуговых перенапряжений при однофазном замыкании на землю,** отличительной особенностью которого является определение величины начальной скорости восстановления напряжения на поврежденной фазе для дальнейшего оптимального управления резистором и достижения точной резонансной настройки дугогасящего реактора [3].

**3. Способ выявления расстройки компенсации в режиме замыкания на землю для управления защитным резистором в компенсированных сетях,** в котором определение степени расстройки компенсации происходит путем измерения углового сдвига напряжений на нейтрали с возможностью коррекции данного входного сигнала с учетом влияния коэффициента демпфирования [4].

Острая настройка ДГР в резонанс требует на сегодняшний день более универсальных решений, позволяющих осуществлять как компенсацию емкостных токов, так и быстродействие устройств автоматической настройки.

### **Список использованных источников**

1. Рыжкова Е. Н., Аарон Л. В. В. Об особенностях переходных процессов в компенсированных сетях //Вестник Московского энергетического института. Вестник МЭИ. – 2015. – №. 3. – С. 42-47.
2. Патент на изобретение 2779147 Российская Федерация: МПК H02H 9/08 (2006.01) /Устройство защиты от дуговых перенапряжений при однофазных замыканиях на землю/ Е.Н. Рыжкова, В.Е. Васин; М. Д. Харабурова; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО "НИУ "МЭИ". - № 2022114842; приоритет 01.06.2022.
3. Патент на изобретение 2779881 Российская Федерация: МПК H02H 9/08 (2006.01) /Устройство ограничения дуговых перенапряжений в сетях с компенсацией емкостных токов замыканиях на землю/ В.Е. Васин, Е.Н.Рыжкова, М.Д. Харабурова, Панферова Н.Ю; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО "НИУ "МЭИ". - № 2022111892; приоритет 29.04.2022
4. Патент на изобретение 2803647 Российская Федерация: МПК H02H 9/08 (2006.01) /Способ выявления расстройки компенсации в режиме замыкания на землю для управления защитным резистором в компенсированных сетях/ Е.Н.Рыжкова, М.Д. Харабурова, З.Р.Закиров; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО "НИУ "МЭИ". - № 2023113641; приоритет 25.05.2023

УДК 620.9

**Н.А. Ходас<sup>1</sup>, А.К. Ходас<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Белорусский национальный технический университет

<sup>2</sup>Белорусский государственный экономический университет  
Минск, Беларусь

### **ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ В ОБЛАСТИ ТЕХНОЛОГИЙ ХРАНЕНИЯ ЭНЕРГИИ**

*Аннотация. Политика достижения целей углеродной нейтральности предполагают, что доля возобновляемых источников энергии в энергобалансе всех*



стран мира будет постоянно повышаться. Для сохранения гибкости управления энергосистемами уже сейчас необходимо уделять внимание разработке новых технологий хранения энергии.

**N.A. Khodos<sup>1</sup>, A.K. Hodas<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Belarusian National Technical University

<sup>2</sup>Belarusian State University of Economics  
Minsk, Belarus

## **INNOVATIVE TRENDS IN ENERGY STORAGE TECHNOLOGIES**

***Abstract.** The policy of achieving carbon neutrality goals assumes that the share of renewable energy sources in the energy balance of all countries of the world will constantly increase. In order to maintain the flexibility of energy system management, it is already necessary to pay attention to the development of new energy storage technologies.*

К 2060 году планируется увеличение общего объема потребления электроэнергии в мире до 15 триллионов кВт·ч, при этом в общей установленной мощности более половины будет приходиться на возобновляемые источники энергии. Технологии возобновляемых источников энергии более эффективны и экономичны по сравнению с традиционными, поэтому в будущем инновационные решения для долгосрочного хранения энергии позволят возобновляемой энергии доминировать над традиционными источниками энергии. По прогнозам ученых к 2060 году общая мощность систем хранения электроэнергии должна составить 1250 ГВт.

Современные системы накопления энергии имеют множество форм и технических решений, среди которых физические, термальные, электрохимические, водородные хранилища. В настоящее время в мире большое количество источников экологически чистой энергии подключаются к сети, а инфраструктура электроэнергетики становится лучше приспособленной для удовлетворения меняющихся потребностей людей. Более того, крупномасштабное хранение возобновляемой энергии с использованием аккумуляторных систем хранения энергии повышает общую устойчивость энергетических систем и ускоряет переход к экологически чистой энергии.

Традиционно системы производства и хранения энергии имеют централизованную архитектуру, что увеличивает риски сбоев в энергосистеме в периоды высокого спроса на энергию и может нарушить цепочку поставок энергии. Распределенные системы хранения решают эту проблему, позволяя отдельным предприятиям производить энергию на месте, сохранять ее для личных нужд, а также продавать излишки энергии в сеть. Различные варианты для

распределенного хранения энергии (например, электромобили, микросети, виртуальные электростанции) позволяют уменьшить производство энергии из угля, нефти и газа и больше полагаться на возобновляемые источники энергии, такие как солнечные панели на крыше и небольшие ветряные турбины.

Общеизвестно, что литий-ионные аккумуляторы обладают такими преимуществами, как портативность, быстрая перезарядка, низкие эксплуатационные расходы и универсальность. Литий-ионные системы хранения, относящиеся к электрохимическим формам, на сегодняшний день являются одним из наиболее растущих сегментов в этой области. Большинство пилотных проектов в настоящее время реализованы с использованием литий-ионных батарей, устанавливаемых вблизи солнечных и ветровых электростанций. Однако они чрезвычайно огнеопасны, чувствительны к высоким температурам, требуют защиты от перезаряда или полной разрядки и подвержены старению.

Поэтому актуальна модификация литий-ионных аккумуляторов, в первую очередь, для увеличения их производительности и срока эксплуатации. Для достижения этой цели традиционные литий-кобальтовые электроды заменяют более легкие и энергоемкие материалы, такие как литий-полимер, литий-воздух, лититанат и литий-сера, а также организуют переработку использованных батарей в рамках экономики замкнутого цикла.

Литиевые батареи не являются экологически чистыми, и это побуждает компании-производители искать альтернативные материалы, которые будут использоваться в аккумуляторах следующего поколения. Например, воздушно-цинковые батареи являются жизнеспособной альтернативой литию, учитывая большие разведанные залежи цинка, присущую цинку стабильность и низкую токсичность.

Еще одна альтернатива литиевым батареям – натриево-серные батареи, которые имеют более длительный срок службы, большее количество циклов зарядки/разрядки, высокую плотность энергии и изготовлены из относительно недорогих материалов. Другие перспективные и многообещающие химические элементы для аккумуляторов – это алюминий-ионные батареи, магниевые-ионные батареи, никель-цинковые батареи и батареи на основе кремния.

Такие устройства, как суперконденсаторы, маховики и сверхпроводящие магнитные накопители, существуют уже очень давно. Современные аккумуляторные технологии в потенциале обеспечивают высокую плотность мощности за более короткие

промежутки времени. Несмотря на то, что они быстро разряжаются, они улучшают качество и надежность электросети в переходные периоды (например, после нарушения работы системы, изменения нагрузки и переключения линии).

Современные аккумуляторные технологии также предотвращают обрушение электросетей из-за нестабильности напряжения. Инновационная интеграция SDES в приложения топливных элементов позволяет улучшить цикл зарядки-разрядки электромобилей. Крупные мегаполисы и небольшие города подключая свои системы хранения энергии к SDES улучшают общие циклы хранения и зарядки энергии.

Проточные окислительно-восстановительные батареи используются в качестве топливных элементов или аккумуляторных батарей. Они состоят из двух соединенных между собой резервуаров, содержащих жидкий электролит и противоположно заряженные электроды, в которых ионы переходят из одного резервуара в другой через мембрану. Проточные окислительно-восстановительные батареи имеют более длительный срок службы, чем литиевые, поскольку протекание тока из одного резервуара в другой не разрушает мембрану.

Благодаря гибкой конструкции системы и простоте масштабирования проточные окислительно-восстановительные батареи имеют большой потенциал для интеграции в системы возобновляемых источников энергии в коммунальных предприятиях. Инновации в этой области сосредоточены на разработке новых окислительно-восстановительных процессов, которые являются не только экономически эффективными, но и обеспечивают большую плотность энергии.

Обычные жидкие электролиты обладают рядом недостатков: очень горючи, имеют низкое удержание заряда, неэффективно работают при экстремальных температурах. В твердотельных батареях легковоспламеняющийся жидкий электролит заменяется твердым соединением, которое облегчает миграцию ионов. Стартапы предлагают использовать электролиты на основе полимеров и органических соединений, которые обладают высокой ионной проводимостью.

Твердые электролиты позволяют использовать высоковольтные материалы с высокой емкостью для производства аккумуляторов, что обеспечивает большую плотность энергии, портативность и длительный срок хранения. Поскольку твердотельные аккумуляторы обеспечивают лучшее соотношение мощности к весу, они являются идеальным выбором для использования в электромобилях.

Среди систем хранения нельзя рассматривать только крупные проекты. Установки преобразования водорода и системы преобразования тепла также могут выступать в качестве распределенных хранилищ энергии.

Водород обладает самой высокой теплотворной способностью на массу среди всех химических видов топлива, а также является регенеративным и экологически чистым источником энергии. Область применения водорода варьируется от использования в автомобилях в качестве чистого топлива до портативного источника питания для зданий.

Физически водород хранится в виде газа или жидкости. Для хранения газа обычно требуются резервуары под высоким давлением, а для хранения жидкости требуются криогенные температуры. В настоящее время, чтобы экономично хранить водород, разрабатываются инновационные процессы и инновационные резервуары для хранения. Последние тенденции в хранении водорода связаны с адсорбцией водорода на твердых поверхностях и посредством химических реакций.

Процесс хранения тепловой энергии (как сезонный, так и краткосрочный) заключается в подаче тепла в систему хранения для использования в более позднее время. Обычно тепловые компании хранят горячую или холодную воду в изолированных резервуарах, чтобы использовать ее в случае увеличения спроса для управления пиковыми нагрузками в централизованном теплоснабжении и централизованном охлаждении.

Инновационные разработки последних лет демонстрируют использование новых сред (например, расплавленных солей, эвтектиков и материалов с фазовым переходом) для хранения тепловой энергии. Наиболее распространенным современным применением хранения тепловой энергии являются солнечные тепловые системы, которые решают проблему прерывистой возобновляемой энергии и обеспечивают доступ к накопленной солнечной энергии в ночное время.

В заключении необходимо констатировать, что внедрение систем хранения, основанных на различных физических принципах, должно предваряться технико-экономической оценкой по множеству параметров, таких как мощность, емкость, инерционность в части отдачи мощности и ее накопления. В настоящее время существуют значительные экономические издержки, связанные с установкой инфраструктуры хранения энергии, а долгосрочное владение данной инфраструктурой приводит к постепенному обесцениванию

имеющихся активов. Одним из способов решения данной проблемы является услуга хранения энергии, которая позволяет предприятиям получить надежное электроснабжение при нулевых инвестициях в активы и низких затратах на внедрение, то есть обеспечивает максимальную гибкость при принятии экономических решений в условиях меняющейся рыночной конъюнктуры. Кроме того, хранение энергии как услуга помогает коммунальным предприятиям управлять перегрузками, сезонным пиковым спросом и устранять сбои сетевой инфраструктуры, а потребители энергии, живущие в отдаленных районах, со слабым подключением к сети или вообще без нее получают выгоду от повышения гибкости и эффективности сети. Развитие систем хранения напрямую зависит от развития возобновляемых источников энергии и, в определенной мере, с общим развитием энергосистемы, в рамках которой строятся крупные энергетические связи между регионами.

#### **Список использованных источников**

1. Мухаметова, Л.Р., Ахметова, И.Г., Стриелковски, В. Инновации в области хранения энергии // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2019. – Т.21. – №4. – С. 33 - 40.

УДК 551.508.7

**Е.А. Шаповалова**

Тюменский индустриальный университет  
Тюмень, Россия

#### **ДИСТАНЦИОННЫЙ МОНИТОРИНГ ВЛАЖНОСТИ ПОЧВЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ АДДИТИВНЫХ И РАДИО ТЕХНОЛОГИЙ**

*Аннотация.* Предлагается альтернативный способ измерения показателей почвы биоразлагаемыми датчиками, который выгоден для предприятия, а также безопасней в эксплуатации.

**E.A. Shapovalova**

Tyumen Industrial University  
Tyumen, Russia

#### **REMOTE MONITORING OF SOIL HUMIDITY USING ADDITIVE AND RADIO TECHNOLOGIES**

*Abstract. An alternative method for measuring soil parameters using biodegradable sensors is proposed, which is beneficial for the enterprise and also safer to use.*

Глобальное сельское хозяйство постоянно сталкивается с рядом проблем, но первая и основная — это производство достаточного количества продовольствия для удовлетворения быстрого роста населения во всем мире. По различным прогнозам, население к 2060 году превысит отметку в 9 миллиардов человек и это потребует увеличение производства сельскохозяйственной продукции на 100% [1].

Сельское хозяйство также оказывает влияние на окружающую среду, так как использует природные ресурсы, такие как земля, вода [2], энергия и биоразнообразие. С одной стороны, сельское хозяйство может способствовать сохранению и восстановлению природы, например, через органическое земледелие, агролесоводство и агробиоразнообразие. С другой стороны, сельское хозяйство может наносить ущерб окружающей среде, например, через эрозию почвы, загрязнение воды и воздуха, деградацию ландшафта и потерю биоразнообразия.

Существует множество проблем, связанных с нерациональным и неэффективным использованием ресурсов, таких как почва, удобрения и вода. Водные ресурсы являются наиболее важными для устойчивого развития сельского хозяйства. От 70-80% потребляемой пресной воды уходит на нужды агропромышленного комплекса [3].

Сочетание эффективных стратегий орошения с более эффективными ирригационными системами и мониторингом влажности почвы может привести к тому, что производители будут более эффективно использовать воду и сокращать потребление энергии для орошения.

Эффективное распределение ресурсов в современных условиях может предоставить только точное земледелие, обеспечив фермеров почвенными картами для более рационального распределения ресурсов. Самые распространенные технологии для улучшения качества ведения сельского хозяйства основаны на визуальных технологиях и дистанционных зондированиях. Однако, технологии обработки изображений имеют ограничения и анализируют верхние слои почвы, не отражая состояние влажности почвы под поверхностью.

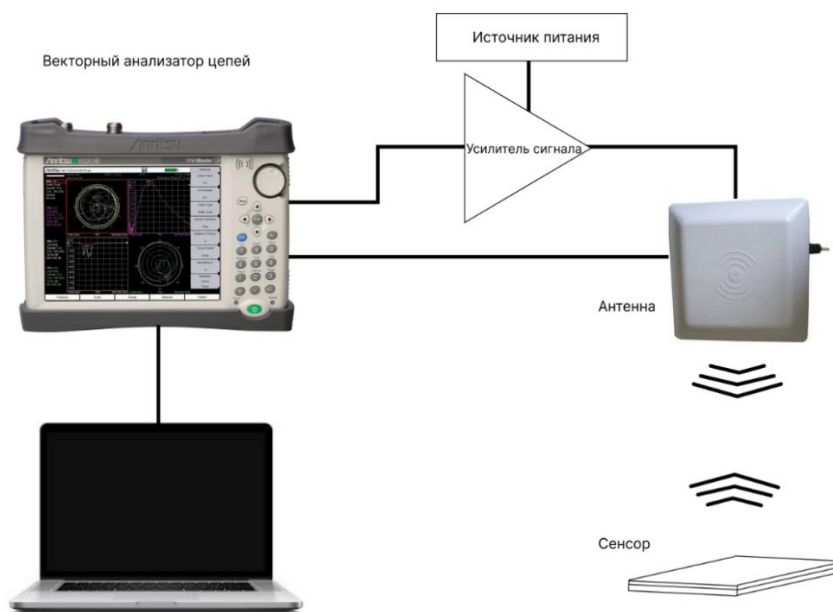
С развитием технологий появились методы беспроводного зондирования с применением интернета вещей (ИОТ) в виде современных сельскохозяйственных решений для отображения показателей в режиме реального времени [4]. Такие сети интернета

вещей используют различные стандарты беспроводного соединения, благодаря которым происходит объединение в одну сеть набора из n-го количества распределенных устройств. Сети ИОТ в основном сочетают в себе стандарты беспроводной связи и активные электронные датчики для работы в полевых условиях. Несмотря на то, что ИОТ успешно улучшает управление ресурсами и производительность в точном земледелии, существуют определенные проблемы. Например, большинство датчиков ИОТ содержат встроенные батареи и электронные чипы, что увеличивает стоимость производства и сборки и ограничивает количество узлов, которые можно развернуть. К тому же, датчики с чипами не являются экологически безопасными из-за возможности утечки вредных химических веществ из аккумуляторов и интегральных схем, которые могут загрязнять почву и водоемы после окончания сезона сбора урожая [5].

Бесчиповые беспроводные датчики используются как альтернатива сенсорам с чипами, так как они не требуют электронных чипов или батарей для работы. Благодаря недорогим возможностям реализации через аддитивное производство и высокопроизводительные технологические этапы без сборки компонентов, бесчиповые датчики стали популярным выбором для измерения влажности, обнаружения газа и мониторинга состояния конструкций. Однако у них есть определенные недостатки. Например, их размеры делают развертывание громоздким и не подходят для автоматизированного распределения на полях. К тому же, они часто изготовлены из не поддающихся биологическому разложению материалов, таких как медь и армированный стекловолокном ламинат из эпоксидной смолы, что может ухудшить качество почвы. Их надежность в полевых условиях также не всегда сообщается, что требует разработки портативной системы для тестирования на сельскохозяйственных полях. Кроме того, важно понимать срок службы и поведение биоразлагаемых сенсоров при деградации для оценки их функционального периода в полевых условиях [19].

В этом исследовании приводится разработка интеллектуального радиопередающего датчика, который деградирует со временем.

Развертываемый мониторинг влажности почв при помощи беспроводного соединения, представляет собой следующую конфигурацию (рис. 1):



**Рис. 1 - Конфигурация системы**

В общую структуру лабораторного образца входит: векторный анализатор цепей, усилитель сигнала, источник питания для усилителя, антенна, антенна, сенсор и обрабатывающее устройство.

Чтобы решить проблемы миниатюризации, биоразлагаемости, портативности и надежности в существующих сетях датчиков используется технология электрических малых антенн (ESA) в сочетании с аддитивными методами производства для создания биоразлагаемых и компактных датчиков. Было проведено систематическое исследование ESA, чтобы определить оптимальный размер датчика для работы в диапазоне частот, который идеально подходит для мониторинга почвы при любых условиях влажности. Затем были выбраны биоразлагаемые материалы, совместимые с радиочастотами, для производства экологически чистых датчиков. Для изготовления сенсоров использовали масштабируемую технологию аддитивного производства с 3D-печатью биоразлагаемых подложек и лазерной обработкой биоразлагаемых металлических листов. Также разработали легкую портативную систему считывания, интегрирование которой возможно в беспилотник для проведения измерений в реальном времени как в лабораторных условиях, так и на местности. В дальнейшем, измерения датчиков будут выполнены с помощью дронов на сельскохозяйственном поле, чтобы продемонстрировать применимость датчиков в реальных условиях и возможность интеграции портативной системы в технологии сельскохозяйственных дронов.



## Список использованных источников

1. United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2019). World Population Prospects 2019: Highlights.
2. Levidow, L. et al. Improving water-efficient irrigation: prospects and difficulties of innovative practices. *Agric. Water Manag.* 146, 84–94 (2014).
3. UNESCO., [UNESCO] United Nations Educational Scientific and Cultural Organization. (2001a) *Securing the Food Supply*. Paris.
4. Bepery, C., Sozol, M. S. S., Rahman, M. M., Alam, M. M., & Rahman, M. N. Framework for internet of things in remote soil monitoring. In 23rd International Conference on Computer and Information Technology (ICCIT) (2020).
5. Kang, D. H. P., Chen, M. & Ogunseitan, O. A. Potential environmental and human health impacts of rechargeable lithium batteries in electronic waste. *Environ. Sci. Technol.* 47, 5495–5503 (2013).

УДК 634.98

**Я.А. Шапорова**

Белорусский государственный технологический университет  
Минск, Беларусь

### ДИНАМИКА РАЗВИТИЯ АГАРИКОИДНЫХ МИКОРИЗООБРАЗУЮЩИХ ГРИБОВ В СОСНОВЫХ ЛЕСАХ НА ПРИМЕРЕ НЕГОРЕЛЬСКОГО УЧЕБНО-ОПЫТНОГО ЛЕСХОЗА

*Аннотация.* Исследования на протяжении в период с 2013–2023 гг. в сосновых типах леса на территории НУОЛХ показали, что существенных изменений по видовому составу доминирующих агарикоидных микоризообразующих грибов не произошло, однако их обилие и сроки плодоношения существенно изменились, что неблагоприятно сказывается на формировании их биологического запаса.

**Ya.A. Shaparava**

Belarusian State Technological University  
Minsk, Belarus

### DYNAMICS OF DEVELOPMENT OF AGARICOID MYCORRHIZA-FORMING FUNGI IN PINE FORESTS USING

## THE EXAMPLE OF THE NEGORELOE FORESTRY EXPERIMENTAL STATION

*Abstract.* Research during the period from 2013–2023. in pine forest types on the territory of the Negoreloe Forestry Experimental Station showed that there were no significant changes in the species composition of the dominant agaricoid mycorrhiza-forming fungi, however, their abundance and timing of fruiting have changed significantly, which adversely affects the formation of their biological stock.

Негорельский учебно-опытный лесхоз (НУОЛХ) является филиалом учреждения образования «Белорусский государственный технологический университет». Расположен на территории Дзержинского и Узденского районов Минской области. Общая площадь лесхоза 17 107,6 га. По лесорастительному районированию Республики Беларусь, территория лесхоза относится к зоне хвойно-широколиственных лесов, подзоне елово-грабовых дубрав Неманско-Предполесского лесорастительного района, Неманского комплекса лесных массивов в соответствии с существующим лесорастительным районированием территории Республики Беларусь, проведенным И.Д. Юркевичем и В.С. Гельтманом в 1965 г. В большей степени леса лесхоза представлены суходольными типами леса – 87,2 %, болотные леса занимают 12,8 % покрытых лесом земель. В лесах филиала УО БГТУ «Негорельский учебно-опытный лесхоз» наблюдается увеличение площадей приспевающих, спелых и перестойных насаждений, в тоже время отмечается снижение площади молодняков и средневозрастных насаждений.

Изучение всех компонентов экосистем является одним из направлений, раскрывающих механизм их устойчивости и функционирования. Грибы являются обязательным компонентом для полноценного формирования лесного сообщества. Ряд ученых в своих работах доказывают, что отбор связи гриб-дерево происходил постепенно как по отношению к отдельным древесным породам, так и к их сочетаниям [1]. Установлено, что встречаемость грибов в значительной степени определяется не только составом, но и условиями роста насаждений. Эти вопросы являются перспективными для исследований, поскольку тесно связаны с микорризацией древесных растений при лесоразведении. В странах Западной Европы с 80-х годов прошлого столетия эктомикоризные грибы включены в систему экологического мониторинга за состоянием лесов [2].

С конца 1980-х годов на территории Беларуси начали интенсивно проявляться современные процессы изменения климата. Средняя скорость роста среднегодовой температуры воздуха, начиная с 1989 г.,

составила 0,4°C/10 лет, что превышает средние значения по земному шару, находящиеся в пределах 0,1–0,3°C/10 лет. Незначительный недобор осадков наблюдается в августе и существенный – в июне и сентябре. Начиная с 2000 г., по территории страны 1–3 раза за 20 лет отмечаются длительные (30 дней и более) периоды, на протяжении которых сумма осадков составляла 0,1 мм и менее. Наиболее часто такие засушливые периоды отмечаются по югу страны (на территории Брестской и Гомельской областей) и характерны для теплого периода года (преимущественно август – октябрь) [3]. Данные климатические особенности очень сильно отражаются на плодоношении, в первую очередь, агарикоидных микоризообразующих грибов.

Благоприятными для плодоношения грибов являются годы, когда зима «мягкая», с хорошо выраженным снежным покровом, умеренным количеством осадков в мае, и обильными августовскими дождями после сухой жаркой погоды в июле, а осень – теплая, с достаточным количеством осадков, без ранних заморозков. Исходя из выше изложенного, следует, что климатический фактор будет определяющим в формировании ресурсного потенциала дикорастущих микоризообразующих грибов.

С 2010 г. в целом по стране, и по Негорельскому учебно-опытному лесхозу в частности, урожайными на грибы были только два года 2012 и 2017. Годы с низким урожаем характеризуются показателями количества выпавших осадков в мае ниже нормы, резкими суточными перепадами температур, ранним наступлением осенних заморозков [4]. Крайне не грибными были годы 2015, 2016, 2019 и 2023 г.

В последние годы стала прослеживаться тенденция к тому, что четко выраженных грибоносных волн (слоев) нет.

Каждый тип леса имеет свой микологический профиль. Визуально он определяется видами, которые доминируют по обилию и общественности базидиом. Образование последних, обуславливается совокупностью биотических, абиотических и антропогенного факторов. Прямой корреляции между биомассой базидиом и массой мицелия в почве не существует, но установлено, что массовое образование плодовых тел является реакцией проявления активности мицелия на складывающиеся условия. Следовательно, видовой состав доминантов служит важным показателем микологической характеристики биогеоценозов. Смена доминирующих видов свидетельствует о сукцессионных процессах происходящих в ценозах, об устойчивости тех или иных видов к стрессовым явлениям, т.е. об их экологической приспособляемости.

Существует прямая зависимость между видовым составом грибов и той растительностью, среди которой они произрастают. Большинство видов агарикоидных микоризообразующих грибов приурочены лишь к одной или нескольким определенным ассоциациям и даже к определенному возрасту древостоя в последних, а также к определенным почвенно-грунтовым условиям. Таким образом, специфику роста и развития микоризных грибов, можно проследить на основе такой структурной единицы фитоценоцикла, которая учитывала и отражала бы все вышеперечисленные особенности. Такой единицей является тип леса, поскольку под ним понимается «совокупность лесных участков сходных по климатическим и почвенно-грунтовым условиям, а потому с такими же основными растительными сообществами».

Нами выделены доминантные виды агарикоидных микоризообразующих грибов в различных типах сосновых лесов, расположенных на территории НУОЛХ (таблица).

Наибольшее количество видов содержат роды *Russula* (13), *Cortinarius* (12) и *Amanita* (8).

Только в одном из типов соснового леса доминантами выступают 13 видов агарикоидных грибов, 31 вид – в двух-трех типах леса, виды: *Lactarius rufus* (Scop.) Fr., *Rozites caperata* (Pers.: Fr.) P. Karst., *Russula decolorans* (Fr.) Fr., *Russula fragilis* Fr., *Russula paludosa* Britzelm, *Russula xerampelina* (Schaeff.) Fr., *Tricholoma sudum* (Fr.) Quél., *Suillus variegatus* (Fr.) Kuntze, *Xerocomus badius* (Fr.) Kühner ex Gilb. являются доминантами в четырех и более типах соснового леса.

В пространственном распределении базидиомы доминантных видов имеют рассеянно-групповой характер и появляются одними из первых после наступления соответствующих условий для плодоношения.

Одними из объективных критериев благоприятности эдафических условий для формирования комплекса доминантных видов микоризообразующих агарикоидных грибов являются родовые коэффициенты [5]. Их значения обратно пропорциональны разнообразию экологических условий.

Анализ родовых коэффициентов показывает, что наилучшие условия для роста и развития изучаемой группы грибов в НУОЛХ складываются в сосняках мшистых. Установлено, что по мере возрастания или уменьшения увлажнения почвогрунтов значения родовых коэффициентов увеличиваются, так же прослеживается корреляция между родовыми коэффициентами грибов в типах сосновых лесов близких по эдафо-фитоценоотическим условиям.

Переход к более оптимальным условиям произрастания в целом ведет к обогащению группы симбиотрофов, однако резко снижается процент доминантных видов (таблица).

**Таблица - Численная характеристика доминирующих микоризообразующих агарикоидных грибов в различных типах сосновых лесов НУОЛХ**

Тип соснового леса	К-во доминирующих видов	Родовой коэффициент $K = (p/v)100$	% дом. видов от количества видов, встречающихся в данном типе леса	% дом. видов от общего количества видов, встречающихся в сосновой формации
Вересковый/ 41,6 га	15	53,3	22,4	6,3
Брусничный/16,7 га	11	54,5	12,5	4,5
Мшистый/3659,8 га	38	23,7	18,9	15,8
Орляковый/ 4207,1 га	7	85,7	12,9	2,9
Кисличный/610,1 га	6	83,3	31,6	2,5
Черничный/490,3 га	25	36	20,8	10,4
Осок.-сфагновый/56,9	8	62,5	30,8	3,3

Молодняки сосны, в целом, как и другие породы в аналогичном возрасте, произрастают в пессимальных условиях обитания. На данном этапе становления лесного ценоза происходит интенсивное формирование корневой системы, идет напряженная конкуренция за свет, элементы минерального питания и влагу. Жесточайшие условия произрастания древесной породы зеркально отражаются на видовом составе симбионтов. Успешно конкурировать и развиваться здесь может очень ограниченное число видов микоризообразующих агарикоидных грибов, все они экологически широковалентны (обладают широкой амплитудой колебаний по одному или ряду факторов).

Доминантами в молодых насаждениях сосны являются следующие виды симбиотрофов: *Paxillus involutus* (Batsch) Fr., *Suillus bovinus* (Pers.) Roussel, *Suillus luteus* (L.) Roussel, *Suillus granulatus* (L.) Roussel, *Chroogomphus rutilus* (Schaeff.) O.K. Mill., *Amanita muscaria* (L.) Lam.

Если сравнивать полученные данные для сосновых типов леса на территории НУОЛХ с ранее проводимыми (2000–2010 гг.), то значительных изменений по видовому составу доминирующих агарикоидных макромицетов не установлено, однако четко прослеживается тенденция к изменению их обилия и сроков

плодоношения, что существенно будет отражаться на потенциальном биологическом и эксплуатационном запасах последних.

### Список использованных источников

1. Эволюция и систематика грибов. Теоретические и прикладные аспекты. – Л.: Наука, 1984. – 198 с.
2. Шубин В.И. О плодоношении эктомикоризных грибов // Хвойные бореальной зоны. Т. 26, № 1. – С. 29–32.
3. Белгидромет. Усовершенствование климатической политики в Беларуси. О реализации регионального проекта «ЕС для климата» [Электронный ресурс]. URL: <https://www.belgidromet.by/ru/news-ru/view/> дата обращения: 14.11.2023).
4. Шапорова Я.А. Особенности формирования ресурсов агарикоидных грибов Беларуси // Лесное хозяйство: тезисы 86-й науч.-техн. конференции проф.-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов (с международным участием), Минск, 31 января–12 февраля 2022 г.; Минск : БГТУ, 2022. – С. 366–369.
5. Сержанина Г.И. Макромицеты как компоненты сосновых фитоценозов Белоруссии // Микол. и фитопатол. – Т. 11, вып. 4. – 1977. – С. 280–293.

УДК 332.362

**Е.А. Яковлева**

Воронежский государственный лесотехнический университет  
им. Г.Ф. Морозова  
Воронеж, Россия

### МЕХАНИЗМ РЕАЛИЗАЦИИ СТРАТЕГИИ ДВОЙНОГО УГЛЕРОДА

*Аннотация.* В статье раскрыт механизм реализации стратегии двойного углерода, включающий сокращение выбросов углерода с помощью различных средств, и увеличение поглотителей углерода за счет развития технологий секвестрации углерода или биологических поглотителей углерода. Сделаны выводы о проблемах, на которые следует обратить внимание при реализации стратегии двойного углерода.

**El.A. Yakovleva**

Voronezh State Forestry Engineering University Named after G.F. Morozov  
Voronezh, Russia

## MECHANISM OF IMPLEMENTATION OF THE DOUBLE CARBON STRATEGY

***Abstract.** The article reveals the mechanism for implementing the dual carbon strategy, including reducing carbon emissions by various means, and increasing carbon sinks through the development of carbon sequestration technologies or biological carbon sinks. Conclusions are drawn about the problems that should be paid attention to when implementing the double carbon strategy.*

### **Введение**

Ключевая проблема современности заключается в том, что в условиях усиления глобального изменения климата средняя глобальная температура в 2020 году, включая поверхность суши и океана, почти на 1 градус Цельсия выше, чем средняя температура в XX-м веке, и на 1,2 градуса по Цельсию выше, чем в доиндустриальную эпоху. Согласно докладу Организации Объединенных Наций и Группе экспертов по изменению климата, если температура поднимется выше 2,5 градусов по Цельсию, все регионы мира, пострадают от неблагоприятных последствий, особенно в развивающихся странах, а если температура повысится на 4 градуса по Цельсию, это может нанести необратимый ущерб глобальной экосистеме и мировой экономике. Эта проблема является очень значимой и актуальной.

Воздействие изменения климата является масштабным, всесторонним и многоуровневым, хотя оно имеет некоторые положительные эффекты, но в целом негативные последствия более тревожны и серьезны. Глобальное потепление уже оказало влияние на естественные экосистемы во многих частях мира, поскольку сейчас мы сталкиваемся с повышением уровня моря, отступлением ледников, падением уровня воды в озерах, сокращением площади озер, таянием вечной мерзлоты. Удлиняется вегетационный период в средних и более высоких широтах, распространение животных и растений охватывает полярные районы и высокогорные районы, численность некоторых животных и растений уменьшилась, а период цветения некоторых растений продлился и т.д. Из-за ограниченной адаптируемости природные экосистемы уязвимы для серьезного, даже необратимого ущерба. По мере увеличения частоты и масштабов климатических изменений количество повреждаемых природных экосистем будет увеличиваться.

Целью настоящего исследования является выделение приоритетных направлений механизма реализации двойной углеродной стратегии.

### **Материалы и методы**

В последние годы, когда изменение климата уже существенно повлияло на развитие всего общества и экономики, международное сообщество начало активно координировать свои действия для решения проблемы изменения климата. Углеродная нейтральность стала неизбежным выбором. Постепенно достигнут консенсус в отношении того, что бороться с глобальным изменением климата необходимо посредством сокращения выбросов углерода, и большинство стран взяли на себя обязательства по достижению углеродной нейтральности.

Китай планирует достичь углеродной нейтральности к 2060 году, углеродный пик будет достигнут к 2030 году. Германия, Канада, Чили, Дания, ЕС и Франция предлагают добиться углеродной нейтральности к 2050 году, Уругвай – к 2030 году, Финляндия – к 2035 году, Исландия, Австрия – к 2040 году, Швеция – к 2045 году. Очевидно, что для достижения цели углеродной нейтральности необходимо принять соответствующие меры.

На данном этапе реализуются две основные меры по снижению концентрации парниковых газов. Одна из них заключается в сокращении выбросов, главным образом за счет сокращения потребления энергии, повышения энергоэффективности. Это то, что называется достижением углеродного пика. Выбросы сначала достигнут пика, а затем постепенно уменьшатся. Второй путь идет через увеличение поглотителей, то есть поглощение выбросов в атмосферу. Это в основном достигается посредством облесения, защиты и восстановления растительности, управления лесами и т. д. Конечно, в дополнение к биологическому связыванию углерода, некоторые технические средства также могут быть использованы для достижения углеродной нейтральности.

Цель углеродной нейтральности достигается либо за счет сокращения выбросов, либо за счет увеличения поглотителей. До достижения пика сокращение выбросов является основной мерой контроля, так как для достижения пика необходимо контролировать выбросы углерода. После того, как выбросы достигают своего пика и постепенно уменьшаются, двуокись углерода может быть поглощена за счет облесения, энергосбережения и сокращения выбросов. Поэтому, по сравнению с углеродным пиком, достижение углеродно-нейтрального состояния сложнее и длительнее.

Чтобы достичь углеродной нейтральности, с одной стороны, планируется сократить и контролировать выбросы углерода, в основном за счет энергосбережения и повышения эффективности. Что касается производства энергии, этих показателей планируется достичь



в основном за счет ограничения использования ископаемой энергии и увеличения использования чистой энергии. В энергопотреблении - это контроль выбросов в промышленной сфере, строительстве, транспорте и других областях. Тогда, с точки зрения увеличения поглотителей, применяются в основном два метода, один из которых базовое улавливание углерода за счет распространения и повсеместного использования технологий хранения углерода для фиксации углекислого газа, а другой - более традиционная биолого-экологическая фиксация углерода через леса, луга, зеленые земли, озера и водно-болотные угодья, и т. д. Для того, чтобы зафиксировать поглощение углекислого газа и увеличить поглотители, необходимо уменьшить выбросы углерода за счет комплекса мер по сокращению выбросов. Благодаря формуле баланса сокращения выбросов углерода и компенсации выбросов углерода возможна углеродная нейтральность.

### **Обсуждение**

Для достижения углеродной нейтральности необходимо сначала научиться контролировать выбросы, что является ключевым моментом, а затем, на основе сокращения выбросов, продолжить добиваться чистого нулевого выброса за счет увеличения поглотителей. Для достижения углеродной нейтральности следует рассмотреть следующие конкретные пути. Первый – это сокращение выработки угольной генерации за счет развития чистой энергии. Выбросы угольной генерации энергии являются самыми масштабными среди всех выбросов углерода. Затем, развивать чистую энергию за счет замены энергии. Разработка технологий накопления энергии, увеличение КПД использования энергии. Второй – это экологичное строительство зданий, появление зеленых зданий за счет введения некоторых стандартных систем оценки зеленых зданий и продвижения концепций потребления зеленой энергии. Переоснащение старых зданий и строительство новых «зеленых» зданий. Третий аспект заключается в сокращении выбросов транспортной отрасли. Планирование выбросов углерода и развитие транспортных средств на основе новой энергии за счет продвижения углеродно-нейтральных транспортных средств и соответствующей инфраструктуры. Четвертый аспект заключается в сокращении промышленных выбросов углерода. На промышленность также приходится относительно большая доля всего объема выбросов углерода. Следует уделить внимание развитию биоэнергетики, улавливанию углерода, секвестрации углерода, развитию экономики замкнутого цикла, увеличению коэффициента использования материалов и др. Пятый аспект заключается в

сокращении выбросов сельского хозяйства и улучшении функции поглотителя углерода в экосистеме. Указанные пять типов, в том числе выбросы углерода в сельском хозяйстве, составляют основную часть выбросов.

### **Результаты**

Для достижения углеродной нейтральности требуется выполнить три шага. Первый шаг заключается в замене энергии, полученной из ископаемых видов топлива, на фотоэлектрическую, ветровую, гидроэлектроэнергию и ядерную. Путем корректировки энергетической структуры, низкоуглеродной вместо высокоуглеродистой, возобновляемой энергии вместо ископаемой энергии. Объем выбросов углерода должен быть сокращен. Контроль доли выбросов тепловой энергии заключается в энергосбережении и сокращении выбросов. Основное внимание уделяется производству стали, строительных материалов, химической промышленности, производству бумаги и офсетной печати. Требуется оптимизация структуры производственных мощностей, трансформация в отраслях с высоким энергопотреблением, таких как сталелитейная, нефтехимическая и химическая промышленность. Вторым аспектом является повышение энергоэффективности, снижение уровня энергопотребления. Следует поддерживать низкоуглеродные исследования и разработки технологий энергосбережения, совершенствовать «зеленую финансовую политику» для поощрения энергосбережения и сокращения выбросов в этих областях. Третьим аспектом является использование технической и экологической фиксации углерода за счет развития поглотителей углерода в лесах, водно-болотных системах, озерах и лугах. Если же проблема замещения энергии не решена, а традиционная тепловая генерация все еще используется в широком масштабе, то так называемый углеродный пик трудно достижим в краткосрочной перспективе.

В соответствии с Киотским протоколом предусматривается: совместное осуществление, торговля квотами на выбросы и механизм чистого развития. В результате совместного осуществления, страны вводят ограничения или сокращают выбросы углерода, увеличивают поглотители углерода, а также делят между собой единицы сокращения выбросов углерода. Торговля выбросами означает, что страны, достигшие целей по сокращению выбросов, продают квоты на выбросы парниковых газов другим странам. Эта активность характерна для развитых стран. Однако, механизм чистого развития предусматривает, что если развитая страна реализует проект в развивающейся стране, то полученные ею сокращения выбросов могут быть зачтены в счет ее

обязательств, что составляет основу сотрудничества между развитой и развивающейся странами. Именно благодаря этим трем механизмам развитые и развивающиеся страны могут добиться сокращения выбросов парниковых газов.

### Список использованных источников

1. Михайлов Д.М. Проблемы и перспективы регулирования углеродного рынка в контексте устойчивого развития регионов / Д.М. Михайлов, И.Ш. Шажаев, В.В. Чуманская, В.И. Абрамов // Экономические отношения. – 2022. – Том 12. – № 2. – С. 265-284.
2. Мотосова Е.А. Плюсы и минусы введения углеродного налога: зарубежный опыт и позиция России по Киотскому протоколу / Е.А. Мотосова, И.М. Потравный // ЭКО. 2014. №7 (481). – С. 180-189.
3. Буквич Р.М. Парниковый эффект и рыночные механизмы Киотского протокола / Р.М. Буквич, Д.Р. Петрович // Вестник НГИЭИ. 2017. №1 (68). – С. 139-157.
4. Ланьшина Т.А. Переход крупнейших экономик мира к углеродной нейтральности: сферы потенциального сотрудничества с Россией / Т.А. Ланьшина, А.Д. Логинова, Д.Е. Стоянов // Вестник международных организаций: образование, наука, новая экономика. 2021. №4. – С. 98-125.
5. Порфирьев Б.Н. Комплексный подход к стратегии низкоуглеродного социально-экономического развития России / Б.Н. Порфирьев, А.А. Широков, А.Ю. Колпаков // Георесурсы. 2021. №3. – С. 3-7.

УДК 338.012

**В.В. Семикашев**  
ИНП РАН  
Москва, Россия

### ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ПОЛИТИКА В ОТРАСЛЯХ ТЭК РОССИИ В УСЛОВИЯХ САНКЦИЙ

*Аннотация.* В докладе предлагается и обосновывается новый подход к реализации научно-технологической политики в отраслях ТЭК России в условиях санкций. Выдвинут тезис о необходимости специальных механизмов для финансирования крупных НИОКР, а также разработаны предложения по международному сотрудничеству в этом вопросе.

## TECHNOLOGICAL POLICY IN RUSSIAN ENERGY SECTOR UNDER SANCTIONS

*Abstract. The report proposes a new approach to the implementation of scientific and technological policy in the Russian Energy sector under sanctions. A thesis has been put forward about the need for special mechanisms for financing large-scale R&D, and proposals for international cooperation in this matter have been developed.*

Как крупный сегмент мировой энергетики (Россия производит около 10% всех энергоресурсов в мире) российские отрасли ТЭК и компании, оперирующие в них, не могли не быть включены в глобальные цепочки поставок, приобретения оборудования, НИОКР и т.д.

При этом на отрасли ТЭК кроме функции энергоснабжения экономики и населения ложились и макроэкономические функции. А именно:

- значительный спрос на отечественную машиностроительную продукцию и услуги в сфере строительства инфраструктуры и сооружений для добычи и обслуживания месторождений и объектов энергетики;
- наполнение бюджета доходами;
- участие в формировании положительного сальдо торгового баланса, а также ряд других функций.

В новых условиях противостояния с развитыми странами, обладающими лицензиями на большинство передовых технологий, что позволяет ограничивать их экспорт в Россию, **необходимо** сформировать производственную и научно-техническую политики в отраслях российского ТЭК, чтобы воспользоваться их конкурентными преимуществами и возможностями, которые они дают для национальной экономики, и нивелировать риски и угрозы для реализации макроэкономических функций ТЭК.

На предыдущем этапе развития (до 2022 г.) научно-технологическую, промышленную и инвестиционную политики в России можно охарактеризовать следующими аспектами:

- большая зависимость от импорта технологий, в основном из западных стран;
- высокая доля импорта НИОКР (вместе с высокотехнологичным импортом [1]);

- низкая эффективность сектора Исследований и разработок (ИиР) относительно затрат по сравнению с ведущими странами мира [2];
- разорванный инновационный цикл российской экономики (с относительно неплохими результатами в ИиР, но низкой их коммерциализацией в рамках отечественной экономики) [2].

При этом был опыт реализации крупных технологических проектов, как в советское время, так и в новое российское время (развитие технологий у ГК «Росатом», проекты компании «Яндекс», цифровизация, новые военные технологии, реализация ряда среднетехнологичных производств в машиностроении, освоение технологии производства СПГ компанией «Новатэк»).

Также следует отметить специфику реализуемой инвестиционной политики российских корпораций, в частности в секторе конструкционных материалов. Имея достаточно большие инвестиционные ресурсы [3], они не стремятся инвестировать ни в расширение производств, ни в углублении цепочек добавленной стоимости (углубление переработки), ни в НИОКР, предпочитая покупать передовое импортное оборудование.

Для энергетических отраслей российской экономики ситуация несколько иная. Часть компаний и высокотехнологичное оборудование для добычи нефти попали под санкции еще в 2014 г. Поэтому ряд компаний занимались импортозамещением и технологической безопасностью. Во многих направлениях, есть заделы.

Также надо отметить, что существуют требования по переводу критической инфраструктуры, к чему относится большая часть энергетики, на отечественное оборудование и программное обеспечение.

И в заключение российские отрасли ТЭК являются достаточно крупными в мировом масштабе, чтобы выступить как заказчиками для разработки технологий, так и для окупаемости разработки технологий и создания производств по выпуску оборудования.

Так доля и место России:

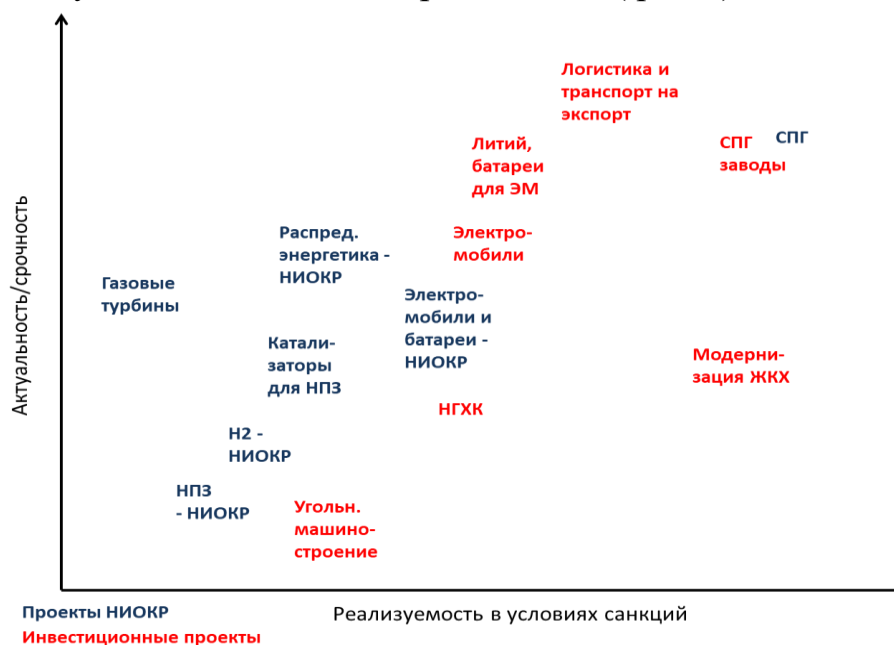
- около 10-12% в добыче и экспорте нефти в мире;
- около 20% в добыче и экспорте природного газа в мире;
- 5% в мировом производстве угля, но Россия третий экспортер с долей около 20% в мировой торговле углем;
- на 4 месте в мире по производству электроэнергии.

По большинству направлений к этому могут добавиться страны-соседи, страны-члены интеграционных объединений и

дружественные страны (включая Республику Беларусь), в которые также можно поставлять оборудования или вовлекать в процесс разработки и производства оборудования.

Все это обеспечивает **достаточность** тезиса о проведении новой научно-технологической политики в российских отраслях ТЭК.

Тогда полезно предложить инвестиционные проекты и проекты по развитию технологий в отраслях ТЭК, которые и решат задачи технологического и экономического развития и дадут наибольший эффект для развития экономики. Их можно отранжировать по вкладу в экономику и возможности для реализации ( рис.1).



**Рис. 1 - Оценка приоритетности и реализуемости проектов в отраслях ТЭК**

К первой очереди можно отнести следующие проекты.

1. Разработку отечественных технологий и оборудования для заводов СПГ. Такое оборудование и технологии могут быть разработаны внутри России. Имеющиеся заделы реализованы в 2-3 вариантах технологии. По сути, эта технология уже сильно локализована (за счет этого реализуются проекты по Арктик СПГ-2 и Мурманский СПГ), но необходимы стимулы, чтобы ее полностью локализовать. Представляется, что инвестиционный вычет позволит полностью освоить эту технологию в ближайшие 3-4 года.

2. Инвестиционные проекты по перестройке логистики. Компании самостоятельно занимаются этим, но государству полезно координировать и поддерживать эту деятельность. Положительные примеры: изменения правил провоза по Восточному полигону, когда менее качественный и дешевый уголь был ограничен, чтобы вывозить

и ввозить более важные для экономики товары, инвестиции в ЖД Астара-Решт, что позволит значительно увеличить грузопотоки в сторону иранских портов. Но этих проектов могло бы быть больше. Например, развитие коридора Север-Юг (транспортный коридор от Санкт-Петербурга в России до Индийского океана в Иране) мог бы развиваться

быстрее, а также включать большее число вариантов транспортировки как энергетических, так и других грузов.

3. Запустить те НИОКРы на уровне разработки собственной технологии и создания нового оборудования, которые востребованы и на внешнем и на внутреннем рынке. Здесь видятся наиболее перспективными следующие направления:

- распределённая энергетика (включая оборудование для малой генерации, а также все этапы и системы управления);
- современные технологии в ЖКХ (энергоэффективные здания и сопутствующие технологии);
- батареи для электромобилей (ЭМ) и после саму сборку и разработку отечественных ЭМ.

4. В отраслях ТЭК можно предложить крупные инвестиционные проекты, которые быстро окупаются. Например, в ЖКХ и теплоснабжении есть инвестпроектов на 2-3 трлн руб., срок окупаемости которых укладывается в 5-7 лет. Для сравнения, у сопоставимых по затратам проектов Силы Сибири-2 или расширения Восточного полигона окупаемость дольше. Аргументами в пользу таких проектов становится импульс для экономического роста, опора преимущественно на отечественные технологии и оборудование, а также улучшения социально-экономических условий проживания населения. Представляется, что плюсом может быть и распределённость таких инвестпроектов (их могут быть тысячи), что позволит дать импульс развитию экономики многих регионов и отраслей.

5. Запустить НИОКРы в менее актуальных направлениях. И целью должно быть формирование полностью российской технологии.

Здесь хочется привести неудачный пример развития технологии в старой логике импортозамещения. В России была реализована большая программа строительства электрогенерирующих объектов на основе возобновляемых источниках энергии (ВИЭ). В рамках этой программы порядка 300-350 млрд руб. было потрачено на строительство ветряков. Одним из условий программы была

локализация оборудования на уровне 60-70%. При этом после введения санкций западные партнеры ушли из России, забрали строительно-монтажную технику и перестали поставлять узлы и комплектующие. В итоге в настоящее время в России невозможно построить ветряк. Есть возможность приобрести полностью у дружественных стран, например Китая. Но это означает бессмысленность ранее понесенных затрат на локализацию и импортозамещение. При этом сама технология ветряков не является сложной и передовой для российского машиностроения. Представляется, что за 10-20 млрд руб. инвестиций и разработку ветряка можно было бы получить полностью отечественную технологию. В пользу такого подхода говорит и отсутствие срочности в строительстве ветряков в России. Да, эта технология должна быть в пакете у современной технологической страны и за внедрением этой технологии будущее, но нет принципиальной разницы ввести новые генерирующие мощности на ВИЭ сейчас или через 5-7 лет.

Кроме вопросов «что делать», следует рассмотреть и варианты «как делать».

Представляется, что необходимы специальные инструменты финансирования проектов развития НИОКР. С одной стороны, все эти проекты достаточно крупные для частных или государственных инвестиций в рамках текущих инструментов. С другой стороны, у государства в настоящее время нет инструментов для реализации крупных проектов в НИОКР (за исключением программ исследований и разработок в космической и атомной тематике). Так, на порядок меньше средств, чем необходимо, выделено на проекты по разработке оборудования для производства СПГ (3 млрд. руб. вместо 30 млрд руб.) и газовых турбин (порядка 10-14 млрд руб. вместо 1-2 млрд долл.).

Отметим, что успешная реализация одного-двух крупных проектов по получению новой конкурентоспособной (в условиях санкционных ограничений) технологии даст возможность мощнейшего инвестиционного импульса для отечественной экономики, который окупит все затраты на НИОКР и создание производств по выпуску нового оборудования, формируя инвестиционные программы на трлн руб. Кроме того, потери от нереализации таких проектов на порядки (два и более) превышают затраты.

Также стоит подумать о новых организационных принципах реализации НИОКР для крупных проектов. Необходимо отойти от программ со стороны Минпромторга России к формированию частно-



государственных консорциумов, где государственное финансирование составляло бы значимую часть НИОКР (не менее 30-40%), а частные деньги позволяли довести перспективные разработки до коммерческой технологии и создать производства по выпуску нового оборудования по новой технологии.

Рассмотрим варианты международного взаимодействия в рамках развития технологий. Надо признать неудачным подход по воспроизведению политики взаимодействия с дружественными странами по примеру взаимодействия с западными странами, которое было в последние 20-30 лет (упрощенно – встраивание в цепочки добавленной стоимости западных корпораций). Поэтому предлагается устраивать взаимодействие, сильно локализуя технологию (чтобы можно было производить самостоятельно, а также самостоятельно развивать их далее). Наиболее благоприятной сферой взаимодействия могут стать строительные технологии и промышленный инжиниринг во взаимодействии с китайскими корпорациями как их донорами. Также возможно взаимодействие в сфере добычи и переработки нефти, газа и угля как с китайскими, так и корпорациями из других стран. Уже активно развивается взаимодействие с Ираном в части газовых турбин.

### **Список использованных источников**

1. А.А. Широ́в, М.С. Гусев, А.Р. Саяпова, А.А. Янтовский. Научно-технологическая компонента макроструктурного прогноза. Ж. Проблемы прогнозирования, №6, 2016
2. О долгосрочном научно-технологическом развитии России: монография / Под ред. Белоусова Д.Р. и Фролова И.Э. – М.: Динамик принт, 2022. – 168 с. – (серия: Научный доклад ИНП РАН).
3. И.А. Буданов, В.С. Устинов. Основные диспропорции инвестиционного развития России и перспективы их устранения // Презентация на Пятом Российском экономическом конгрессе // <https://ecfor.ru/wp-content/uploads/2023/09/disbalansy-v-investitsionnoj-deyatelnosti.pdf> (10.11.2023)

## СОДЕРЖАНИЕ

*Секция 3 «ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ И ЗЕЛЕНАЯ ЭНЕРГЕТИКА, АТОМНАЯ ЭНЕРГЕТИКА, ИННОВАЦИОННЫЕ СПОСОБЫ СОХРАНЕНИЯ ЭНЕРГИИ, НОВЫЕ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ И ПОРТАТИВНЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ. ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ И ПРИРОДООХРАННАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ, ОБЕСПЕЧЕНИЕ УГЛЕРОДНОЙ НЕЙТРАЛЬНОСТИ»*

	стр
<i>Александров О.И., Кадыко А.А., Горячко Д.Г. ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ ЕЕ С ПОТРЕБИТЕЛЯМИ.....</i>	3
<i>Арабов Ф.С., Андалеби Н. ВЛИЯНИЕ СТОКООРБРОЗОВАНИЯ РЕК НА ВЫРАБОТКУ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ МАЛЫХ ГЭС.....</i>	14
<i>Атаева О.Ч., Канаева А.Ш., Гурбанов Ы.Г. ДОСТИЖЕНИЕ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ.....</i>	19
<i>Базулин И.А., Мязин А.С., Федотов А.С. РАЗРАБОТКА ТРЁХМЕРНОГО НЕЙТРОННО-ФИЗИЧЕСКОГО КОДА DORA-C, ОСНОВАННОГО НА МЕТОДЕ ХАРАКТЕРИСТИК.....</i>	23
<i>Баршутина Д.С., Баршутин С.Н. ИССЛЕДОВАНИЕ МОДЕЛИ ВОЗДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ НА ПРОЦЕСС ИОНИЗАЦИИ ПЛАМЕНИ.....</i>	25
<i>Баршутина Д.С., Баршутин С.Н. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ТЕРМИЧЕСКОЙ ИОНИЗАЦИИ МОЛЕКУЛ АЗОТА В ПЛАМЕНИ.....</i>	28
<i>Басова Е.А. НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ «УГЛЕРОДНОГО СЛЕДА» ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ.....</i>	32
<i>Беленов С.В., Алексеенко А.А., Меньшиков В.С., Герасимова И.А., Алексеенко Д.В., Паперж К.О. РАЗРАБОТКИ КОМПАНИИ «ПРОМЕТЕЙ РД» В ОБЛАСТИ ЭЛЕКТРОКАТАЛИЗАТОРОВ НА ОСНОВЕ ПЛАТИНЫ ДЛЯ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ.....</i>	37
<i>Борозна А.А. Пустовой И.Ф. Сорокин Д. ПРИМЕНЕНИЕ ГЕЛЕВОЙ МУЛЬТИМОДАЛЬНОЙ ТЕХНОЛОГИИ «Fe-DO» ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ РАБОТЫ УЗЛОВ И МЕХАНИЗМОВ.....</i>	41
<i>Борозна А.А., Якушева Т.В., Громский А.Б. РОЛЬ ЛЕСОУПРАВЛЕНИЯ В СОХРАНЕНИИ И УВЕЛИЧЕНИИ НАКОПЛЕНИЯ УГЛЕРОДА.....</i>	45
<i>Брындина Л.В., Бакланова О.В. БИОУГОЛЬ ИЗ ДРЕВЕСНЫХ ОТХОДОВ.....</i>	49
<i>Брянкина А.К., Парамонова А.А., Миленина В.О. МИКРОВОДОРОСЛИ КАК ОДНО ИЗ НАПРАВЛЕНИЙ РАЗВИТИЯ ЗЕЛЕННОЙ ЭНЕРГЕТИКИ.....</i>	54
<i>Васильева С.И., Ларюшкина М.С., Мельник П.Г. ОСОБЕННОСТИ РОСТА ЛИСТВЕННИЦЫ ЕВРОПЕЙСКОЙ ПОСТРАДАВШЕЙ ОТ ВЕТРОВАЛА В ПРИРОДНО-ИСТОРИЧЕСКОМ ПАРКЕ «ИЗМАЙЛОВО».....</i>	59

<i>Ветохин С.С., Аунг Кхант Вин</i> МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ СИГНАЛОВ ДЕТЕКТОРОВ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ.....	62
<i>Ветров Л.С.</i> КЛИМАТИЧЕСКАЯ СОСТАВЛЯЮЩАЯ ЛЕСНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ.....	66
<i>Володин В.И.</i> ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ АЭРОТЕРМАЛЬНЫХ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ.....	71
<i>Гавриченко С.С., Хотько А.Н.</i> ХИМИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ КОМПОНЕНТОВ ВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ.....	76
<i>Неверов А.В., Геврасёва А.П.</i> ФОРМИРОВАНИЕ И РЕАЛИЗАЦИЯ ПОЛИТИКИ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ: ГЛОБАЛЬНЫЙ И РЕГИОНАЛЬНЫЙ УРОВНИ.....	81
<i>Голубенкова Н.В., Нартова К.В., Мельник П.Г.</i> ДАЛЬНОСТЬ ДИССЕМИНАЦИИ КЛЁНА ОСТРОЛИСТНОГО ( <i>Acer platanóides</i> L.) ПОД ПОЛОГОМ ТЕМНОХВОЙНЫХ И СВЕТЛОХВОЙНЫХ НАСАЖДЕНИЙ В УСЛОВИЯХ НИКОЛЬСКОЙ ЛЕСНОЙ ДАЧИ.....	86
<i>Гришкевич Е.А., Кубрак П.Б.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОКАТАЛИТИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ПИРОЛИТИЧЕСКОГО ГРАФИТА ДОПИРОВАННОГО БОРОМ ДЛЯ РЕАКЦИИ ПОЛУЧЕНИЯ ВОДОРОДА ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИМ МЕТОДОМ В КИСЛОЙ СРЕДЕ.....	89
<i>Грунская Л.В., Тихомиров С.М., Хакимов М.Ф., Архипова Л.С.</i> ПРИРОДНЫЕ АНОМАЛИИ В ЭЛЕКТРОМАГНИТНОМ ПОЛЕ ЗЕМЛИ, ВОЗНИКАЮЩИЕ ПРИ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ И СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ.....	92
<i>Дорожко Е.Ю.</i> ГЕОТЕКСТИЛЬНОЕ ТУБИРОВАНИЕ КАК МЕТОД ПО СНИЖЕНИЮ УГЛЕРОДНОГО СЛЕДА ПРИ ОБЕЗВОЖИВАНИИ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ВОДОХРАНИЛИЩ.....	98
<i>Дубенок С.А., Голод<sup>2</sup> Ю.В.</i> КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД В РЕШЕНИИ ЗАДАЧ ЦУР 6 «ОБЕСПЕЧЕНИЕ НАЛИЧИЯ И РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ И САНИТАРИИ ДЛЯ ВСЕХ», СВЯЗАННЫХ С СОКРАЩЕНИЕМ ОБЪЕМОВ СБРОСА НЕДОСТАТОЧНО ОЧИЩЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД В ПОВЕРХНОСТНЫЕ ВОДНЫЕ ОБЪЕКТЫ .....	103
<i>Дубенок С.А., Шавейко К.Н.</i> СОВРЕМЕННЫЕ МЕЖДУНАРОДНЫЕ ПОДХОДЫ ПО УПРАВЛЕНИЮ ПОВЕРХНОСТНЫМИ СТОЧНЫМИ ВОДАМИ НА ТЕРРИТОРИЯХ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ И ВОЗМОЖНОСТИ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ В БЕЛАРУСИ.....	108
<i>Жерносек С.В., Буденный П.М., Каленько Е.А.</i> АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕПЛОНАСОСНОЙ УСТАНОВКИ В СИСТЕМЕ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ АДМИНИСТРАТИВНОГО ЗДАНИЯ.....	113
<i>Какабаев М.П., Гьлыджов С.</i> ЭКОНОМИЧЕСКАЯ АКТУАЛЬНОСТЬ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ.....	118
<i>Калишук Д.Г., Левданский А.Э., Федарович Е.Г., Саевич Н.П., Ковалева А.А.</i> АНАЛИТИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ МНОГОСТУПЕНЧАТОЙ РЕКТИФИКАЦИОННОЙ УСТАНОВКИ.....	121

<i>Кананчук Т.А.</i> СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ МИРОВОГО РЫНКА ОТРАБОТАННОГО ЯДЕРНОГО ТОПЛИВА.....	126
<i>Михневич Э.И., Левкевич В.Е., Касперов Г.И.</i> ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ НА КАРЬЕРАХ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ.....	131
<i>Баранцева С.Е., Климош Ю.А., Захаревич Г.Б., Курилович М.А., Вонсик Б.Ю., Кулешов Ю.К.</i> ПУТИ РЕШЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ ПРИ РАЗРАБОТКЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ МАГМАТИЧЕСКИХ И ОСАДОЧНЫХ ПОРОД БЕЛАРУСИ.....	137
<i>Козловская И.Ю., Павлова А.А.</i> ВОЗМОЖНОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ СОРБЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ИЗ ОТРАБОТАННОГО КАТАЛИЗАТОРА КРЕКИНГА.....	142
<i>М.С. Кудрявцева, Е.А. Степанова, Д.Н. Шаблыкин, А.Н. Петухов</i> ОЧИСТКА ПРИРОДНОГО ГАЗА ОТ СЕРОВОДОРОДА И ДИОКСИДА УГЛЕРОДА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ ГАЗОГИДРАТНОЙ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ: МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ, ДАВЛЕНИЯ И СОСТАВА СМЕСИ.....	144
<i>Кукис Д.В., Климова Т.Г., Тепикин Я.Е., Резников И.С.</i> А.М. Балабанов АЛГОРИТМ МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА ПО ДАННЫМ УСВИ.....	148
<i>Кулиев Т.А., Келова М.Г.</i> ЗАКОН СОХРАНЕНИЯ ЭНЕРГИИ СМЕСИ ИДЕАЛЬНЫХ ГАЗОВ.....	153
<i>Lankin R.I., Frantskevich V.S.</i> RESEARCH OF MASS TRANSFER APPARATUS WITH A MOVABLE PACKING.....	157
<i>Ледницкий А.В., Протас П.А., Мисуно Ю.И.</i> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ В ЦЕЛЯХ РАЗВИТИЯ ЗЕЛЕННОЙ ЭКОНОМИКИ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ....	161
<i>Лопачук О.Н.</i> МОДЕЛЬ ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ.....	166
<i>Насимханов Л.Н.</i> ОСОБЕННОСТИ РАЗРАБОТКИ НЕФТЕГАЗОКОНДЕНСАТНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЮЖНЫЙ КЕМАЧИ.....	172
<i>Лю Сюэяо</i> ИССЛЕДОВАНИЕ РЕГИОНАЛЬНОГО ЗЕЛЁНОГО РАЗВИТИЯ В КИТАЕ.....	179
<i>Мамедов Б.М., Аманов М.А., Аразов А.К., Четиева М.Г.</i> ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ: ВЕТРОВЫЕ РЕСУРСЫ.....	183
<i>Мамедов Б.М., Аманов М.А., Аразов А.К., Четиева М.Г.</i> ВОДОРОД - ПРИОРИТЕТНОЕ НАПРАВЛЕНИЕ В ЭНЕРГЕТИКЕ .....	187
<i>Мелькова А.С., Пильковская М.Р., Сильванович М.А.</i> ПОВЫШЕНИЕ УРОВНЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ САМОСТОЯТЕЛЬНОСТИ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ.....	192
<i>Мельник Л.П., Терехина М.С., Королева А.П.</i> ОСОБЕННОСТИ ДИССЕМИНАЦИИ ЛИСТВЕННИЦЫ ЕВРОПЕЙСКОЙ ( <i>Larix decidua</i> Mill.) ЗА ЧЕТЫРЕХЛЕТНИЙ ПЕРИОД В УСЛОВИЯХ НИКОЛЬСКОЙ ЛЕСНОЙ ДАЧИ.....	195
<i>Мельник П.Г., Ребко С.В.</i> РЕЗУЛЬТАТЫ РОСТА И	

ПРОДУКТИВНОСТИ БЕЛОРУССКИХ ЭКОТИПОВ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ В ФАЗЕ ФОРМИРОВАНИЯ СТВОЛОВ В УСЛОВИЯХ МЕЩЕРСКОЙ НИЗМЕННОСТИ .....	198
<i>Мередова Х.А., Гурбанмурадов Р.А.</i> ОТОПЛЕНИЕ И ОХЛАЖДЕНИЕ ДОМОВ ЗА СЧЁТ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ.....	202
<i>Мисуно Ю.И.</i> ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОГО АНАЛИЗА ДЛЯ ОЦЕНКИ ЭКСПЛУАТАЦИОННО-ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ СОВМЕСТИМОСТИ ЛЕСНЫХ МАШИН С ПОЧВОГРУНТАМИ.....	207
<i>Мыратбердиев Я., Аманов М.Э., Шохрадова А.Ш.</i> ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ И ОХРАНА ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ.....	212
<i>Найденко А.А.</i> ВОЗОБНОВЛЯЕМАЯ ЭНЕРГИЯ ОКЕАНА.....	218
<i>Ненесов Р.Н.</i> СУЩЕСТВУЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ УТИЛИЗАЦИИ НЕФТЕГАЗОПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ.....	223
<i>Трофимов С.П., Никитина Т.А.</i> ДРЕВЕСИНА СТАРЫХ ДОМОСТРОЕНИЙ, КАК МАТЕРИАЛ ВОЗМОЖНЫЙ К ПОВТОРНОМУ ПРИМЕНЕНИЮ.....	229
<i>Ожигина В.В.</i> ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ ИНТЕГРАЦИОННОЙ ПОЛИТИКИ.....	234
<i>Маршалова Г.С., Островская Д.В.</i> ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВЫСОТЫ ВЫТЯЖНОЙ ШАХТЫ НА ИНТЕНСИВНОСТЬ ТЕПЛООТДАЧИ ОДНОРЯДНОГО ПУЧКА ОРЕБРЕННЫХ ТРУБ С УЧЕТОМ ИХ ВНЕШНЕГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ.....	239
<i>Панасюгин А.С., Машерова Н.П., Цыганов А.Р., Курило И.И., Павловский Н.Д.</i> ЭФФЕКТИВНОСТЬ НЕЙТРАЛИЗАЦИИ ПАРОВ СМЕСЕВЫХ РАСТВОРИТЕЛЕЙ Р 645–650.....	244
<i>Панасюгин А.С., Цыганов А.Р., Машерова Н.П., Курило И.И.</i> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СТРУКТУРОФОРМИРУЮЩИХ ДОБАВОК ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ВЫСОКО СЕЛЕКТИВНЫХ СОСБЕНТОВ ПО ОТНОШЕНИЮ К <sup>137</sup> Cs.....	248
<i>Панасюк В.В.</i> СОЦИАЛЬНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ОЦЕНКИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ РЕГИОНОВ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ.....	252
<i>Перехвал М.Б., Иокова И.Л., Перехвал П.А.</i> «УМНАЯ» СИСТЕМА ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ НА БАЗЕ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕПЛООВОГО НАСОСА.....	257
<i>Поплавский В.В., Бобрович О.Г., Дорошко А.В., Матыс В.Г.</i> ФОРМИРОВАНИЕ АКТИВНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ЭЛЕКТРОКАТАЛИЗАТОРОВ ОКИСЛЕНИЯ ЭТАНОЛА И МЕТАНОЛА С ПРИМЕНЕНИЕМ ИОННО-АССИСТИРУЕМОГО ОСАЖДЕНИЯ ПЛАТИНЫ И РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ МЕТАЛЛОВ НА УГЛЕРОДНЫЕ НОСИТЕЛИ .....	261
<i>Потоцкий А.А.</i> ФИЛОСОФСКИЕ АСПЕКТЫ ОСМЫСЛЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ.....	266
<i>Рахимов Ф.М., Бобозода Ш.А.</i> О ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ В ЛОКАЛЬНЫХ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ.....	269

<i>Россоха Е.В., Насковец М.Т., Французова А.М.</i> КАЛЬКУЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ УСТРОЙСТВА И СОДЕРЖАНИЯ ПОДЪЕЗДНЫХ ПУТЕЙ К ЛЕСОХОЗЯЙСТВЕННЫМ ДОРОГАМ.....	275
<i>Русаков Д.С., Серебренников А.Г., Олексюк И.В., Варанкина Г.С.</i> КОМПЛЕКСНОЕ И РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РЕСУРСОВ В ПРОИЗВОДСТВЕ ФАНЕРЫ.....	278
<i>Савельев И.О., Кукис Д.В., Тимофеев Е.М.</i> ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ.....	282
<i>Savitsky A.A., Gao Yu, Tian Yujie</i> SYNTHESIS AND INVESTIGATION OF THE PHYSICAL-CHEMICAL PROPERTIES OF MOFS AS THE POTENTIAL MATERIALS FOR HYDROGEN STORAGE.....	287
<i>Абдуллозода Р.Т., Сайфиддинзода О.С., Бобоев Х.Д.</i> РАСЧЕТ КОРРОЗИОННОГО СОСТОЯНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ЗАЗЕМЛИТЕЛЕЙ.....	292
<i>Свиридов Г.Б., Марченков А.Ю., Панькина А.А.</i> ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СТАЛИ 15Х2НМФА-А МЕТОДОМ КИНЕТИЧЕСКОГО ИНДЕНТИРОВАНИЯ ПРИ ПОВЫШЕННЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ.....	297
<i>Седоплатов И.С., П. Луа, Ковалев С.В., Столяров А.А., Ковалева О.А., Кобелев Д.И.</i> РАЗРАБОТКА ПРОМЫШЛЕННОГО ДИЗАЙНА КОНСТРУКЦИИ ЭЛЕКТРОБАРОМЕМБРАННОГО АППАРАТА РУЛОННОГО ТИПА.....	302
<i>Сенницкий В.Л.</i> ЭФФЕКТЫ ПАРАДОКСАЛЬНОГО ВРАЩЕНИЯ ЖИДКОСТИ СО СВОБОДНОЙ ГРАНИЦЕЙ ПРИ ПЕРИОДИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ.....	307
<i>Симонова-Лобанок М.П.</i> ПОЛУЧЕНИЕ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭНЕРГИИ БЕЗ ГРАНИЦ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ.....	312
<i>Болдилова Ю.И., Суворова Ю.А.</i> ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ МЕТАЛЛООБРАБАТЫВАЮЩИХ ПРОИЗВОДСТВ.....	316
<i>Суворова Ю.А., Шабалкина К.С.</i> ПЕРЕРАБОТКА АКТИВНОГО ИЛА ГОРОДСКИХ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ С ПОЛУЧЕНИЕМ БИОГАЗА.....	319
<i>Антоненков А.И., Михадюк М.В., Судиловская Л.М., Михадюк Е.В.</i> РЕКРЕАЦИОННЫЕ РЕСУРСЫ И ИХ ОЦЕНКА.....	321
<i>Тагильцев Д.А., Мамочкина Д.Д., Мельник П.Г.</i> РОСТ И ПРОДУКТИВНОСТЬ ОМСКОГО ЭКОТИПА ЛИСТВЕННИЦЫ СИБИРСКОЙ В ЧИСТЫХ И СМЕШАННЫХ С ЕЛЬЮ И СОСНОЙ НАСАЖДЕНИЯХ В УСЛОВИЯХ МОСКВОРЕЦКО-ОКСКОЙ РАВНИНЫ.....	325
<i>Тагоев С.А.</i> ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ВОДОРОДНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ В УСЛОВИЯХ РЕСПУБЛИКИ ТАДЖИКИСТАН.....	328
<i>Тунакова Ю.А., Новикова С.В., Шагидуллин А.Р., Валиев В.С.</i> СПОСОБ НЕЙРОСЕТЕВОГО РАСЧЁТА КОНЦЕНТРАЦИЙ ПАРНИКОВОГО ГАЗА ДИОКСИДА УГЛЕРОДА.....	332

<i>Фёдорова В.А., Кириченко В.Ф., Глазырин Г.В.</i> РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО ВКЛЮЧЕНИЯ ГЕНЕРИРУЮЩЕГО ОБОРУДОВАНИЯ НА ПАРАЛЛЕЛЬНУЮ РАБОТУ С ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМОЙ.....	338
<i>Федотов А.С., Мясников А.А., Давиденко В.Д., Гольцев А.О., Базулин И.А.</i> КОМПЛЕКС ПРОГРАММ «UNK-VVER-S» ПОДГОТОВКИ ГРУППОВЫХ НЕЙТРОННО-ФИЗИЧЕСКИХ КОНСТАНТ ДЛЯ ПОЛНОМАСШТАБНЫХ РЕАКТОРНЫХ РАСЧЁТОВ .....	343
<i>Французова А.М.</i> ЭКОСТРОИТЕЛЬСТВО: МИРОВЫЕ ТРЕНДЫ И КЕЙС-РЕШЕНИЯ.....	346
<i>Filiprov I.G., Khalid H.E., Plekhanov K.A.</i> STUDY THE INFLUENCE OF SORBENT (CAO) ON HYDROGEN PRODUCTION FROM BIOMASS GASIFICATION IN DIFFERENT CONDITIONS: USING ASPEN PLUS....	351
<i>Харабурова М.Д., Рыжкова Е.Н.</i> ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ СЕТЕЙ С КОМПЕНСАЦИЕЙ ЕМКОСТНОГО ТОКА.....	356
<i>Ходас Н.А., Ходас А.К.</i> ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ В ОБЛАСТИ ТЕХНОЛОГИЙ ХРАНЕНИЯ ЭНЕРГИИ.....	360
<i>Шаповалова Е.А.</i> ДИСТАНЦИОННЫЙ МОНИТОРИНГ ВЛАЖНОСТИ ПОЧВЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ АДДИТИВНЫХ И РАДИО ТЕХНОЛОГИЙ.....	365
<i>Шапорова Я.А.</i> ДИНАМИКА РАЗВИТИЯ АГАРИКОИДНЫХ МИКОРИЗООБРАЗУЮЩИХ ГРИБОВ В СОСНОВЫХ ЛЕСАХ НА ПРИМЕРЕ НЕГОРЕЛЬСКОГО УЧЕБНО-ОПЫТНОГО ЛЕСХОЗА.....	369
<i>Яковлева Е.А.</i> МЕХАНИЗМ РЕАЛИЗАЦИИ СТРАТЕГИИ ДВОЙНОГО УГЛЕРОДА.....	374
<i>Семикашев В.В.</i> ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ПОЛИТИКА В ОТРАСЛЯХ ТЭК РОССИИ В УСЛОВИЯХ САНКЦИЙ.....	379

Научное издание

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ НЕЗАВИСИМОСТЬ И  
КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТЬ СОЮЗНОГО ГОСУДАРСТВА,  
СТРАН СНГ, ЕАЭС И ШОС**

Сборник статей VI Международной научно-технической конференции  
«Минские научные чтения-2023»

В 3-х томах

Том 3

Электронный ресурс

В авторской редакции

Компьютерная верстка:

*А.С. Калиниченко, Т.Л. Карпович*

Усл. печ. л. 22,79. Уч.-изд. л. 23,58.

Полиграфическое исполнение:

УО «Белорусский государственный технологический университет».

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя и  
распространителя печатных изданий

№1/227 от 20.03.2014.

Ул. Свердлова, 13а, 220006, г. Минск.