

ГОСУДАРСТВЕННОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ  
«УНИВЕРСИТЕТ ГРАЖДАНСКОЙ ЗАЩИТЫ  
МИНИСТЕРСТВА ПО ЧРЕЗВЫЧАЙНЫМ СИТУАЦИЯМ  
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ»

**ПРОБЛЕМЫ ЭКОЛОГИИ  
И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ.  
СОЗДАНИЕ НОВЫХ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

*Сборник материалов  
XII Международной заочной научно-практической конференции,  
посвященной Всемирному дню охраны окружающей среды*

*5 июня 2025 года*

Минск  
УГЗ  
2025

УДК 502/504+678  
ББК 20.18  
П78

### **Организационный комитет конференции:**

*Камлюк Андрей Николаевич* – заместитель начальника Университета гражданской защиты, канд. физ.-мат. наук, доцент;

*Каван Степан* – директор канцелярии директора ПСК Управления Южно – Чешского региона, д-р. техн. наук;

*Сивенков Андрей Борисович* – профессор кафедры пожарной безопасности в строительстве Академии ГПС МЧС России, академик НАН ПБ, д-р. техн. наук, профессор;

*Байков Валентин Иванович* – главный научный сотрудник ИТМО им. А.В. Лыкова НАН Беларуси, д-р. техн. наук, доцент;

*Богданова Валентина Владимировна* – заведующая лабораторией огнетушащих веществ НИИ физико-химических проблем БГУ, д-р. хим. наук, профессор;

*Врублевский Александр Васильевич* – профессор кафедры химической, биологической, радиационной и ядерной защиты Университета гражданской защиты, канд. хим. наук, доцент;

*Гончаренко Игорь Андреевич* – профессор кафедры естественных наук Университета гражданской защиты, д-р. физ.-мат. наук, профессор;

*Журов Марк Михайлович* – начальник кафедры химической, биологической, радиационной и ядерной защиты Университета гражданской защиты, канд. техн. наук, доцент;

*Ильюшонок Александр Васильевич* – заведующий кафедрой естественных наук Университета гражданской защиты, канд. физ.-мат. наук, доцент;

*Миканович Дмитрий Станиславович* – начальник факультета предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций Университета гражданской защиты, канд. техн. наук, доцент;

*Рева Ольга Владимировна* – профессор кафедры химической, биологической, радиационной и ядерной защиты Университета гражданской защиты, канд. хим. наук, доцент.

Проблемы экологии и экологической безопасности. Создание новых полимерных  
П78 материалов: сб. материалов XII международной заочной научно-практической  
конференции – Минск: УГЗ, 2025. – 51 с.  
ISBN 978-985-590-266-0.

Тезисы публикуются в авторской редакции.

**УДК 502/504+678  
ББК 20.18**

**ISBN 978-985-590-266-0**

© Государственное учреждение образования  
«Университет гражданской защиты  
Министерства по чрезвычайным ситуациям  
Республики Беларусь», 2025

## СОДЕРЖАНИЕ

### СЕКЦИЯ № 1 «ОБЩАЯ ЭКОЛОГИЯ. ОХРАНА ПРИРОДЫ»

### СЕКЦИЯ № 2 «ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ. ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ ЭКОЛОГИЯ»

### СЕКЦИЯ № 3 «РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ»

|                                                                                                                                                                           |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <i>Володько Д. В.</i> Утилизация спиртовых отходов и отходов белкового происхождения в результате переработки плазмы крови человека                                       | 5  |
| <i>Ерема Д. А.</i> Микробиологический контроль почв при возделывании ягодных культур                                                                                      | 7  |
| <i>Kuznetsov M. V.</i> Increasing the level of safety of civil defense protective structures by treating them with special antiseptic formulations                        | 8  |
| <i>Kuznetsov M. V.</i> The causes of man-made disasters at hydropower facilities, the possibilities of their prevention and overcoming adverse environmental consequences | 10 |
| <i>Леднева А. С.</i> Право на благоприятную окружающую среду и «зеленая» политика Индии                                                                                   | 12 |
| <i>Малаш Н. И., Алексеенко С. А., Одинцова С. В.</i> Промышленная экология и устойчивое развитие                                                                          | 14 |
| <i>Сафонова Н. Л., Кузнецова Н. Н.</i> Анализ качества воздуха в Воронежской области                                                                                      | 16 |
| <i>Скибская И. А.</i> Влияние сточных вод фармацевтических предприятий на окружающую среду                                                                                | 18 |
| <i>Kuznetsov M. V.</i> Improving the environmental aspects of nitric and sulfuric acid production processes through the use of fiberglass woven catalysts                 | 19 |
| <i>Kuznetsov M. V.</i> Development and implementation of a new generation of import-substituting catalytic materials for various industries and environmental processes   | 20 |
| <i>Kuznetsov M. V.</i> Improving the safety level of rbmk-type reactors by using an improved fuel element                                                                 | 22 |

### СЕКЦИЯ № 4 «РАЗРАБОТКА СПОСОБОВ И СРЕДСТВ ОГНЕЗАЩИТЫ МАТЕРИАЛОВ РАЗЛИЧНОЙ ПРИРОДЫ»

### СЕКЦИЯ № 5 «ЗАМЕДЛИТЕЛИ ГОРЕНИЯ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ: СИНТЕЗ И МЕХАНИЗМ ДЕЙСТВИЯ»

|                                                                                                                                                                                                                                 |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <i>Богданова В. В., Кобец О. И., Платонов А. С., Перевозникова А. Б.</i> Оптимизация состава и огнестойких свойств термовспениваемого композита на водно-дисперсионной основе методом математического планирования эксперимента | 24 |
| <i>Богданова В. В., Шукело З. В., Кобец О. И., Рева О. В.</i> Замедлители горения для устойчивой к стиркам огнезащиты полиэфирных текстильных материалов различной плотности                                                    | 26 |
| <i>Криваль Д. В., Рева О. В.</i> Определение физико-механических свойств огнезащищенного композиционного материала на основе ПА-6 и нетоксичных неорганических антипиренов                                                      | 28 |
| <i>Рева О. В., Назарович А. Н.</i> Обеспечение эффективности огнезащиты полиэфирных материалов неорганическими замедлителями горения                                                                                            | 30 |
| <i>Рева О. В., Криваль Д. В., Коваль В. В.</i> Механизм огнезащитного действия комплексных замедлителей горения в композитных металлосодержащих слоях                                                                           | 32 |

## СЕКЦИЯ № 7 «ПЕРВЫЙ ШАГ В НАУКУ»

|                                                                                                                                                                         |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <i>Борзенец Д. В., Загрекова А. А., Кувик И. А.</i> Возможности и перспективы нейромоделирования в области экологии                                                     | 34 |
| <i>Данилин А. Ю., Силивончик Н. В.</i> Использование регрессии lasso для минимизации тестируемых параметров крови в определении онкологических заболеваний              | 36 |
| <i>Медведев Д. Н.</i> Практическая значимость определенного интеграла в задачах военной экологии                                                                        | 37 |
| <i>Некрашевич Д. Д.</i> Экологическая безопасность Республики Беларусь: национальные интересы и необходимость правового обеспечения                                     | 39 |
| <i>Силивончик Н. В., Данилин А. Ю.</i> Оптимизация выделения митохондриальной днк из тромбоцитов для экологически ориентированных молекулярно-генетических исследований | 41 |
| <i>Скакалин Г. Д.</i> Установка пожаротушения со стволом гетерофазной подачи огнетушащих веществ                                                                        | 43 |
| <i>Скакалин Г. Д.</i> Результаты испытаний установки пожаротушения со стволом гетерофазной подачи огнетушащих веществ                                                   | 44 |
| <i>Слесаренко А. А.</i> Общая экология. Охрана природы                                                                                                                  | 47 |
| <i>Шишкин М. С., Хахин А. И.</i> О влиянии материалов на разрешимость задачи о деформации защитной сетки                                                                | 49 |

---

Секция 1  
**ОБЩАЯ ЭКОЛОГИЯ. ОХРАНА ПРИРОДЫ**

Секция 2  
**ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ.  
ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ ЭКОЛОГИЯ**

Секция 3  
**РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ**

---

**УТИЛИЗАЦИЯ СПИРТОВЫХ ОТХОДОВ И ОТХОДОВ БЕЛКОВОГО  
ПРОИСХОЖДЕНИЯ В РЕЗУЛЬТАТЕ ПЕРЕРАБОТКИ ПЛАЗМЫ КРОВИ  
ЧЕЛОВЕКА**

*Володько Д.В.*

Жук О.Н., доцент кафедры биотехнологии, к.б.н., доцент

УО «Полесский государственный университет»

В современной практике переработки плазмы крови в Республике Беларусь широко применяется метод спиртового осаждения для выделения белковых фракций, при этом образуется сложный продукт отходов, содержащий остаточный этиловый спирт, буферные растворы и небелковые компоненты. Концентрация остаточного спирта при использовании такого метода составляет 50–55 %. Традиционная технология утилизации предполагает разведение этих жидкостей водой и сброс их в канализационную систему, что является простым и экономически выгодным решением за счёт отсутствия сложного дополнительного оборудования. Однако такой подход сопряжён с экологическими рисками: остаточный спирт при длительной экспозиции даже в концентрациях от 1 до 3 % может ингибировать рост патогенных микроорганизмов, таких как *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli* и *Pseudomonas aeruginosa*, снижая их размножение на 35–50 % и, таким образом, влияя на микробиологический баланс водоёмов [1].

В зарубежных странах, например, в Германии и Японии, для минимизации экологического воздействия активно применяют технологии рекуперации спирта. В ряде производств удаётся выделить до 90 % остаточного этилового спирта из отходных растворов, что позволяет снизить затраты на закупку свежего этанола на 65–70 % при переработке объемов в диапазоне 1000–1500 литров отходной жидкости [2]. Кроме того, использование рекуперированного спирта снижает нагрузку на системы очистки сточных вод, что экономически оправдывается дополнительными сокращениями операционных расходов и уменьшением расходов на компенсацию экологического ущерба [3].

Помимо спиртовых отходов при использовании метода спиртового осаждения, так же образуются твердые органические отходы. Эти отходы представляют собой нецелевые фракции, которые зачастую содержат остаточные белки, а также дополнительные компоненты – жиры и иные органические соединения. Преимущественно, такие отходы направляются на термическую обработку, то есть сжигание в инсенерационных установках [4]. К преимуществам данного метода можно отнести высокую степень обеззараживания отходов, поскольку при сжигании уничтожаются как микроорганизмы, так и биологически активные вещества; современные установки, оснащённые системами фильтрации и контроля выбросов, способны добиться эффективности до 95 % в плане полного разрушения опасных компонентов [5].

С другой стороны, метод инсенерации имеет и ряд минусов. Прямое сжигание не позволяет восстанавливать потенциально ценное сырьё, особенно учитывая наличие жиров и иных липидных фракций, которые могли бы быть использованы для производства

биоэнергии или вторичных продуктов. Более того, при недостаточно строгом контроле процесса возможны выбросы токсичных веществ (таких как диоксины и фурановые соединения) и загрязнение атмосферного воздуха [6].

Так, в Китае для рационального использования отходов нецелевых белковых фракций, содержащих также жиры и другие липидные компоненты, внедряется метод анаэробного сбраживания. Этот процесс представляет собой биохимическое разложение органических веществ в бескислородной среде под действием специализированных микроорганизмов. В ходе сбраживания образуются два ключевых продукта: биогаз, состав которого варьируется от 50 до 75 % метана с примесями углекислого газа, и эффлюент. Полученный биогаз используется для производства электроэнергии и тепла, что позволяет предприятиям сокращать затраты на энергоснабжение, а избыточная энергия даже продаётся в сеть, генерируя дополнительный доход. Одновременно, использование эффлюента в аграрном секторе снижает потребность в химических удобрениях, что приносит экономию средств аграриев. При этом, технологии анаэробного сбраживания обеспечивают переработку сырья значительно быстрее (от 12 до 30 дней) по сравнению с традиционными методами компостирования, что дополнительно повышает их эффективность [7].

Следует отметить, что утилизация отходов, возникающих в результате спиртового осаждения плазмы крови, представляет собой комплексную задачу, требующую оптимального баланса между технологической простотой и минимизацией экологических рисков. Применение современных технологий рекуперации спирта, успешно реализуемых в Германии и Японии, а также альтернативных методов переработки органических отходов белкового происхождения, таких как анаэробное сбраживание, демонстрирует значительный потенциал для снижения затрат и эффективного использования отходов в других промышленных отраслях. Полученный зарубежный опыт может служить ориентиром для совершенствования отечественных утилизационных стратегий, способствуя внедрению инновационных решений, направленных на снижение негативного воздействия на окружающую среду и стимулирование экономической эффективности отрасли.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Environmental Impact of Ethanol Discharge in Wastewater // Journal of Hazardous Materials. – 2021. – Vol. 405. – P. 124–135.
2. Schmidt R., Ethanol Recovery in Biopharmaceutical Waste: German Case Study // Biotechnology Reports. – 2020. – Vol. 25. – P. 110–113.
3. Tanaka Y. Cost-Effective Ethanol Recycling in Japan's Plasma Fractionation Industry // Waste Management & Research. – 2019. – Vol. 37(8). — P. 789–800.
4. China's Policies on Agricultural Waste-to-Energy // Nature Sustainability. – 2022. – Vol. 5. – P. 456–465.
5. WHO. Safe Management of Wastes from Healthcare Activities. – 2nd ed. – Geneva, 2018. – Vol. 7 – P. 13–20.
6. Dioxin Emissions from Medical Waste Incineration // Environmental Science & Technology. – 2020. – Vol. 54(3). – P. 1503–1512.
7. Zhang L. Biogas Production from Protein-Rich Waste: Chinese Innovations // Renewable Energy. – 2021. – Vol. 163. – P. 207–218.

# МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ ПОЧВ ПРИ ВОЗДЕЛЫВАНИИ ЯГОДНЫХ КУЛЬТУР

Ерема Д.А.

Тыновец С.В., старший преподаватель

Полесский государственный университет, г. Пинск, Республика Беларусь

Деятельность почвенных микроорганизмов играет большую роль в плодородия почвы и здоровье растений. Микроорганизмы участвуют в разложении органического вещества, формировании структуры почвы и биологическом контроле фитопатогенов [1,2]. Оценка общего микробного числа (ОМЧ) служит важным индикатором биологической активности почвы и её экологического состояния.

**Цель исследования:** определить показатели ОМЧ почв при возделывании ягодных культур.

**Материалы и методы:** для исследования ОМЧ были взяты образцы почв отобранные весной 2025 года с участков возделывания земляники садовой (*Fragaria × ananassa*) (образцы 1–4) и голубики высокорослой (*Vaccinium corymbosum* L.) (образцы 5–7) в Житковичском, Столинском и Пинском районах (метод «конверта» на глубине 0–5 см) [3,4]. Определение ОМЧ проводили классическим методом посева почвенных суспензий на питательную среду с последующим термостатированием при 28–30°C в течение 72 часов [8].

**Результаты и обсуждение:** показатели ОМЧ исследованных почв варьировало от  $2,7 \times 10^4$  до  $1,01 \times 10^5$  КОЕ/г почвы (таблица 1).

Таблица 1

Результаты определения ОМЧ

| Место взятия проб  | № пробы | Количество колоний в 1 г почвы, КОЕ/г почвы |
|--------------------|---------|---------------------------------------------|
| Житковичский район | 1       | $4,2 \cdot 10^4$                            |
|                    | 2       | $3,8 \cdot 10^4$                            |
|                    | 3       | $4 \cdot 10^4$                              |
|                    | 4       | $4,4 \cdot 10^4$                            |
| Столинский район   | 5       | $2,7 \cdot 10^4$                            |
|                    | 6       | $2,9 \cdot 10^4$                            |
| Пинский район      | 7       | $1,01 \cdot 10^5$                           |

В большинстве образцов (1–6) значения ОМЧ оказались ниже нормы (норма для почв:  $10^5$ – $10^7$  КОЕ/г [1]), что может быть связано с низким содержанием органического вещества (источника углерода для микроорганизмов) [5], неблагоприятными физико-химическими свойствами почвы, такими как повышенная кислотность или засоление [7], воздействием пестицидов на почвенную микрофлору [5].

Только в образце 7 показатель ОМЧ соответствовал нормативным значениям, что указывает на более благоприятное биологическое состояние почвы.

Низкая микробиологическая активность почвы отражается на экологическом состоянии агроценоза. Например, ухудшается минерализация органического вещества и доступность элементов питания, снижается устойчивость почвы к эрозии из-за слабой структуры [2], возрастает необходимость внесения удобрений и пестицидов, что дополнительно ухудшает экологическую ситуацию.

Поддержание и восстановление почвенной микрофлоры является важным элементом экологически устойчивого земледелия. Для восстановления биологической активности почвы и снижению химической нагрузки используют органических удобрений и микробиологические препараты [6].

## ЛИТЕРАТУРА

1. Гавриленко Е.Г., Ананьева Н.Д., Макаров О.А. Оценка качества почв разных экосистем. – Почвоведение. – 2013. – №12. – С. 1505–1515.
2. Звягинцев Д.Г. (ред.). Методы почвенной микробиологии и биохимии. – М.: МГУ, 1991. – 309 с.
3. ГОСТ 17.4.3.01-83 Охрана природы. Почвы. Общие требования к отбору проб. – М.: Изд-во стандартов, 1984.
4. ГОСТ 17.4.4.02-84 Охрана природы. Почвы. Методы отбора и подготовки проб для анализа. – М.: Изд-во стандартов, 1986.
5. Изтлеулов Г.М. и др. Исследование влияния пестицидов на микроорганизмы почвы. – Новости науки Казахстана. – 2020. – №4. – С. 186–194.
6. СанПиН 2.1.7.1287-03 Санитарно-эпидемиологические требования к качеству почвы. – М.: Минздрав РФ.
7. Козлов А.В. Влияние диатомита на численность микробного сообщества почвы. – Агрохимический вестник. – 2012. – №5. – С. 5.
8. Беляев Е.Н. Методы микробиологического контроля почвы. – М., 2004. – 12 с.

## INCREASING THE LEVEL OF SAFETY OF CIVIL DEFENSE PROTECTIVE STRUCTURES BY TREATING THEM WITH SPECIAL ANTISEPTIC FORMULATIONS

*Kuznetsov M.V.*

All-Russian Research Institute on Problems of Civil Defense and Emergencies of Emergency Control Ministry of Russia (EMERCOM), Moscow, Russia

The development of national strategic priorities includes ensuring the safety of people and the natural environment, as well as the safety of the techno sphere. Many facilities of the Ministry of Defense (MD), the EMERCOM of Russia and civil defense facilities of the Russian Federation that include wooden products (bunks, sleepers, rigging, etc.) are operated in difficult climatic conditions. For example, in a wide range of positive and negative temperatures, at high humidity, under high dynamic and static loads, as well as in contact with various biologically active media. This places strict requirements on the stability of facilities and structures, not only in terms of temperature fluctuations, humidity or dynamic loads, but also in terms of bio-effects. In this regard, research aimed at improving the environmental and biological safety of such facilities is currently becoming particularly important.

Because of our research, we have obtained a new preservative compound to protect materials from bio-damage. The composition is based on oil fractions of petroleum products with various additives, including those containing components of spent rocket fuels. We have developed methodological and technological approaches aimed at obtaining a modified preservative composition to protect wood and non-wood grades from biodegradation and bio corrosion. The resulting new commercial product (which can be successfully used instead of coal oil of the second hazard class) meets all the requirements of SWST 20022.5-93 and SWST 2270-78. The tests were carried out on a culture of the fungus *Coniophora puteana* (strain "Senezh") according to SWST 16712-95. The essence of the toxicity test method is to keep wood samples containing specified amounts of protective agents for two months on pure cultures of the wood-destroying fungus *Coniophora puteana*, taking into account weight loss. The tests were carried out on pine wood sleepers. The assessment of the fungicidal toxicity of petroleum products has shown their good protective properties in comparison with non-impregnated wood and coal oil. The average weight loss of the sleeper decreased by an average of 2 times compared to the control sample of non-



impregnated wood. Relative toxicity decreased from 1.0 to 0.80–0.89 rel. units in comparison to the sample soaked in coal oil.

The authors also conducted rapid tests of the fungicidal toxicity of modified samples of petroleum products in relation to marsupials and imperfect fungi and other soil microorganisms. The essence of the method is that filter paper samples impregnated with antiseptics measuring 20 x 10 mm in 10 pieces are placed in a Petri dish filled with ground. The ground was taken from the upper structural humus layer of a mixed forest on loamy soil at a horizon of 0-3.0 or 0-5.0 cm in May – August. Freshly harvested soil should have a pH of 4.5–6.0 according to SWST 16712-95. The consumption of modifying additives was calculated in strict accordance with state standards and technological regulations of plants specializing in impregnation of sleepers, and the experiment was carried out for two weeks. The analysis of the results showed a high preservative ability of petroleum impregnating materials to a complex of soil cellulose disruptors, mainly from the class of marsupial and imperfect fungi involved in the deconservation and primary destruction of wood. The weight loss of samples impregnated with oil products together with naphthenates and copper rubbers reached a value comparable to samples impregnated with coal oil of ~26-27%, which is currently used for impregnating wood in trellis mills. For a more reliable assessment of the effectiveness of petroleum antiseptics, we conducted tests in accordance with SWST 30028.4-93. The essence of the method consists in fifteen-day exposure of wood samples soaked in antiseptic solutions in wet chambers operating on the principle of "enclosed space - moisture reserve", in conditions that are maximally favorable for the activity of biological agents. The results confirmed the correctness of the conclusions about the effectiveness of wood protection with petroleum antiseptics. The degree of fungal damage of wood samples impregnated with petroleum products was no more than 10% (which, in accordance with state standards, was characterized as highly effective protection). At the same time, the weight loss of the control, non-saturated sample was more than 50%.

Fungicidal toxicity tests were also carried out, in accordance with the requirements of SWST 16712-95, on a culture of the fungus *Coniophora puteana* (strain "Senezh"). The essence of the toxicity test method is to keep wood samples for two months on pure cultures of the wood-destroying fungus *Coniophora puteana* containing specified amounts of protective agents, taking into account the loss of wood mass. The tests were also carried out on pine wood. For each variant of the experiment, three samples were tested without exposure to mushroom culture. The samples were kept on the mushroom culture for two months at a temperature of  $(24 \pm 2)^\circ\text{C}$  and a relative humidity of 70-75%. After two months, the samples were removed, cleaned from mycelium and kept at a temperature of  $22 \pm 2^\circ\text{C}$  and a relative humidity of  $65 \pm 5\%$  until they reached equilibrium humidity. After the samples reached a constant mass, they were weighed with an error of no more than  $5 \times 10^{-3}$  g. The weight loss of the experimental samples ( $D$ , %), the weight loss of the control non-impregnated sample ( $D_c$ , %), as well as the average weight loss of impregnated wood  $D_{95}$ , corresponding to 5% of the average weight loss of non-impregnated wood ( $D_{95} = D_c \times 0.05$ ), were also determined. An analysis of the results showed that on a control untreated wood sample, after they were aged for two months on pure cultures of the wood-destroying fungus *Coniophora puteana* at a temperature of  $24 \pm 2^\circ\text{C}$  and a relative humidity of 70-75%, a distinct radial growth of fungal hyphae was observed, and the weight loss was 77%. When preserving wood with coal oil, as well as modified petroleum products, the growth of the fungus was not observed. It necessary to note, that with almost the same weight loss of wood impregnated with coal oil and modified petroleum products, the relative toxicity of samples impregnated with modified petroleum products decreased by 10-20%.

Thus, the fungicidal toxicity of samples of antiseptic formulations for the treatment of wood and other surfaces by the Gorshin method ("Ground - Paper blocks") was evaluated in the work. Modified samples of antiseptics based on petroleum products were tested against marsupials and imperfect fungi, as well as other microorganisms. The preservative ability of the proposed impregnating compositions is not inferior to this indicator (26-27%) to coal oil-based compositions in terms of weight loss. At the same time, the chemical hazard class (IV-th) of the developed formulations is significantly more environmentally friendly than (I-IIInd) for coal oil-based formulations. The degree of fungal damage to wood during treatment with petroleum antiseptics

was no more than 10%, which refers to the level of highly effective protection in accordance with state standards. Fungicidal toxicity tests on the culture of the *Caniophora puteana* fungus showed that, under the same conditions, this indicator improved by 20% compared to the samples treated with coal oil-based formulations. Field tests against bio-damage and woodworms over the course of 2 years showed that the weight loss of oil-soaked samples decreased by 4 times compared to the control samples of whole pine wood. The formulations we have developed will allow us to expand the raw materials of oil refining companies through more rational methods of oil refining as well as increase in the range of refined petroleum products, while significantly improving the environmental performance of production facilities.

## **THE CAUSES OF MAN-MADE DISASTERS AT HYDROPOWER FACILITIES, THE POSSIBILITIES OF THEIR PREVENTION AND OVERCOMING ADVERSE ENVIRONMENTAL CONSEQUENCES**

*Kuznetsov M.V.*

All-Russian Research Institute on Problems of Civil Defense and Emergencies of Emergency  
Control Ministry of Russia (EMERCOM), Moscow, Russia

Since the accident at the Sayano-Shushenskaya HPP, many different mutually exclusive assumptions regarding the causes of its occurrence have been made public. One of the possible versions of the origin and course of this disaster is a version based on the features of the phenomenon of "steam explosion". Regarding the causes of this disaster, opinions were expressed about an alleged hydraulic shock or electric shock, about electrodynamic shocks of various origins, about an explosion of an oil transformer, about the operation of the station with overloads of 150 percent or more, resulting in a "spinning top effect", etc. Alternative versions of this man-made disaster were also considered, based on the involvement of the mechanism of the "steam explosion" phenomenon to describe the conditions of occurrence and dynamics of these large-scale emergencies common to various hydropower facilities.

Along with significant damage and other extremely unfavorable technological consequences, the disaster at the Sayano-Shushenskaya HPP also led to enormous damage to the ecology and biosphere of the surrounding territories. One of the most dangerous consequences of oil product leakage is water pollution - spreading over the surface, oil covers vast areas. It is known that a unit of oil volume is capable of spoiling a volume of water that exceeds it by a thousand times, as well as soil. More than 40 tons of engine oil spilled into the waters of Yenisei River. An oil slick formed as a result of a transformer oil leak spread from the hydroelectric dam downstream of the Yenisei River for 5 km, leading to pollution of the water area and the coastal zone, to the death of fish, birds and animals. Another environmental hazard may be toxins from landfills, cemeteries, and animal burial grounds that have been washed away by flooding. The flow of water can not only cause soil erosion, but also lead to the spread of diseases. For example, animal corpses infected with anthrax can be buried in flooded cattle burial grounds in Khakassia (and there are officially 80 of them in this region).

It should be noted that the concept of "steam explosion" arose in science and engineering practice more than a century and a half ago with the advent of the century of steam engines: the superheated aqueous medium in a boiler operating at high pressure, in the event of an emergency pressure relief, instantly boiled up, which led to the formation of a shock wave destroying the apparatus, accompanied by tragic consequences. In other words, these events in power plants were among the first man-made disasters in the history of Mankind. A physically similar scheme is considered to describe explosive catastrophes in modern energy systems within the framework of the combined-cycle detonation concept.

To date, various experts and specialists have proposed numerous versions of the origin and development of the catastrophic situation that took place at the Sayano-Shushenskaya HPP on August 17, 2009. Official reports of state and departmental commissions have been published. However, taking into account the proposed version of the "steam explosion", none of the commissions or groups of specialists considered this problem. Our version of the occurrence of catastrophic phenomena that led to the destruction at the Sayano-Shushenskaya HPP is based on the mechanism of explosive volumetric boiling of water ("steam explosion"!) in vacuum zones of high-speed turbulence or in an electric discharge channel. The expert opinions also considered the scenario of a high-power electric discharge. Processes of this kind are associated with the occurrence of a destructive shock wave by the mechanism of a "steam explosion", accompanied by cavitation phenomena in liquids.

The presence of cavitation damage to turbine wheel blades was noted by almost all the commissions that checked the technical condition of the Sayano-Shushenskaya HPP in different years. Our proposed explanation is based on an understanding of explosive processes that accompany the phase decay of liquid media and are not associated with the action of, for example, any regular explosives. The considered version is based on the results of a study of a phenomenon called "detonation boiling". Dealing with the problems of emergency situations in steam-producing power plants, we came to the conclusion that cavitation is a detonation phenomenon that is associated with explosive boiling of a liquid. With regard to the Sayano-Shushenskaya event, we note that a shock wave occurs at the stage of catastrophically rapid boiling of a liquid during the formation of a vacuum cavity or in the stratum of an electric discharge, but not during the collapse of a steam bubble, as it was previously thought. According to the Act of investigation of the causes of accident at SS HPP: "Based on the materials of the protocols of the survey of operational personnel and trends for GA-2, it was established that on 08/17/2009 at 8:13 a.m. local time, the staff in the engine room heard a loud bang in the area of hydraulic unit No. 2 and saw the release of a column of water." The nature of the appearance of this "sound" has not been fully clarified, even as a result of the work of the state commission. All conclusions on this issue are still at the level of assumptions. In our opinion, the "sound" was precisely a steam explosion caused by the above reasons. In the described process, ordinary water acts as an explosive. To illustrate the physical mechanism of this "steam explosion" process, we present two illustrative models of its implementation: The first relates to the problem of exposure to a liquid medium by a short laser pulse. A vessel with water was used as a target, into which a laser pulse with a wavelength absorbed by the aqueous medium was "shot" through a quartz window. The result of such a "shot" was a volumetric explosion that destroyed the vessel and caused its fragments to scatter throughout the room. In other words, in the area of absorption of light energy, water was overheated to very temperatures much higher than its boiling point, and then a volumetric explosive boiling of the superheated mass occurred. Thus, it can be assumed that the laser beam modeled the electric charge stratum in the aquatic environment of the Sayano-Shushenskaya HPP turbine plant. The second example relates to the problem of so-called "exploding delays." During the experiments, a very short pulse of high-density electric current ( $10^4$ - $10^6$  A/mm<sup>2</sup>) was passed through a thin metal wire (0.1-1.0 mm in diameter) placed in the reactor. Almost instantly ( $10^{-5}$ - $10^{-7}$  s), it overheated above the boiling point of the material and then, exploding, sublimated volumetrically, scattering micro- and nanoparticles of metal at supersonic speeds throughout the space and walls of the reactor. Such an electric explosion was accompanied by the appearance of a shock wave with a pressure of up to several thousand atmospheres in its front, which was ensured by the ultrafast heating of the wire element at a speed of over  $1 \times 10^7$  K s<sup>-1</sup> to temperatures exceeding  $10^4$  K.

Thus, apparently, it was the steam explosion that led to the devastating man-made disaster that took place at the Sayano-Shushenskaya HPP. Preventing such phenomena in the future should become one of the priorities in the design and operation of energy complex facilities. To this end, it is necessary to develop theoretical concepts regarding the nature of steam explosions, create models of processes occurring in real conditions, as well as their testing during the operation of hydropower facilities. This will avoid large-scale destruction, disruptions of technological cycles, as well as huge environmental and hydrological damage.

## ПРАВО НА БЛАГОПРИЯТНУЮ ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ И «ЗЕЛЕНАЯ» ПОЛИТИКА ИНДИИ

*Леднёва А.С.*

Учреждение образования «Военная академия Республики Беларусь»

Право на благоприятную окружающую среду является одним из неотъемлемых прав человека и на международном уровне закреплено в Декларации Стокгольмской конференции ООН по окружающей человека среде 1972 г., Конференции ООН по окружающей среде и устойчивому развитию (Рио-де-Жанейро, 1992 г.). В Индии это право закреплено как в Основном законе, так и в законодательных актах, которые дополняют и конкретизируют положения главного закона. Специфика экологического права Индии проявляется отсутствием формулировки «благоприятная окружающая среда», упоминается право на полезную (целостную) среду (the right to a wholesome environment). Впервые эта дефиниция была закреплена в решении Высшего суда 1983 г. (the Supreme Court). Еще во второй половине XX в. сформировалось понимание того, что в вопросе охраны окружающей среды следует руководствоваться принципом «мыслить глобально, действовать локально». В ходе предпринятых попыток решить экологическую проблему стало очевидно, что не только на национальном, но даже и на региональном уровне государства сами не могут решить проблему экологической безопасности. Поэтому в рамках ООН в 1972 г. была создана Программа ООН по окружающей среде – ЮНЕП

Конституция Индии, принятая Учредительным собранием и вступившая в силу 26 января 1950 года, в статье 21 в числе других прав опосредованно констатирует право каждого на благоприятную окружающую среду: «Ни одно лицо не может быть лишено жизни или свободы иначе, чем в порядке, установленном законом» [1]. Такая формулировка характерна для англо-саксонской правовой системы, ведь Индия, длительное время находившаяся под британским колониальным владычеством, использует много заимствований в национальном праве и законодательстве. Но, несмотря на то, что конституционное право Индии буквально не закрепляет право каждого на целостную окружающую среду, суды правомочны регламентировать правоотношения в данной сфере, дополняя положения Основного закона. Решения Высшего Суда Индии, имеют отдельный особый статут, являющийся аналогом Конституционного суда в других странах.

В Индии ведущим законодательным актом в области охраны окружающей среды выступает Акт об охране окружающей среды 1986 г. (The Environmental Act) [2], принятый для обеспечения охраны и улучшения окружающей среды и предотвращения опасности для человека, а также для других живых существ, растений и имущества. В индийском законодательстве термин «окружающая среда» включает в себя воду, воздух, а также отношения, возникающие между людьми по поводу воды, воздуха и земли, иными существами, растениями, микроорганизмами и имуществом. 26 статей The Environmental Act, содержат лишь рамочные (программные) нормы, что не является недостатком правового регулирования в связи с тем, что в Индии именно судами осуществляется основная законотворческая функция. В этом проявляется тесная взаимосвязь права и законодательства Индии и англо-саксонской правовой семьи.

В Индии основным органом управления в области охраны окружающей среды является Министерство экологии и леса, которое является учреждением в административной структуре центрального Правительства, созданное для планирования, продвижения, координации и контроля за реализацией экологических и лесных стратегий и программ Индии [3]. Основными задачами Министерства являются обеспечение соблюдения прав человека на полезную (целостную) окружающую среду, а также осуществление политики и программ, касающихся охраны природных ресурсов страны. Министерство также выступает в качестве центрального органа в сотрудничестве с Организацией Объединенных Наций по окружающей среде, Южно-

Азиатским объединением по экологическим программам и Международным центром по комплексному освоению горных районов. На Министерство также возложено разрешение вопросов, касающихся регулирования многосторонних отношений с такими организациями как Комиссия по устойчивому развитию, Глобальный экологический фонд, Экономический и Социальный Совет Азии и Тихого океана, Южно-азиатская ассоциация регионального Сотрудничества по вопросам, касающимся окружающей среды. Деятельность данных организаций направлена на развитие сотрудничества между государствами, в том числе в экологии по защите права на полезную (целостную) окружающую среду.

Индия является быстрорастущей экономикой в мире, об этом в феврале 2024 г. сообщил премьер-министр страны Нарендра Моди. По прогнозам МВФ, эта тенденция сохранится. В течение следующих пяти лет в Индии ожидается рост экономики на уровне около 6,3% в год, хотя уже в 2023 г. показатели достигли 7,5%. Таким образом, предполагается, что в рейтинге ведущих экономик мира Индия может оказаться в топ-3. Сейчас в верхней части списка – США, Китай, Россия, Германия и Япония.

Индия, как и другие государства, решает проблему разумного сочетания права человека на достойные, но безопасные условия жизни и развития производительных сил, что, однозначно, предполагает негативное вмешательство в природу. Как невысокий уровень жизни, так и состояние окружающей среды становится важным фактором социальной напряженности во многих индийских штатах. Значительная часть индийцев не имеет доступа к дешевой электроэнергии. Демографы прогнозируют, что к 2050 г. население Индии увеличится на 273 млн человек, достигнув 1,65 млрд, удвоится и численность жителей городов. Сейчас практически все штаты Индии испытывают нехватку в электроэнергии, причем изменение доли дефицита к общему потреблению происходит неравномерно. Решение этой проблемы приобретает ключевое значение для устранения территориальных диспропорций. Кроме традиционного использования углеводородов и атомной энергии Индия, как подписавшая ряд международных соглашений по внедрению «зеленой» энергетики, весьма заинтересована в развитии возобновляемых источников энергии (ВИЭ).

После прихода к власти в 2014 г. Нарендра Моди, который до избрания премьер-министром, был главным министром штата Гуджарата и занимался зеленой энергетикой, политика государства по выработке энергии из возобновляемых источников становится приоритетной. Были пересмотрены целевые показатели в области солнечной энергетики, и в 2021 г. Моди заявил, что за 7 лет производство из чистых источников в стране увеличилось на 250% [4]. Индия занимает 4-е место в мире после КНР, США и Германии по установленным мощностям ветряных электростанций, среднегодовой темп роста сектора – 15%.

В Национальном плане действий по изменению климата указываются только целевые показатели по ВИЭ, при этом не определяются цели по сокращению выработки из традиционных. Перед правительством стоит задача достичь показателя 450 ГВт производства из ВИЭ. Реализуется Национальная солнечная миссия, задача которой – достичь выработки 100 ГВт солнечной энергии. Упор делается на создании децентрализованной системы распределения и достижении паритета с угольными электростанциями к 2030 г. Планируется построить 25 солнечных парков. Именно такие инициативы обеспечивают общий рост, поскольку использование солнечных батарей на уровне домохозяйств развито слабо.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Официальный текст Конституции Индии 1950 <http://www.constitution.org/cons/india/const.html> (accessed 24.03.2025)
2. Официальный текст The Environmental Act 1986, <http://envfor.nic.in/legis/env/envl.html> (accessed 05.03.2025)
3. Материалы официального сайта Ministry Environmental and Forests Government of India <http://envfor.nic.in/about-ministry/about-ministry> (accessed 05.03.2025)
4. См.: [https://www.business-standard.com/article/economy-policy/india-s-capacity-for-renewable-energy-rose-by-over-250-in-6-7-years-pm-121060500419\\_1.html](https://www.business-standard.com/article/economy-policy/india-s-capacity-for-renewable-energy-rose-by-over-250-in-6-7-years-pm-121060500419_1.html) (accessed 24.03.2025)

## ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭКОЛОГИЯ И УСТОЙЧИВОЕ РАЗВИТИЕ

*Малаш Н.И., Алексеенко С. А., Одинцова С. В.*

Академия управления при Президенте Республики Беларусь

В начале 90-х годов в англо-американском языковом пространстве появилось понятие «промышленная экология», за которым скрываются два основных течения, развивающих концепцию устойчивых способов производства [1]. Промышленная экология исследует, с одной стороны, взаимодействие промышленности и окружающей среды, а с другой, влияние условий природной среды на функционирование предприятий и их комплексов.

Главной задачей промышленной экологии является содействие достижению целей устойчивого развития (в первую очередь, ответственному потреблению и производству, и борьбе с изменением климата) путем оптимизации материальных и энергетических потоков в промышленности, минимизации отходов и выбросов, а также максимально эффективному использованию ресурсов.

Для реализации концепции устойчивого развития предлагается ряд различных стратегий (экономности, эффективности и состоятельности), в основе которых лежат конкретные инновации в технологиях, поведении и общественных институтах. Стратегия экономности, бережливости касается поведения потребителей и выражается в образе жизни. В соответствии с принципом «чем меньше, тем лучше» абсолютное потребление товаров и услуг должно постепенно снижаться из-за того, что нынешнее их потребление не только порождает экологические проблемы, но и угрожает национальной безопасности. Стратегия эффективности подразумевает оптимальное использование ассортимента и объема природных ресурсов для удовлетворения общественных потребностей. Стратегия состоятельности, реализуемости, учитывает необходимую адаптацию процессов производства и потребления к природным процессам [1].

Промышленная экология разрабатывает тактические действия по осуществлению данных стратегий, к которым относятся организация деятельности предприятий на принципах циркулярной экономики; создание отраслей производства биомассы; повышение эффективности использования лесных ресурсов; развитие альтернативной энергетики и т. д.

Проблема отходов занимает одно из главных в современном мире, отражая не только экологические, но и социальные, и экономические аспекты. Заметна тенденция, при которой количество отходов увеличивается быстрее, чем численность населения и объемы производства. Циркулярная экономика явилась результатом поиска эффективных решений по управлению отходами и их переработке и представляет собой деятельность по производству, распределению и потреблению благ, основанную на принципах сбережения различных ресурсов и материалов, т.е. «безотходного хозяйства».

Отходы могут стать ценным ресурсом для последующего производства, что выгодно всем участникам процесса: предприятию, сдающему отходы, которое избавляется от проблемы их утилизации; перерабатывающей компании, которая получает бесплатное сырье, сокращая свои затраты, а также уменьшается негативное воздействие на окружающую среду. Использование отходов в качестве ресурсов позволяет существенно сократить потребление первичных природных ресурсов. Это не только сокращает нагрузку на экосистемы, но и снижает затраты на добычу и обработку сырья.

Промышленная экология стремится создать так называемый производственный симбиоз – особую форму сотрудничества между различными предприятиями, отраслями, государствами, когда совместно используются ресурсы с целью уменьшения их потребления и повышения эффективности их эксплуатации. Значительную роль здесь играет информационный обмен (обмен знаниями, опытом, технологиями), способствующий развитию инноваций в сфере эффективного потребления и производства.

Лесные ресурсы играют критически важную роль в поддержании глобального экосистемного баланса, обеспечивая потребности человечества в ресурсах, сохранении биоразнообразия и климатической стабильности. Сегодня управление лесами сталкивается со множеством вызовов, включая незаконную вырубку, изменение климата и конкуренцию за земельные ресурсы. Эффективное управление лесными ресурсами предполагает их разумное использование без значительного сокращения площади лесов; сохранение основных функций леса (защита водных источников, предотвращение эрозии почв, обеспечение баланса кислорода и углекислого газа в атмосфере и т. д.); сохранение биологического разнообразия живых существ и природных экосистем.

Альтернативные источники энергии – это источники, которые не исчерпываются и не наносят вреда окружающей среде. К ним относятся солнечная, ветровая, геотермальная энергия, гидроэнергия и энергия биомассы. Так, за более чем 20 лет использование возобновляемых источников энергии (ВИЭ) в Беларуси выросло почти в два с половиной раза – с 3,3% в 2000 г. до 7,6% в 2023 г. [2].

Сегодня в стране эксплуатируются: 80 фотоэлектрических станций мощностью 159 МВт; 53 гидроэлектростанции мощностью 96 МВт; 101 ветроэнергетическая установка мощностью 109 МВт; 29 биогазовых комплексов мощностью 38 МВт; 10 мини-ТЭЦ на древесном топливе электрической мощностью около 89 МВт [3].

По данным госпрограммы «Энергосбережение» в Беларуси в структуре ВИЭ около 97% занимает использование биомассы, в основном древесного топлива, и более 3% — энергия воды, ветра и солнца [3]. Надо отметить, что средняя себестоимость производства тепловой энергии с использованием природного газа в системе ЖКХ составила 115 бел. руб., а на биотопливе и древесном топливе – 89 бел. руб. (по результатам работы за 2020 год), что позволяет снизить годовое потребление импортируемого природного газа на 1,3 млрд куб. м (188,5 млн USD) [2].

Изменения лишь в промышленной сфере не могут обеспечить улучшение и стабильность окружающей среды. Для достижения устойчивого развития необходимо изменение образа жизни людей. Поэтому еще одной целью промышленной экологии является формирование экологического сознания людей. Промышленная экология помогает людям осознать взаимосвязи между производством, потреблением и их воздействием на окружающую среду. Успешные проекты промышленного симбиоза и внедрение «зеленых» технологий доказывают, что экологически ответственное поведение является возможным и выгодным. Идеи устойчивого развития, продвигаемые промышленной экологией, способствуют распространению ценностей уважительного отношения к природе.

Таким образом, промышленная экология предлагает системный подход к достижению устойчивого развития через интеграцию промышленных процессов в природные экосистемы, используя стратегии циркулярной экономики, промышленного симбиоза и перехода на альтернативную энергетику в условиях трансформации общественного сознания.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Дорохина, Е. Ю. О возможных стратегиях устойчивого развития и промышленной экологии / Е. Ю. Дорохина, К. Ю. Огольцов // Путеводитель предпринимателя. – 2013. – № 17. – С. 100-108.
2. Белорусская энергетика: состояние и тренды [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://neg.by/novosti/otkryti/belorusskaya-energetika-sostoyanie-i-trendy/>. - Дата доступа: 17.04.2025
3. О Государственной программе «Энергосбережение» на 2021-2025 годы [Электронный ресурс]: постановление Совета Министров Респ. Беларусь от 24 февр. 2021 г., № 103 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – Режим доступа: <https://pravo.by/document/?guid=3871&p0=C22100103> . – Дата доступа: 21. 04.2025.

## АНАЛИЗ КАЧЕСТВА ВОЗДУХА В ВОРОНЕЖСКОЙ ОБЛАСТИ

Сафонова Н.Л., Кузнецова Н.Н.

ВУНЦ ВВС «ВВА им. проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина»

Атмосфера — самая динамичная из всех природных сред. Поэтому вредные вещества в ней быстро разносятся на большие расстояния. Из-за этого те вещества, которые могут долго существовать в атмосфере без изменений, встречаются повсюду на Земле. Их называют глобальными загрязнителями.

Контроль качества воздуха — это система, которая позволяет отслеживать состояние атмосферы, уровень её загрязнения и природные явления, происходящие в ней. Также она включает в себя оценку и прогнозирование состояния воздуха и его загрязнения. Этот процесс регулируется Федеральным законом № 96-ФЗ от 4 мая 1999 года «Об охране атмосферного воздуха».

Для сбора данных используются современные технологии, такие как дистанционное зондирование. Это позволяет получать информацию о поверхности Земли, атмосфере, почвенном и растительном покрове и других природных объектах с помощью аэрокосмической фотографии. Полученные изображения обрабатываются, и на них выделяются природные и хозяйственные объекты, определяются площади эродированных почв, овраги, загрязнённые земли и водные объекты, участки загрязнения атмосферы и т. д.

Кроме того, информация о состоянии окружающей среды собирается с помощью наземных автоматизированных станций и традиционными методами, такими как отбор и анализ проб почвы, грунта, воды, воздуха, растений и т. д.

Одним из ключевых аспектов, определяющих состояние санитарно-эпидемиологической обстановки в регионе, остаётся проблема загрязнения воздуха. По-прежнему, основной вклад в ухудшение качества воздуха в регионе вносят выбросы от транспорта — более 80% от общего объёма.

На территории Воронежской области функционирует 6014 предприятий и организаций, которые производят более 350 различных загрязняющих веществ. Для защиты окружающей среды от их воздействия были созданы санитарно-защитные зоны вокруг 3568 объектов. В 2023 году были разработаны проекты для 268 объектов.

В 2023 году специалисты Роспотребнадзора по Воронежской области провели анализ 15 993 проб воздуха в населённых пунктах. Из них 13 286 (83,1%) были взяты в городах, а 2707 (16,9%) — в сельской местности. Уровень загрязнения воздуха в сельской местности в отчётном году, как и в предыдущие годы, превысил уровень в городах. Доля проб воздуха, не соответствующих санитарным нормам в городах, составила 0,1% (в 2021 году — также 0,1%). В сельской местности этот показатель увеличился с 0,6% до 0,8% за три года (см. таблицу 1).

Таблица 1

Доля проб атмосферного воздуха, превышающих ПДК в городских и сельских поселениях Воронежской области (%)

| Наименование показателя | годы |      |      | Динамика показателя к 2021 г. |
|-------------------------|------|------|------|-------------------------------|
|                         | 2021 | 2022 | 2023 |                               |
| В городских поселениях  | 0,1  | 0,1  | 0,1  | ↑↓                            |
| В сельских поселениях   | 0,6  | 0,5  | 0,8  | ↑                             |

В результате мониторинга, проведённого в 2023 году на маршрутных постах организаций Роспотребнадзора в Воронежской области, было выявлено, что наибольшее количество жителей сталкивается с высоким уровнем загрязнения воздуха взвешенными частицами. Это вещество занимает первое место в рейтинге (см. таблицу 2).



Таблица 2.

Количество населения, подверженного высоким уровням загрязнения атмосферного воздуха

| Наименование<br>загрязняющих веществ | годы   |       |      | Ранг в 2023 г. |
|--------------------------------------|--------|-------|------|----------------|
|                                      | 2021   | 2022  | 2023 |                |
| диоксид азота                        | 125000 | 0     | 0    | -              |
| фенол                                | 80000  | 0     | 0    | -              |
| Взвешенные вещества                  | 75928  | 59864 | 4158 | 1              |

В Воронежской области по-прежнему актуален вопрос о размещении промышленных предприятий на территориях, где создаются условия для опережающего социально-экономического развития и индустриальных парков. Это помогает снизить негативное воздействие загрязнения воздуха на жизнь людей. В этом контексте реализуется постановление Правительства Воронежской области от 4 апреля 2006 года «О межведомственной комиссии по размещению производственных сил на территории Воронежской области» и постановление от 6 апреля 2010 года «О создании индустриального парка «Масловский». В настоящее время в регионе реализуется шесть крупных проектов по созданию индустриальных парков: «Масловский», «Перспектива», «Лискинский», «Бобровский», «Воронеж» и «Подгоренский». В этих парках уже работают более 120 предприятий.

В рамках этой работы необходимо:

- перевести муниципальный транспорт на газовое топливо;
- обновить парк пассажирских транспортных средств;
- увеличить долю муниципального транспорта;
- заменить автобусы малой вместимости на автобусы большой вместимости;
- перевести автотранспорт, осуществляющий регулярные перевозки пассажиров, на газовое топливо;
- благоустроить улично-дорожную сеть, включая строительство тротуаров для пешеходов и парковочных карманов для автомобилей;
- исключить движение междугородного транспорта по городским магистралям, построив объездные дороги;
- промышленные предприятия следует концентрировать за пределами жилых зон, выводя их из городских округов и муниципальных районов;
- внедрять пылегазоочистное оборудование, механические и биологические фильтры на производственных и инженерных объектах. Это поможет исключить негативные аварийные выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Доклад «О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Воронежской области в 2023 году» – Воронеж: Управление Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по Воронежской области, 2024–199 с. [Электронный ресурс]. [https://36.rospotrebnadzor.ru/download/dokl\\_seb\\_2023.pdf](https://36.rospotrebnadzor.ru/download/dokl_seb_2023.pdf) (дата обращения: 20.04.2025).
2. Сафонова, Н. Л. Оценка состояния воздушной среды на примере Воронежской области / Н. Л. Сафонова, Ю. В. Водолажская, А. Е. Немченков // Проблемы обеспечения безопасности при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций. – 2014. – № 1(3). – С. 94-96.

# ВЛИЯНИЕ СТОЧНЫХ ВОД ФАРМАЦЕВТИЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

*Скибская И.А.*

Полесский государственный университет

В настоящее время наблюдается значительный рост крупных фармацевтических предприятий, что связано с увеличением спроса на медицинские препараты различного спектра действия. Однако, данный прогресс фармацевтической промышленности сопровождается серьезными экологическими проблемами, особенно касающиеся сточных вод. Сточные воды, образующиеся на фармацевтических предприятиях, содержат активные химические компоненты, которые оказывают отрицательное воздействие на окружающую среду.

Водоемы и почвы, загрязненные токсическими веществами сточных вод фармацевтической промышленности, являются наиболее актуальной проблемой для населения, поскольку последствия такого воздействия оказывают негативный эффект как для экосистем, так и для здоровья человека. Попадание даже небольших концентраций, способно вызывать токсические реакции у водных и наземных организмов, нарушая тем самым биологическое разнообразие и баланс экосистем.

Основным аспектом влияния сточных вод фармацевтических предприятий на окружающую среду является их химический состав. Такие сточные воды содержат разнообразные химические соединения, включая:

- активные компоненты;
- метаболиты;
- упаковочные материалы;
- химикаты, используемые в процессе производства.

Все это приводит к формированию сложного по составу и токсичности сточного потока, который при попадании в окружающую среду может вызвать серьезные экологические и санитарно-гигиенические проблемы [1].

Химические соединения, попадая в окружающую среду, могут привести к снижению популяций и нарушению пищевых цепей. Некоторые химические вещества, накапливаясь в водных организмах, приводят к увеличению их концентрации на верхних уровнях пищевой цепи, тем самым представляя угрозу для человека.

Кроме того, загрязнение сточными водами может привести к исчезновению чувствительных видов и доминированию устойчивых к загрязнению организмов, что нарушает баланс экосистем. Такое загрязнение также ухудшает физико-химические свойства водоемов, что негативно сказывается на всех обитателях.

Особую опасность представляет то, что многие из химических веществ обладают высокой активностью и токсичностью. Они могут быть трудно разлагаемыми (персистентными), что ведет к длительному загрязнению среды.

Не менее важной проблемой также является влияние сточных вод на почву. При использовании загрязненных сточными водами земель, происходит ухудшение структуры почвы и снижение ее плодородия. Вещества, содержащиеся в сточных водах, проникая в почву, могут загрязнять подземные воды, тем самым ухудшая их качество, кроме того, токсические вещества из сточных вод могут попасть в источники, используемые для водоснабжения населенных пунктов. Тем самым, через загрязненную воду, возможно заражение инфекциями, отравление химикатами, а также появление хронических заболеваний, вследствие длительного воздействия низких доз токсинов [2].

Для минимизации негативного влияния сточных вод фармацевтических предприятий на экосистемы и здоровье человека необходимо внедрять современные методы очистки,

которые способны эффективно удалять активные компоненты и другие токсические вещества, а также улучшать уже действующие технологии очистки сточных вод. Также необходимо разрабатывать и внедрять специализированные системы для обработки сточных вод с высоким содержанием фармацевтических токсических компонентов. Необходим тщательный мониторинг и контроль, проводимый регулярно, а также установление строгих норм и стандартов содержания наиболее токсических веществ сточных вод. Для минимального загрязнения необходимо поддерживать научные исследования в области безопасного обращения с фармацевтическими отходами и разработки новых экологически чистых препаратов с минимальным воздействием на окружающую среду [1].

## ЛИТЕРАТУРА

1. Системный анализ компьютерно-интегрированного комплекса мониторинга и прогнозирования рисков возникновения чрезвычайных ситуаций на объектах коммунально-промышленного водоотведения / В.Н. Штепа [и др.] // Инновационные технологии защиты от чрезвычайных ситуаций : сборник материалов международной научно-практической конференции, Минск, 28 сентября 2023 года / Государственное учреждение образования «Университет гражданской защиты Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь»; редакционная коллегия: В.А. Бирюк [и др.]. – Минск : УГЗ, 2023. – С. 20-21.
2. Штепа, В.Н. Усовершенствованная схема обработки водных растворов пищевых предприятий с использованием технологий AOPS / В.Н. Штепа, С.В. Тыновец, А.Б. Шикунец // Вестник Белорусско-Российского университета : научно-методический журнал. – 2022. – № 4 (77). – С. 84-91.

## IMPROVING THE ENVIRONMENTAL ASPECTS OF NITRIC AND SULFURIC ACID PRODUCTION PROCESSES THROUGH THE USE OF FIBERGLASS WOVEN CATALYSTS

*Kuznetsov M.V.*

All-Russian Research Institute on Problems of Civil Defense and Emergencies of Emergency Control Ministry of Russia (EMERCOM), Moscow, Russia

The basis of the proposed technological approach is the use of catalysts formed on amorphous glass fiber matrices. The matrices are doped with metals and are designed as products with different types of woven structure. These catalysts are highly efficient compared to the traditional catalytic materials, including the contact stages of production of nitric and sulfuric acids. In general, fiberglass woven catalysts (or FGWC elements) are products woven from silicate and amorphous glass fibers (SiO<sub>2</sub> content 55-98% by weight), as well as aluminoborosilicate fibers in the form of panels or meshes activated with catalytic components from a number of metals (Pt, Pd, Ag, Cr, Ni, Mn, Co, etc.).

The achieved selectivity of FGWC systems is comparable to the activity of platinum metal grids (about 95%), and their resource temperature resistance is about 8500C, which allows the implementation of GWC packages in ammonia conversion reactors both as in the form of a combined circuit with a platinum package, as an independent design. However, the use of GWC even in combination with platinum grids makes it possible to reduce the mass of platinoids in the reactor's catalytic package by 20-50% and reduce their losses by 2 times (0.06 g of platinum per ton of acid produced compared to the standard value of 0.12 g). This structure of the catalyst package is implemented in industrial reactors of some Russian enterprises producing nitric acid.

In the production of sulfuric acid FGWC elements doped with platinum of the order of 0.05% by weight have an activity significantly exceeding the level corresponding to the vanadium catalytic systems traditionally used in this process. The transfer of sulfuric acid production to GWC

systems will reduce contact temperatures by 40-600 C, which, in turn, will lead to an increase in the conversion of sulfur dioxide and a decrease of its content in gas emissions. It will solve one of the most important environmental problems of sulfuric acid technology. Tests of various samples of ICS in the sulfur dioxide oxidation reaction have shown that these catalytic materials are an alternative to traditional vanadium catalysts in a number of parameters.

The tests were carried out using standard methods for evaluating the catalytic activity for the conversion of sulfur dioxide with the following experimental conditions: the platinum content in FGWC is 0.05-0.20% wt; concentration of SO<sub>2</sub> in the reaction stream – 10% vol; flow temperature at the inlet – 350-5000C. In a series of experiments, it was found that FGWC have the best indicators of catalytic activity of all known industrial catalysts, in particular, those produced by: Monsanto – USA (LR-120, LP-110), BASF – Germany (04-110, 04-111), Haldor Topsoe - Denmark (VK-38, VK-48), Catalyst Chemical Europe (C-116-3, etc.). FGWC are characterized by: high activity (especially at low temperatures – comparative tests at temperatures of 420 and 4850C), low "ignition" temperature of the process (350-3800C), significantly higher thermal stability than vanadium catalysts - 800-8500C (this factor is especially important for sulfuric acid production in non-ferrous metallurgy enterprises). Tests of fiberglass catalysts for life were carried out by placing FGWC samples directly into a layer of granular vanadium catalyst in an operating industrial reactor. It was found that during the annual run, the samples did not lose their catalytic activity (unlike the vanadium catalysts themselves) and was not mechanically destructed.

Pilot tests were also conducted on a model reactor with a diameter of 300 mm, connected in parallel to the fourth shelf of an industrial reactor of the second stage, i.e. in conditions as close as possible to production. Test parameters: concentration of sulfur dioxide in the reaction stream is 9% vol.; temperature at the entrance to the catalytic layer is 380–4500C; platinum content in the FGWC samples is 0.10–0.15% by weight; number of layers in the FGWC catalyst package is 20-60 (the total height of the cassette is 15-50 mm); linear flow rate is 0.13 m/sec. Advantages of FGWC in comparison with the vanadium catalyst: contact time is reduced by an order of magnitude; height of the loading layer is reduced by 20-30 times. Obviously, the FGWC cassette design provides significant advantages during the reactor operation. The economic assessment shows that the cost of FGWC package will be 20-50% lower than the cost of loading the reactor with traditional vanadium catalysts.

## **DEVELOPMENT AND IMPLEMENTATION OF A NEW GENERATION OF IMPORT-SUBSTITUTING CATALYTIC MATERIALS FOR VARIOUS INDUSTRIES AND ENVIRONMENTAL PROCESSES**

*Kuznetsov M.V.*

All-Russian Research Institute on Problems of Civil Defense and Emergencies of Emergency Control Ministry of Russia (EMERCOM), Moscow, Russia

An import-substituting technology has been developed for the production of fiberglass woven catalytic (FGWC) materials and their adaptation to specific production processes in chemical, oil refining, food and other industries. The proposed technological approaches have been successfully implemented and have shown excellent results in solving import substitution and environmental problems by expanding the areas of use of FGWC and organizing their large-scale production.

A wide network of catalyst factories was established in the Soviet Union to serve the needs of the chemical industry, oil refineries, and the food industry. Unfortunately, a significant volume of the catalyst market in Russia is currently occupied by imported materials for various reasons. Combined with the very insignificant temporary operating resources of most catalytic materials, as well as the economic sanctions imposed on Russia regarding the supply of high-tech chemical products in the form of catalysts to our country, all this makes the situation on the Russian catalyst

market extremely difficult. The inability to develop and modernize production facilities due to the lack of sanctioned catalysts significantly reduces their economic efficiency, slows down the development of high-tech sectors of the domestic industry, and in some cases leads to the closure of enterprises. This, in turn, leads to an even greater dependence of the Russian market for food, metalworking, chemical and petrochemical industries on the supply of final imported products.

The FGWC materials developed by us can be classified as new, objects of catalytic chemistry. This class of catalytic systems is characterized by both its own fundamental scientific novelty and the novelty of their technological application. In the course of the search for methods of catalytic activation of the silica base of FGWC, a number of methods for implanting metal activator ions into an amorphous fiberglass matrix during their production were developed. FGWC elements are characterized by high catalytic activity with a very low content of metal components in the matrix and a highly developed catalytic surface. Their macroporosity is regulated by the selection of a specific multi-fiber matrix structure, which is formed by twisting individual elementary fibers with a diameter of 5-9 microns into a working thread, as well as by the type of thread intertwining into the working fabric (simple woven weaving, twill, satin, mesh, jacquard, etc.). As for the implementation and implementation of our proposed technology and its elements in enterprises and organizations, the following results have been achieved in recent years:

A research cycle on the development of surface nitriding technology for metal and alloy products based on the method of preliminary catalytic activation of furnace atmospheres has been completed in the Skolkovo Special Economic zone (Moscow Region). A fundamentally new technology of chemical and thermal treatment of metals and alloys is proposed, based on the use of FGWC in combination with certain chemical and thermal conditions. The installation of a special-purpose catalytic reactor in a furnace on an ammonia (ammonia-air) line provided radical activation of the furnace atmosphere, which was reflected in the implementation of the following features of the nitriding process of metal surfaces. As a result, the corrosion resistance of structural steels was significantly increased; the hardness of the treated product was increased to a depth of more than 1 mm; the wear resistance and impact strength of the treated product were increased; the decarbonization process was suppressed during nitriding; A significant acceleration of the nitriding process (hours instead of days) has been achieved; ammonia consumption has been significantly reduced; the application of nitriding to products that were not previously nitrided using traditional technology, such as high-speed steels, furnace metallurgy products, titanium and its alloys, has been experimentally tested. (the technology was introduced at Chelyabinsk Technological Equipment Plant Ltd., Chelyabinsk).

A technology for catalytic purification of industrial gas emissions and air from pollutants using FGWC was developed jointly with the scientific and production enterprise Ecopromica (Moscow Region). The equipment of this company is currently installed throughout Russia and in the CIS countries (Belarus, Kazakhstan, etc.). Ecopromica has developed 12 basic gas purification plants and more than 30 modifications. More than 500 «Yatagan» gas cleaning complexes have been commissioned, which purify over 5000000 cubic meters of polluted air per hour (this technology has also been implemented at STINOL Ltd., Lipetsk).

FGWC were successfully introduced into the production cycle for the production of sulfuric acid at the enterprise of JSC Voskresensk Mineral Fertilizers (Voskresensk, Moscow region). Currently, technologically proven approaches are also being implemented in the production of sulfuric acid by PhosAgro-Cherepovets JSC together with NIIF JSC (Moscow). In the interests of SIBUR Holding (Moscow), as well as a number of its subsidiaries, a new generation of glass fiber woven catalysts (FGWC) was being developed for the purification of raw styrene from phenylacetylene impurities by selective hydrogenation, as well as the creation of a pilot reactor of a new design with fiberglass catalytic cartridges. As part of this complex of work, we have developed a specialized reactor for liquid-phase purification of the styrene fraction from phenylacetylene impurities by the method of catalytic selective hydrogenation of the styrene fraction.

The new catalyst for hydrogenation of natural oils for the production of solid fats (salamases) has been successfully tested at the Moscow and Nizhny Novgorod fat plants. Fiberglass

catalysts in the production of solid vegetable oils and fats as an alternative to the traditional technology of liquid-phase hydrogenation for the margarine industry on powdered Ni-containing catalytic systems provide the following advantages: exclusion from the technological chain of the node, energy-intensive stage of deep filtration purification of the product from powder components and reduction of the cost of salamas by 20-30%; complete elimination of nickel content in the final product, which is a heavy, physiologically dangerous metal; creation of the possibility of transferring the hydrogenation process to a continuous production scheme of lubricants; elimination of the environmentally acute problem of accumulation and processing of Ni-containing masses of spent powder catalyst.

Thus, a project related to the introduction of fiberglass woven catalytic (FGWC) materials, which are exclusively domestic developments, was very successfully implemented at enterprises of various industries in Russia. These catalytic materials and technological approaches related to their use in the chemical, oil refining, and food industries, as well as in environmental processes, can provide solutions to import substitution problems in the production of catalysts in the future, as well as significantly improve the environmental component of the relevant production processes in combination with the contribution to the development of small business in the Russian Federation and the Union State.

## **IMPROVING THE SAFETY LEVEL OF RBMK-TYPE REACTORS BY USING AN IMPROVED FUEL ELEMENT**

*Kuznetsov M.V.*

All-Russian Research Institute on Problems of Civil Defense and Emergencies of Emergency Control Ministry of Russia (EMERCOM), Moscow, Russia

The problem of safe operation of nuclear thermal power plants occupies an important place in the development of global energy. Considerable attention currently being paid to improving the emergency system of nuclear reactors of single-circuit steam generating plants by searching for a design of fuel elements (fuel rods) that increases the safety level of these energy systems as well as increases the maximum permissible thermal loads per unit mass of nuclear fuel embedded in the fuel rods.

There is still no consensus among experts on the causes of the accident at fourth power unit of the Chernobyl nuclear power plant. The official conclusions cite various versions of the event, in particular: non-compliance of the reactor design with safety standards; defects in the rod design ("end effect"); a certain "power surge" of an unexplained nature; cavitation of pumps; even a local earthquake was mentioned. However, practically all experts agree that the destructive phase of the accident began with the fact that the fuel elements (fuel rods) collapsed due to overheating of the nuclear fuel. We have considered alternative versions of the indicated man-made disasters in nuclear installations, based on the involvement of the mechanism of the phenomenon of "steam explosion" to describe the conditions of occurrence and dynamics of these large-scale emergencies. This concept arose in science and engineering practice more in the 19th century. with the advent of the era of steam engines: the superheated aqueous medium in a boiler operating at high pressure, in the event of an emergency pressure relief, instantly boiled up, which led to the formation of a shock wave destroying the apparatus, accompanied by tragic consequences.

To describe the mechanism, conditions of initiation and dynamics of the Chernobyl disaster, we use the concept of the "boiling crisis", which is well known to everyone involved in the development and design of nuclear power steam-producing plants (for example, HPDR type reactors). Modern HPDR nuclear reactors, as a rule, use fuel rods with a thermal energy source in the form of tablets with a low content of uranium dioxide (UO<sub>2</sub>). They are loaded into a tubular (cylindrical) shell made of steel or zirconium alloy uniformly along the entire length (the so-called homogeneous assembly of nuclear fuel pellets stacked on top of each other). The energy released inside the fuel rods is diverted by a water coolant flowing around them. The "boiling crisis" is a

spontaneous transition from the normal "bubble boiling" mode to the emergency "film boiling" mode. In the normal vaporization mode ("bubble mode"), the temperature on the surface of the fuel elements (fuel rods) does not exceed 150-200 °C. If the removed power exceeds a certain limit, a continuous vapor film forms on the surface of the fuel element, the heat transfer rate deteriorates by an order of magnitude, and, consequently, the heating of the fuel element increases by an order of magnitude as well. The fuel element collapses, uranium fuel is scattered throughout the reactor's water volume, and the aqueous medium quickly overheats well above the boiling point, resulting in explosive boiling (i.e., a "steam explosion") and reactor destruction. We consider the transition mode from single-phase convective heat transfer from the fuel element surface (the zone of the working water medium that was not heated to the boiling point) to the near-surface boiling mode, which is the most dangerous from the point of view of the possibility of an emergency. Under this regime, the temperature field in the working medium at the surface of the fuel element loses stability, as a result of which the heat transfer process in the local area becomes unstable. This phenomenon is caused by the formation of a cyclically repeating pattern of alternating phase states in the boundary layer between the liquid and the surface of the fuel element: I – heating of the surface liquid film to the temperatures exceeding its boiling point; II – decomposition of this metastable state in the mode of "explosive" boiling, i.e. in the mode of cyclically repeated acts of "steam explosions" along the surface of the fuel element. The process of disintegration of an overheated liquid film (the act of a "steam explosion") is physically similar to the detonation process. It differs from classical detonation only in the low energy of the "fuel" and its low mass.

The described mode was called the "detonation boiling" mode. A reliable sign of the entry of a fuel element into this mode is its accompaniment by an acoustic effect – the appearance of intense acoustic emission. The process of "detonation boiling" can quite effectively contribute to the destruction of liquids sensitive to mechanochemical or sonochemical effects, as well as lead to scale formation on the surfaces of fuel rods in water steam generating plants. The effect of the actual explosive process on the structure of fuel rods can be represented in the following form. The explosive destruction of the superheated water film at the surface of the fuel element accompanied by chemical activation of the "fragments" of both the working fluid itself and the salts contained in it. This is what leads to the deposition of salt impurities on the fuel element surfaces, which activated by a steam explosion. The deposits bind firmly to the surfaces of fuel rods, overcoming adhesive barriers and compacting under the influence of shock-wave effects constantly occurring in the subsurface layers.

A significant disadvantage of the currently used homogeneous fuel element loading with a uniform energy release over the entire length (namely, this fuel element loading scheme is widely used in world practice) is the instability of their normal thermal operation. Taking into account all of the above, there is an instability of the boiling regime of the liquid coolant (in our case, water) in relation to disturbances that randomly occur in a localized section of the fuel element. It is precisely such disturbances that can cause in the disturbed zone a spontaneous transition of the normal thermal mode of operation of the fuel element (corresponding to the bubbly boiling of the working liquid medium) to the emergency high-temperature mode of film boiling, which then spreads along the entire length of the fuel element. As a result of the experimental work carried out, fuel rods are proposed for HPDR-type steam-producing power plants in which the energy source has a periodic structure of loading nuclear fuel alternating with inert ballast (for example, in the form of heat-resistant oxide ceramics or metal elements). The purpose of introducing the proposed new fuel element design into real operational practice is reducing the risk of explosive situations during the operation of nuclear power plants as a result of the loss of stability of the steam generation regime on the fuel element, accompanied by its catastrophic overheating and, as a result, the destruction of the fuel element.

Thus, in our opinion, it was the steam explosion caused by various causes that led to the devastating man-made disaster that took place at the Chernobyl nuclear power plant. Preventing such phenomena in the future should become one of the priorities in the design and operation of nuclear power facilities. For this purpose, it is necessary to develop theoretical ideas regarding the nature of steam explosions and create models of processes occurring in real conditions.

---

---

Секция 4  
РАЗРАБОТКА СПОСОБОВ И СРЕДСТВ ОГНЕЗАЩИТЫ МАТЕРИАЛОВ  
РАЗЛИЧНОЙ ПРИРОДЫ

Секция 5  
ЗАМЕДЛИТЕЛИ ГОРЕНИЯ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ: СИНТЕЗ И  
МЕХАНИЗМ ДЕЙСТВИЯ

---

---

**ОПТИМИЗАЦИЯ СОСТАВА И ОГНЕСТОЙКИХ СВОЙСТВ  
ТЕРМОВСПЕНИВАЕМОГО КОМПОЗИТА НА ВОДНО-ДИСПЕРСИОННОЙ  
ОСНОВЕ МЕТОДОМ МАТЕМАТИЧЕСКОГО ПЛАНИРОВАНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА**

*В.В. Богданова<sup>1</sup>, О.И. Кобец<sup>1</sup>, А.С. Платонов<sup>2</sup>, А.Б. Перевозникова<sup>3</sup>*

<sup>1</sup>Учреждение Белорусского государственного университета «Научно-исследовательский институт физико-химических проблем» (НИИ ФХП БГУ),

<sup>2</sup>Государственное учреждение образования «Университет гражданской защиты Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь»,

<sup>3</sup>Белорусский государственный университет

В области практического применения термовспениваемых полимерсодержащих композиций актуальной задачей является обеспечение их пожарной безопасности.

С целью определения влияния основных компонентов огнезащитного термовспениваемого стирол-акрилового водно-дисперсионного композита (связующего, вспенивающего и газоккоксообразующего ингредиентов) на характеристики горючести и физико-механические свойства пенококса (вспенивание, механическая прочность) с использованием метода математического планирования эксперимента определены их оптимальные соотношения.

Оптимизируемый состав (базовый ОТВК) включал следующие основные компоненты: водно-дисперсионное сополимерное стирол-акриловое связующее (САС), терморасширяющийся графит (ТРГ), огнезамедлительную газо-коксообразующую систему (ГКС – смесь из полифосфата аммония, полигликоля и металлокарбонатного природного минерала) в соотношении, мас. %, 40,2 : 13,3 : 46,5. По результатам испытаний горючести в установке «керамическая труба» по ГОСТ 12.1.044 – 89, п. 4.3 [1] базовый ОТВК (образец размером 1×10 см) классифицировался как «горючий средней воспламеняемости».

Для поиска оптимального рецептурного состава ОТВК использовали регрессионную модель полнофакторного эксперимента (ПФЭ), примененную нами ранее [2]. В качестве варьируемых факторов ПФЭ принимали содержание (мас.%) основных компонентов базового композита, мас. %: САС —  $x_1$ ; ТРГ —  $x_2$ ; ГКС —  $x_3$  с их численными экспериментальными значениями  $x_1 = 40,2$ ;  $x_2 = 13,3$ ;  $x_3 = 46,5$ . Между тремя выбранными факторами существовала условная взаимосвязь  $x_1 + x_2 + x_3 = 100\%$ , где  $x_3 = 100\% - x_1 - x_2$ , поэтому для расчетов использовали двухфакторную модель эксперимента для факторов  $x_1$  и  $x_2$ .

Функциями отклика огнестойких свойств согласно ГОСТ 12.1.044-89 выбраны два показателя: потеря массы образца ( $\Delta m$ , %) и максимальное приращение температуры ( $\Delta T$ , °С), значения которых должны быть менее 60 % и 60 °С, соответственно [1]. Функциями отклика, характеризующими физико-механические свойства продуктов прогрева ОТВК, выбраны относительная деформация сжатия ( $\varepsilon$ , %) и коэффициент объемного вспенивания ( $K_V$ ), которые должны составлять, соответственно, не более 10 % и не менее 10 (ГОСТ Р 12.3.047–98) [3].  $\Delta T$  и  $\Delta m$  определяли по формулам:  $\Delta T = T_{max} - T_0$  и  $\Delta m = (m_0 - m)/m_0 \cdot 100\%$ , где  $T_{max}$  – максимальная температура отходящих газов во время огневых испытаний, °С;  $T_0$  – начальная температура испытания (200 °С);  $m_0$  и  $m$  – масса образца до и после испытания, г.  $K_V$  и  $\varepsilon$  вычисляли согласно формулам:  $K_V = V/V_0$  и  $\varepsilon = (h_0 - h)/h_0 \cdot 100\%$ ,



где  $V$  – объем вспененного образца после термического воздействия ( $500\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 10 мин);  $V_0$  – объем исходного образца;  $h_0$  и  $h$  – высота пенококса до и после воздействия нагрузки (80 Па). Дополнительно к физико-механическим свойствам пенококса предъявлялось также требование к самому композиционному материалу по эластичности при изгибе по ГОСТ 6806–73 [4].

Следовательно, функциями отклика системы ( $y, w, q, z$ ) являлись:  $y = \Delta m, \%$  ( $< 60\%$ ),  $w = \Delta T, ^{\circ}\text{C}$  ( $< 60\text{ }^{\circ}\text{C}$ ),  $q = \varepsilon, \%$  ( $< 10\%$ ),  $z = K_V (\geq 10)$ . Для нахождения оптимального соотношения компонентов ОТВК проведены эксперименты для семи планов ПФЭ. При этом центр плана №1 находился в точке  $(\tilde{x}_1, \tilde{x}_2, \tilde{x}_3) = (40, 2; 13, 3; 46, 5)$  и  $\Delta x_1 = 5, \Delta x_2 = 6$ . Последующие за первым центры плана сдвигались в сторону уменьшения потери массы так, чтобы в новом плане использовать часть точек предыдущего плана, для которых опыты уже проведены. Снижение потери массы проводили при одновременном снижении значения отклика системы по максимальному приращению температуры ( $\Delta T_{max}$ ) и с получением удовлетворительных значений по относительной деформации сжатия ( $\varepsilon$ ) и коэффициенту объемного вспенивания ( $K_V$ ) с учетом условий их варьирования. В результате ПФЭ центр плана №7 сместился в точку  $(\tilde{x}_1, \tilde{x}_2, \tilde{x}_3) = (26, 0; 8, 8; 65, 2)$  и  $\Delta x_1 = 1, \Delta x_2 = 0, 5$ . При сопоставлении результатов начальных испытаний с конечными данными были выявлены следующие тенденции во взаимосвязи свойств и состава ОТВК: изменение характеристик потери массы и максимального приращения температуры ( $\Delta m$  и  $\Delta T_{max}$ ) в сторону меньших значений происходило при снижении в рецептуре композиции содержания компонентов САС и ТРГ с соответствующим увеличением азот-фосфорсодержащего компонента. При этом при сохранении удовлетворительных значений  $K_V$  одновременно наблюдалось уменьшение показателя относительной деформации сжатия, что свидетельствовало об улучшении прочности пенококса.

В ходе математического планирования эксперимента найдена адекватная регрессионная модель, получены уравнения регрессии в натуральных переменных для каждой функции отклика ( $y = \Delta m, w = \Delta T, q = \varepsilon, z = K_V$ ), определены экстремумы модели, построены соответствующие поверхности функций (по результатам ПФЭ № 7), что позволило установить ряд рецептов ОТВК, удовлетворяющих принятым начальным условиям в диапазоне содержания основных компонентов, мас. %: САС : ТРГ : ГКС =  $(25, 0 \div 27, 0) : (8, 3 \div 9, 3) : (63, 7 \div 66, 7)$ . Для дальнейших исследований отобран рецептурный состав ОТВК, при котором эластичный на изгиб композиционный материал проявляет оптимальные характеристики по огнестойкости и механической прочности пенококса, а также удовлетворительную вспенивающую способность продуктов прогрева. В отличие от базового состава оптимизированный ОТВК характеризуется как «трудногорючий материал», при этом для него показатели по потере массы улучшены на 14 %, а по максимальному приращению температуры и относительной деформации сжатия – в 1,8 и 3,2 раза, соответственно.

Таким образом, с помощью метода математического планирования эксперимента определено оптимальное соотношение основных компонентов трудногорючего термовспениваемого композиционного материала с улучшенными характеристиками огнестойкости и одновременно удовлетворительными физико-механическими свойствами пенококса. Огнезащитный композит с оптимизированным составом и свойствами может быть использован в составе пассивной огнезащиты строительных конструкций. Полученные экспериментальные данные с использованием метода математического планирования эксперимента свидетельствуют о перспективности его применения при разработке рецептов эффективных огнезащитных термовспениваемых композитов.

## ЛИТЕРАТУРА

1 ГОСТ 12.1.044 – 89. Пожаровзрывобезопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения: межгосударственный стандарт. / Введ. 01.01.1991. – Москва: Стандартинформ, 2006. – 135 с.

2 Оптимизация огнестойких и термоизолирующих свойств вспениваемых композитов с привлечением математического планирования эксперимента / В.В. Богданова, О.И. Кобец, А.С. Платонов, А.Б. Перевозникова // Горение и взрыв. – 2023. – Т. 16, № 3. – С. 62–72. DOI: 10.30826/CE23160306.

3 ГОСТ 6806–73. Материалы лакокрасочные. Метод определения эластичности пленки при изгибе / Введ. 01.07.1974; переизд.: апрель 1988 г. – М: Издательство-стандартов, 1988. – 6 с.

4 ГОСТ 12.3.047 – 98. Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля: государственный стандарт Российской Федерации. / Введ. 03.08.1998. – Москва: ИПК Издательство стандартов, 1988. – 89 с.

## ЗАМЕДЛИТЕЛИ ГОРЕНИЯ ДЛЯ УСТОЙЧИВОЙ К СТИРКАМ ОГНЕЗАЩИТЫ ПОЛИЭФИРНЫХ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ РАЗЛИЧНОЙ ПЛОТНОСТИ

*Богданова В.В., Шукело З.В., Кобец О.И., Рева О.В.*

Научно-исследовательский институт физико-химических проблем

Университет гражданской защиты МЧС Беларуси

**Аннотация.** Разработаны неорганические фосфор-галогенсодержащие огнезамедлительные составы и технологии поверхностной обработки ими полиэфирных тканевых материалов различной плотности, обеспечивающие перманентный огнезащитный эффект. Термические и аналитические исследования огнезащищенных полиэфирных материалов после стирок показали наличие компонентов замедлителей горения на полиэфирном материале. Электронно-микроскопическими исследованиями показано, что в присутствии хлорида олова наблюдается равномерное распределение в растворе замедлителя горения коллоидных частиц размером 4–7 нм.

**Ключевые слова:** фосфор-галогенсодержащие огнезамедлительные системы, модифицирующие добавки, полиэфирные материалы, огнезащитная обработка.

Полиэфирные материалы в суммарном объеме производимых синтетических тканей занимает первое место и широко используются как в быту, так и в промышленности. Однако полиэфирные волокна и ткани горючи, а придание им перманентной огнестойкости связано со значительными трудностями, связанными с инертностью полимерного материала [1] и применением дефицитных токсичных органических фосфорсодержащих соединений [2, 3]. Проблема придания устойчивого к стиркам огнезащитного эффекта полиэфирным текстильным материалам методами поверхностной обработки с использованием неорганических замедлителей горения до настоящего времени не решена и является чрезвычайно актуальной.

С целью придания полиэфирным материалам различного назначения и плотности (65; 114; 145 и 204 г/м<sup>2</sup>) устойчивого к водным обработкам огнезащитного эффекта с применением неорганических замедлителей горения методом поверхностной обработки проведен синтез фосфор-азот-галогенсодержащего огнезащитного состава и выбор модифицирующих добавок, активирующих химическое взаимодействие компонентов огнезащитного состава с полиэфирной матрицей.

Синтетический огнезащитный состав (ОС) представляет собой водно-коллоидный раствор с содержанием фосфора, галогена и азота в массовом соотношении 1: 2,2 : 2. Данную композицию модифицировали дополнительным введением хлорида олова (SnCl<sub>2</sub>), полиэтиленгликоля (ПЭГ) и гипофосфита натрия (ГПФ). Рентгенофазовым исследованием

синтетического базового и модифицированных на его основе ОС установлено, что они состоят из аморфных и кристаллических неидентифицируемых соединений, что также характерно и для продуктов их термообработки.

Для активации поверхности полиэфирных материалов образцы ткани подвергали травлению в щелочном растворе при 70 °С в течение 30 минут. Предварительно установлено, что ткани с меньшей плотностью (65 и 114 г/м<sup>2</sup>) сохраняют огнестойкость после стирок без щелочной обработки, тогда как для материалов более высокой плотности (145 и 204 г/м<sup>2</sup>) предварительная активация необходима. Обработку одинаковыми объемами огнезащитного состава проводили методом плюсовки при комнатной температуре или при нагревании до 60–70 °С в течение от 30 до 60 минут в зависимости от плотности ткани. Сушка образцов проводилась при температуре 140 °С в течение 15 минут, термофиксация при температуре 220 °С в течение 2 минут. Стирку образцов проводили по ГОСТ 30157.1-95 при 40 °С в течение 15 мин.

Результаты испытаний по ГОСТ Р 50810-95 огнезащищенных полиэфирных материалов (ОЗМ) различной плотности показали, что огнезащитный эффект после стирок для образцов с низкой плотностью (65 и 114 г/м<sup>2</sup>) сохраняется при всех модификациях исследованных ОС, тогда как устойчивая огнестойкость для тканей плотностью 145 и 204 г/м<sup>2</sup> достигается только при полном наборе в ОС модифицирующих агентов (SnCl<sub>2</sub>, ПЭГ и ГПФ).

Для нахождения факторов, обуславливающих устойчивость огнезащиты полиэфирной ткани после стирок проведены сопоставительные термические, аналитические и электронномикроскопические исследования исходной и огнезащитной ткани плотностью 204 г/м<sup>2</sup> после стирки. Из данных комплексного термического анализа на приборе Netzch STA 449C исходной и огнезащитной полиэфирной ткани после стирки следует, что все компоненты ОС оказывают существенное влияние на ее термические характеристики: сдвиг максимума второго экзотермического эффекта, соответствующего полному разложению полимерной матрицы, в высокотемпературную область и снижение суммарного количества тепла при термоллизе полиэфирного материала.

Одновременно в тканевых стирных образцах определяли (спектрометр фирмы PANalytical с автоматической обработкой данных по программе Epsilon 3) содержание фосфора, хлора и олова, входящих в состав исследуемых ОС. При этом на тканевых образцах зафиксировано содержание фосфора и хлора, отсутствующих в исходном полиэфирном материале, а содержание этих ингибирующих элементов в 1,7–1,8 раза выше для образцов, огнезащитных составами, содержащими хлорид олова.

Электронномикроскопические исследования с использованием просвечивающего электронного микроскопа LEO-906 E, проведенные для выяснения причин более высокой реакционной способности оловосодержащих замедлителей горения, показали, что размер коллоидных частиц состава, содержащего хлорид олова, составляет от 4–7 нм при равномерном их распределении по всему объему, тогда как в отсутствие хлорида олова ОС состоит из более крупных первичных частиц, склонных к агрегации.

С использованием ИК спектроскопического исследования (ИК спектрометр с Фурье-преобразователем Alpha) получено доказательство химического взаимодействия компонентов огнезащитной системы с полимерной матрицей, что позволило обеспечить устойчивость огнезащитного эффекта к стиркам

Таким образом, с использованием синтетической неорганической системы замедлителей горения методом поверхностной обработки полиэфирных текстильных материалов различной плотности получен устойчивый к стиркам эффект огнезащиты, что достигается при использовании базового ОС, либо в присутствии модифицирующих агентов в зависимости от плотности ткани.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Плазменно-растворная модификация полиэтилентерефталатного волокнистого материала / С. М. Кузьмин, Н. П. Пророкова, А. В. Хорев, С. Ю. Вавилова // Химические волокна. – 2010. – № 1. – С. 26–30.

2. Сабирзянова, Р. Н. Современные тенденции в производстве огнестойких текстильных материалов / Р. Н. Сабирзянова, И. В. Красина // Вестник Казанского технологического университета. – 2013. – Т. 9. – № 5. – С. 75–79.

3. Influence of Aflamit KWB on the process of pyrolysis and the properties of cellulose fibres // Fiber chemistry. – 2017. – N.4. – P.246–250.

*Работа финансируется в рамках задания № 2.1.07.01 ГПНИ «Химические процессы, реагенты и технологии, биорегуляторы и биоорганхимия», 2021–2025 г.г., № г.р. 20210514.*

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ОГНЕЗАЩИЩЕННОГО КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ ПА-6 И НЕТОКСИЧНЫХ НЕОРГАНИЧЕСКИХ АНТИПИРЕНОВ

*Д.В. Криваль, О.В. Рева, к.х.н., доцент*

Университет гражданской защиты МЧС Беларуси

**Введение.** Полиамид-6 характеризуется комплексом высоких и востребованных эксплуатационных характеристик: стойкостью к износу, упругостью, хорошими электроизоляционными свойствами и термостойкостью, химической стойкостью к действию щелочей, углеводов, пищевых жиров и минеральных масел [1]. Отрицательным свойством полиамидных материалов является их высокая горючесть, которая преодолевается введением антипиренов в полимерную матрицу. Огнезащита полиамидных материалов осложняется тем, что концентрация замедлителей горения в полимере, обеспечивающая требуемый уровень стойкости к горению достаточно высока, до 25-30 масс. %, что вызывает существенное ухудшение прочности материала [2]. Кроме того, большинство из эффективных антипиренов для полиамидов при термодеструкции выделяют значительное количество токсичных соединений. Таким образом, очень актуальной является разработка новых комплексных замедлителей горения синергического действия на основе нетоксичных компонентов.

Нами были разработаны комплексные огнезащитные композиции для полиамида-6 на основе неорганических синтетических аммонийных фосфатов и полифосфатов, оптимальным образом сочетающие азот- и фосфорсодержащие компоненты с добавками тугоплавких минеральных соединений двух- и трёхвалентных металлов, выполняющих структурирующую роль в конденсированной фазе, а также меламина и пентаэритрита как газовыделяющих агентов [3]. Эти композиции обеспечивают полиамиду наивысшую категорию стойкости к горению ПБ-0 при концентрации в полимерной матрице 10-15 масс. %. В данной работе было изучено влияние массового содержания комплексного замедлителя горения в полиамидном композите на ряд физико-механических показателей композиционного материала, результаты представлены в таблице.

Таблица – Физико-механические свойства полиамидных композитных материалов в зависимости от содержания замедлителя горения

| Показатель                                    | Концентрация комплексного замедлителя горения в композите, масс. % |       |       |       |       |       |
|-----------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                                               | 0                                                                  | 6     | 8     | 10    | 12    | 15    |
| Ударная вязкость по Шарпи, кДж/м <sup>2</sup> | не разр.                                                           | 65,50 | 63,24 | 50,44 | 49,79 | 43    |
| Ударная вязкость по Изоду, кДж/м <sup>2</sup> | не разр.                                                           | 57,64 | 53,02 | 49,44 | 26,13 | 20,12 |

|                                         |       |       |       |       |       |       |
|-----------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Прочность при разрыве, МПа              | 70*   | 69,16 | 67,66 | 66,60 | 60,50 | 53,2  |
| Относительное удлинение при разрыве, %  | <100* | 5,7   | 5,6   | 5,6   | 7,0   | 7,5   |
| Модуль Юнга при растяжении, МПа         | 2600* | 2440  | 2380  | 2520  | 1250  | 1114  |
| Максимальное напряжение при изгибе, МПа | 85    | 99,26 | 88,22 | 94,94 | 37,44 | 32,46 |
| Модуль Юнга при изгибе, МПа             | 2500  | 2520  | 2590  | 2670  | 2722  | 2802  |
| ПТР, г/10 мин                           | 25    | 27,2  | 37    | 49,8  | 54,4  | 59,9  |

\*Данные производителя ПА-6 Гродно-Химволокно

Полученные данные свидетельствуют, что концентрация комплексной огнезащитной композиции 12 масс. % в полиамидной матрице является критической, поскольку после ее превышения происходит падение прочностных характеристик материала. Вероятно, это связано с максимально возможным микрооднородным наполнением полиамида неорганическими соединениями при котором образуются агломераты дисперсной фазы, не смоченные полимером. Такие агломераты будут являться концентраторами напряжений. Следовательно, оптимальным является внесение нового комплексного замедлителя горения в полиамидную матрицу количестве 10-12 масс. %, поскольку при меньших концентрациях антипирена не обеспечивается необходимая огнестойкость материала, а при больших – недопустимо ухудшаются эксплуатационные характеристики.

При определении группы токсичности полиамидного композиционного материала, модифицированного новой комплексной огнезащитной композицией в количестве 12 масс. %, сертифицированные испытания показали, что она соответствует исходному материалу (Т2), а показатель токсичности ( $H_{Cl\ 50}$ ) даже несколько ниже, чем у не модифицированного полимера: 64,5 и 66,9 г/м<sup>3</sup> соответственно. Таким образом, новая комплексная огнезащитная композиция на основе неорганических соединений при термическом разложении композиционного материала не только не выделяет в газовую фазу новых токсичных компонентов, но и несколько снижает концентрацию токсичных газов, стандартно выделяющихся из полиамида, за счет замедления термодеструкции огнезащищенного материала.

**Заключение.** В результате проведенных исследований установлено, что новая нетоксичная комплексная огнезащитная композиция, оптимально сочетающая азот и фосфорсодержащие компоненты и структурирующие минеральные добавки, при содержании 10-12 масс. % при внесении в расплав методом механического экструдирования обеспечивает полиамиду-6 категорию стойкости к горению ПВ-0 при незначительном снижении важных эксплуатационных характеристик и не приводит к повышению токсичности продуктов термодеструкции полимера.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Applied plastics engineering handbook. Processing and materials / ed. by M. Kutz. – Amsterdam [etc.] : William Andrew, 2011. – 664 p.
2. Баженов С.Л., Берлин А.А., Кульков А.А., Ошмян В. Г., Полимерные композиционные материалы. – М.: «Интеллект». – 2010. – 347 с.
3. Рева О.В., Криваль Д.В. Органо-минеральные композиции синергического действия для огнезащиты полиамидных полимеров // Полимерные материалы пониженной горючести. / Сборник тезисов докладов X международной конференции. 14-18 сентября 2021 г. – Кокшетау: Академия гражданской защиты им. Малика Габдуллина МЧС Республики Казахстан, 2021 г. – 268 с. С. 75-77.

# ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОГНЕЗАЩИТЫ ПОЛИЭФИРНЫХ МАТЕРИАЛОВ НЕОРГАНИЧЕСКИМИ ЗАМЕДЛИТЕЛЯМИ ГОРЕНИЯ

*Рева О.В., к.х.н., доцент, Назарович А.Н.*

Университет гражданской защиты МЧС Беларуси

Из существующих технологий получения огнезащищенных синтетических материалов (модификация моновеньев полимера, введение синергических смесей антипиренов в расплав, крейзинг, облучение реакционных смесей высокоэнергетическими импульсами [1]) для нетканых материалов чаще всего используется пропитка или спрейная обработка водными растворами замедлителей горения как наиболее экономичная и технически доступная. Ряд факторов, влияющих на эффективность такой огнезащитной обработки изучен в работах [2, 3], но несмотря на обнаруженные закономерности, оптимальный состав огнезащитной композиции для каждого типа материала часто подбирается эмпирически.

Целью данной работы было выявление важнейших критериев эффективности неорганических замедлителей горения по отношению к нетканым полиэфирным материалам.

В качестве замедлителей горения использовали синтетические огнезащитные композиции КБ-2, СиАНС, и СиАН 6.5-20, представляющие собой сложносоставные дисперсные системы на основе аммонийных фосфатов двух- и трехвалентных металлов различного катионно-анионного состава. По результатам огневых испытаний все изученные металлофосфатные составы обеспечивают обработанному ПЭТФ категорию стойкости к горению «трудновоспламеняемый», однако их количества на поверхности ПЭТФ различаются почти на порядок. Поскольку принципиальных отличий в химическом составе исследованных неорганических антипиренов нет, представляется важным выяснить отличия в их дисперсности. Методом ПЭМ было установлено, что огнезащитные композиции СиАНС и СиАН 6,5 – сложносоставные тонкодисперсные системы, в которых частицы нерастворимой твердой фазы имеют размеры не более долей микрона, а в растворной части присутствуют коллоидные частицы с размерами 25-75 нм, Рис. 1, которые со временем агрегируют в конгломераты с размерами до 150-200 нм. Для огнезащитной композиции КБ-2 (наименьшее количество на поверхности ПЭТФ с наибольшей огнестойкостью) характерно отсутствие нерастворимых частиц, тогда как в ее объеме наличествуют устойчивые к агрегации длительное время коллоидные частицы с размерами 10-50 нм, Рис. 1.

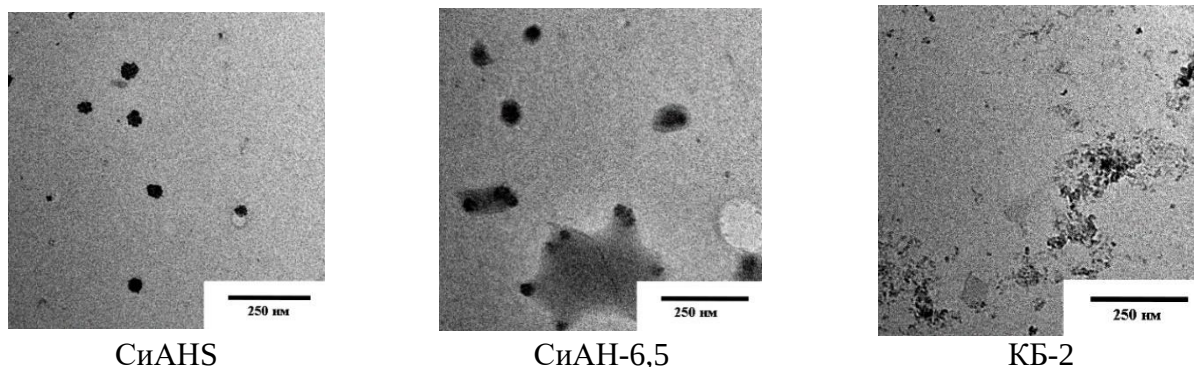


Рисунок 1 – ПЭМ фотографии частиц, формирующихся в растворной части огнезащитных композиций СиАНС, СиАН-6,5, КБ-2 со сроком хранения 30 суток

Методом дифференциально-сканирующей калориметрии доказано, что поверхностная огнезащитная обработка нетканого полиэфирного утеплителя композицией КБ-2 приводит к существенному изменению закономерностей его термодеструкции и горения, Рис. 2. Несмотря на то, что потеря массы модифицированным полиэфирным волокнистым материалом

начинается при  $\sim 320^{\circ}\text{C}$ , тогда как для необработанного образца – при  $380^{\circ}\text{C}$ , суммарная потеря массы огнезащитным утеплителем не менее чем на 35% ниже по сравнению с исходным материалом. Очевидно, для огнезащитного образца потеря массы при более низких температурах происходит не за счет распада полимерного скелета и деструкции крупных мономеров, а в значительной степени связана с разложением компонентов антипирена и выходом в газовую фазу ингибиторов горения. Этот вывод доказывается появлением на дифференциальной кривой эндотермических пиков в областях температур 200, 260,  $360^{\circ}\text{C}$ , явно соответствующих поглощению тепла на выделение связанной воды из кристаллогидратов, плавление и разложение компонентов замедлителя горения.

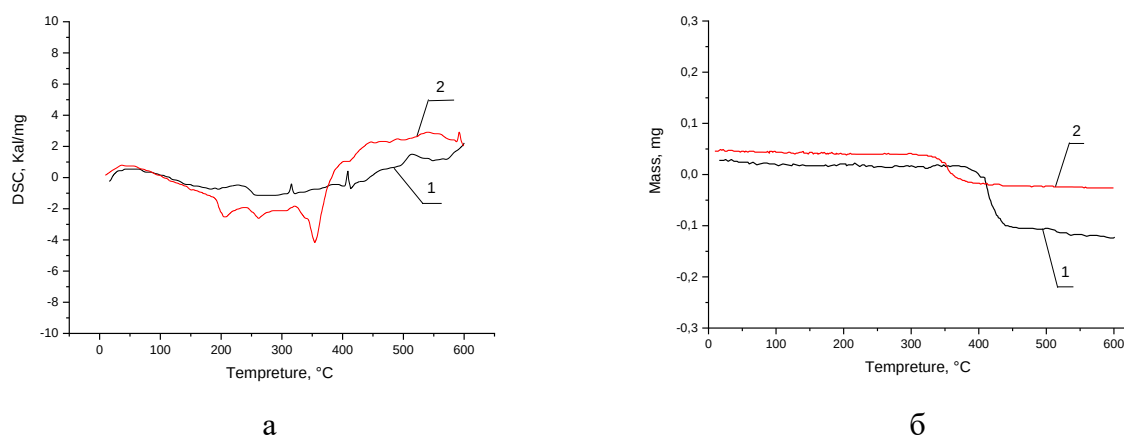


Рисунок 2 – Кривые ДТА и ТГ для полиэфирного теплоизоляционного материала: 1 – исходного; 2 – после огнезащитной обработки композицией КБ-2

Установлено, что наилучшие результаты по устойчивости к горению волокнистого полиэфирного материала обеспечивает синтетический аммонийно-металлофосфатный замедлитель горения КБ-2, в объеме которого присутствуют коллоидные частицы с размерами 10-50 нм; хотя его абсолютное количество на единице площади поверхности обработанного материала не самое высокое. Результаты дифференциально-сканирующей калориметрии доказывают замедление разложения полимера за счет поглощения тепла замедлителем горения с формированием коксового слоя и выходом ингибиторов горения в газовую фазу. Таким образом, можно сформулировать следующие принципы разработки новых синтетических неорганических замедлителей горения для тонковолокнистых полимерных материалов: огнезащитная композиция должна быть тонкодисперсной коллоидной системой с размером частиц не более 50 нм, вероятно способных химически взаимодействовать с полимерной поверхностью, и содержать компоненты как твердофазного (фосфаты), так и газофазного (аммонийные соединения) огнезащитного действия.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Зубкова, Н.С. Регулирование процессов термолитиза и горения термопластичных волокнообразующих полимеров и создание материалов с пониженной горючестью: дис. д-ра. хим. наук: 02.00.06. – Мытищи, 1998. – 333 с.
2. О.В. Рева, А.Н. Назарович, В.В. Богданова, А.В. Врублевский Влияние природы органических растворителей на стабильность и активирующую способность коллоидных растворов  $\text{SnCl}_2$  / Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя хімічных навук. 2020. – Т. 56, № 4. – С. 434-444. DOI: 10.29235/1561-8331-2020-56-4-434-444.
3. О.В. Рева, В.В. Богданова, З.Н. Шукело, А.Н. Назарович, О.И. Кобец Синтез и исследование огнезащитных свойств новых металлофосфатных замедлителей горения для текстильных материалов, используемых в защитной одежде / Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси. – 2021. – Т. 5, № 4. – С. 402 – 417. DOI: 10.33408/2519-237X.2021.5-4.402.

# МЕХАНИЗМ ОГНЕЗАЩИТНОГО ДЕЙСТВИЯ КОМПЛЕКСНЫХ ЗАМЕДЛИТЕЛЕЙ ГОРЕНИЯ В КОМПОЗИТНЫХ МЕТАЛЛСОДЕРЖАЩИХ СЛОЯХ

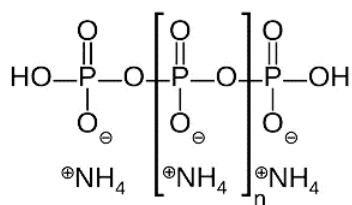
Рева О.В., к.х.н., доцент, Криваль Д.В., Коваль В.В.

Университет гражданской защиты МЧС Беларуси

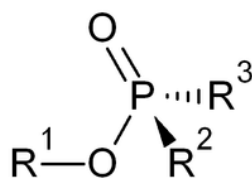
Для защитной экипировки пожарных-спасателей востребованным материалом является тепло-светоотражающий и одновременно огнестойкий композитный слой на текстильной основе. Необходимым набором физико-механических свойств (пластичностью, износостойкостью, способностью к отражению ИК-излучения и высоким кислородным индексом), как ранее нами было установлено, обладают металлосодержащие слои на основе термостойких смол, нанесенные на оксодиазольную текстильную подложку [1, 2].

В данной работе нами были изучены огнестойкость и закономерности термодеструкции металлосодержащих композиционных слоев на основе силиконовых и карбосилоксановых смол, модифицированных комплексными замедлителями горения, нанесенных механическим распылением на арселон (оксодиазольный материал), используемый для получения верхнего тепло- и светоотражающего слоя в многослойном пакете для боевой одежды.

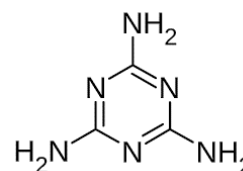
Изученные замедлители горения представляют собой композиции из аммонийных металлофосфатов и следующих многофункциональных систем:



аммонийные полифосфаты



органические фосфинаты



меламин (триазин)

В результате проведенных исследований было установлено, что несмотря на то, что исследованные смолы позиционируются как термостойкие, при допировании металлопорошками и нанесении на тканевую основу, полученные слои не отвечают требованиям ГОСТ для защитной одежды. Введение в полимерную композицию полифосфатов в концентрации 5-8 масс. % оказалось неэффективным, и только при концентрации 10-15 масс. % замедлителя горения удастся получить достаточно огнестойкую систему. Наиболее перспективными представляются сложносоставные композиции антипиренов с добавками органических полифосфинатов и триамина.

Огневые испытания показали, что комплексные аммонийно-фосфинатные и триазиново-полифосфатные огнезащитные композиции при введении в алюмосодержащие силиконовые и силоксановые смолы позволяют достичь требуемой по ГОСТ стойкости к горению для композитного изделия на текстильной основе при содержании не более 10 масс. %.

Далее нами были подробно исследованы термические превращения оксодиазольной подложки со слоем светоотражающей металлосодержащей силиконовой или карбосилоксановой смолы при добавлении замедлителей горения в полимерное связующее. Обнаружено, что для всех вариантов полимерных связующих при введении замедлителей горения в их состав наблюдается существенное увеличение остаточной массы образцов после термолиза, смещение 2 экзоэффекта в более высокотемпературную область и исчезновение 3-его экзоэффекта, Табл., Рис. Однако наиболее эффективными ожидаемо оказались комплексные замедлители горения



Таблица – Термические характеристики огнезащитного арселона с нанесением металлосодержащего полимерного слоя

| № | Обработка                                      | 1-й экзоэф-фект, Дж/г | 2-й экзоэф-фект, Дж/г | 3-й экзоэф-фект, Дж/г | Σ Тепловыдел ение, Дж/г | Остаток массы, % |
|---|------------------------------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-------------------------|------------------|
| 1 | Исходный материал                              | 522,9                 | 555,2                 | 631,4                 | 13489                   | 5,25             |
| 2 | Силиконовая смола без добавок                  | 526,2                 | 648,0                 | 747<br>921*           | 12821                   | 28,01            |
| 3 | Силиконовая смола + 5 % меламина               | 526,5                 | 623,3                 | Нет                   | 11160                   | 14,32            |
| 4 | Силиконовая смола +10 % полифосфинат           | 421,3                 | 572,4                 | 631,2                 | 12640                   | 17,51            |
| 5 | Силиконовая смола +10 % аммонийный полифосфат  | 522,7                 | 567,0                 | 631,5                 | 12156                   | 19,52            |
| 6 | Силоксановая смола + 5 % меламина              | 523,7                 | 612,0                 | Нет                   | 12715                   | 23,09            |
| 7 | Силоксановая смола +10 % аммонийный полифосфат | 527,5                 | 559,4                 | 616,3                 | 9296                    | 32,25            |

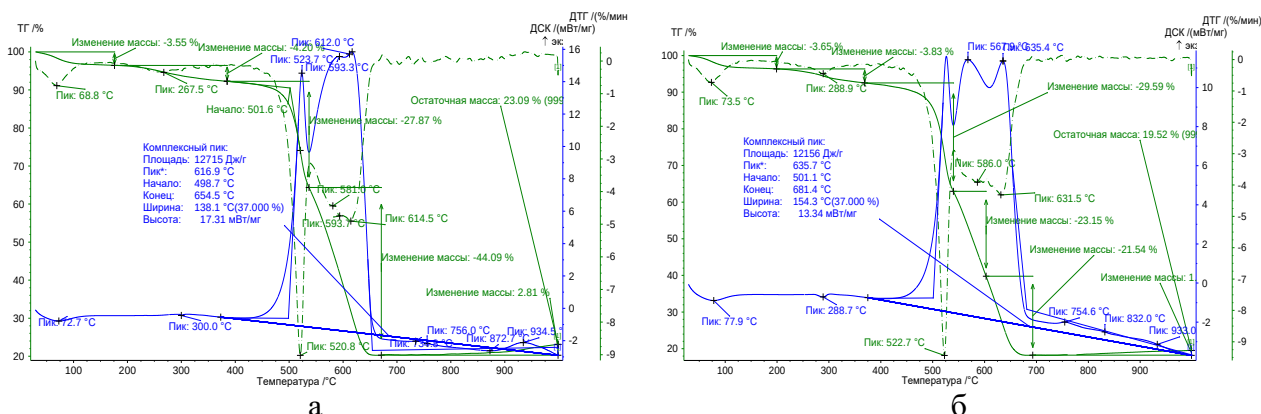


Рисунок – ДТА- кривые для оксодиазольного материала со слоем металлосодержащей смолы: а – полисилоксановой, допированной меламинам; б – полисилоксановой, допированной аммонийными полифосфинатами

Таким образом, в случае обработки оксодиазольного материала требуется полимерную композицию с оптимальной концентрацией замедлителей наносить только на предварительно пропитанный антипиреном материал.

## ЛИТЕРАТУРА

1. О.В. Рева, Д.В. Криваль, А.В. Врублевский Металлосодержащие композитные огнестойкие слои на текстильных подложках // Современные методы и технологии создания и обработки материалов: Сб. научных трудов ФТИ НАН Беларуси. В 2 кн. Кн. 1., 2022.- С. 229-240.
2. О.В. Рева, Д.В. Криваль Механическое нанесение светоотражающих металлосодержащих огнестойких слоев на арселоновую ткань // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация: сборник материалов IX Международной научно-практической конференции, посвященной 65-летию создания первого в Республике Беларусь научного подразделения в области предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций и пожаров ; редкол. : Ю.С. Иванов [и др.]. – Минск, 2021. – 376 с. С. 205-211.

**ВОЗМОЖНОСТИ И ПЕРСПЕКТИВЫ НЕЙРОМОДЕЛИРОВАНИЯ В ОБЛАСТИ  
ЭКОЛОГИИ**

*Борзенец Д. В., Загрекова А. А., Кувик И. А.*

Фролов А. В., канд. биол. наук, доцент

Минский государственный лингвистический университет

Нейро моделирование – использование искусственного интеллекта для создания моделей, имитирующих сложные системы и процессы и формирующих на этой основе оценки и выводы, в настоящее время всё больше проникает в самые разные сферы науки и практики. Это связано как с повсеместным нарастанием объёмов подлежащих анализу и оценке информации и данных, так и с возросшими возможностями современных компьютерных средств и технологий в их обработке. По мнению специалистов, нейро моделирование применимо едва ли не во всех областях человеческого знания [1 и др.]. При этом одной из значимых и перспективных сфер его реализации несомненно является область экологии. И исследований по применению нейро моделирования для анализа и поиска путей решения различных экологических проблем в последние годы появляется всё больше [2, 3 и др.]. Однако можно заметить, что в отдельных литературных источниках, посвящённых анализу потенциала нейро моделирования в различных областях знания, его возможности и перспективы в области теории и практики охраны окружающей среды порой оказываются затенёнными, и сфера экологии иногда не относится авторами к ряду основных направлений его современного использования. Исходя из этого, мы попытались сделать собственное обобщение данных о возможностях и оценить перспективы применения нейро моделирования в этой области.

Наблюдение за окружающей средой, включающее сбор, обработку и, на этой основе, прогностическую оценку комплекса актуальных данных является и, по-видимому, будет оставаться не просто трудоёмким, но даже всё более усложняющимся процессом. Помочь в котором способны искусственные нейросети, лежащие в основе нейро моделирования. Искусственные нейросети проектируются таким образом, чтобы их работа была схожей с функционированием человеческого мозга. Они обучаются на основе огромного количества учитываемых данных поиску и нахождению во всём их массиве закономерностей. Будучи способными обрабатывать колоссальные объёмы разнообразных данных – от предоставляемых спутниковыми снимками до химического состава почвы, проектируемые нейросети могут находить в системе информации такие скрытые и трудноуловимые закономерности, которые крайне сложно выявить традиционными методами.

Исходя из этого можно делать вывод, что в области экологии нейро моделирование, в частности, вполне может улучшить точность прогнозов изменений в природной среде, в том числе развития природных катаклизмов. От таких постепенных изменений как повышение уровня моря или воды в поверхностном водоёме, до распространения в природных системах пожаров и проявлений стихийных бедствий. Это, например, позволит своевременно и лучше готовиться к предупреждению и ликвидации последствий природных чрезвычайных ситуаций. Это также может быть продуктивно и полезно в разработке систем мер по минимизации потерь природных ресурсов. Например, уменьшению потерь в сельском хозяйстве воды, используемой для полива, либо снижению выбросов в природную среду загрязнителей. Кроме того, нейро моделирование может также позволить максимально точно прогнозировать протекание регенеративных процессов в природе, таких как восстановление

лесов, коралловых рифов или водоёмов, благодаря чему может достигаться наиболее точный учёт полученных результатов в планировании и осуществлении конкретных мер проводимой природовосстановительной практики. К примеру, на основе всего комплекса данных о выбросах загрязнителей в воздух мегаполиса, перемещения в его пределах воздушных масс, движения транспорта нейромодели способны предлагать оптимальное расположение зелёных зон и промышленных предприятий в рамках городских территорий, находить варианты целесообразной корректировки транспортных потоков.

При этом развитие открытых платформ искусственного интеллекта, одним из подходов к созданию которого как раз и являются нейросети, позволит сделать как его инструменты, так и получаемые с его помощью данные доступными для специалистов во всём мире, включая регионы с ограниченными ресурсами. Кроме того, нейромодели, функционируя в реальном времени, могут обеспечивать оперативность и своевременность доведения информации до заинтересованных лиц и органов для своевременного принятия обоснованных и целесообразных решений. Что, в частности, важно, в борьбе с теми же техногенными экологическими катастрофами, например, с разливом нефти, или с проявлениями экстремальных погодных явлений.

В качестве перспективных целей практики нейромоделирования в области экологии, по нашему мнению, также следует назвать возможное создание моделей, полезных для сокращения выбросов парниковых газов и, в целом, уменьшения загрязнения окружающей среды, для разработки стратегий адаптации экосистем и общества к вероятным изменениям климата, для своевременного и максимально точного информирования общества и его руководящих структур о реальном состоянии окружающей среды, перспективах развития протекающих в природной среде процессов и возможных способах её защиты.

Таким образом, использование нейромоделирования в современной экологической науке и практике способно результативно помогать решению широкого круга актуальных прикладных задач. Будучи нужным и перспективным направлением научно-практической деятельности, по нашему мнению оно требует активизации. При этом, однако, развивая использование искусственного интеллекта в сфере экологии, следует не забывать такой экологически негативный аспект этой практики, как сегодняшняя высокая энергозатратность используемых при этом технических устройств и систем [4]. Что, в частности, потенциально чревато ростом выбросов в атмосферный воздух углекислого газа, способствующего глобальному потеплению, как побочного продукта современной углеводородной энергетики. Поэтому требуются усилия по снижению энергозатратности необходимых для практики нейромоделирования высокопроизводительных компьютерных технологий.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Нейромоделирование – MoiKompas [Электронный ресурс]. – URL: <https://nauka.jofo.me/1685030-neyromodelirovanie-moikompas.html> (дата обращения: 17.04.2025).
2. Нейросети и экология [Электронный ресурс]. – URL: <https://everest-solution.com/articles/nejroseti-i-ekologiya/?ysclid=m9k4lrnc2d229745395> (дата обращения: 17.04.2025).
3. Василенко, М. А. Нейронные сети в решении экологических проблем развития транспортных услуг / М. А. Василенко, Е. Л. Кузина, Ю. А. Тагильцев [и др.] // Инновации и инвестиции. – 2023. – № 3. – С. 281-283.
4. Как нейросети помогают решать экологические проблемы [Электронный ресурс]. – URL: <https://tenchat.ru/media/1737814-kak-neyroseti-pomogayut-reshat-ekologicheskiye-problemy?ysclid=m9k4rzsqrwn298945197> (дата обращения: 17.04.2025).

# ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РЕГРЕССИИ LASSO ДЛЯ МИНИМИЗАЦИИ ТЕСТИРУЕМЫХ ПАРАМЕТРОВ КРОВИ В ОПРЕДЕЛЕНИИ ОНКОЛОГИЧЕСКИХ ЗАБОЛЕВАНИЙ

*Данилин А.Ю., Силивончик Н.В.*

Чещевик В.Т., к.б.н., доцент

Полесский государственный университет, Пинск

**Введение.** Онкологические заболевания (ОЗ) остаются основной причиной заболеваемости и смертности во всем мире. Традиционные методы диагностики ОЗ часто являются дорогостоящими и требуют много времени. Изменения в параметрах крови, вызванные болезнью, могут существенно повлиять на различные аспекты биоанализа. Врачи нередко фокусируются на явно аномальных параметрах, что может привести к игнорированию множества других данных тестов и взаимосвязей между лабораторными показателями, что, в свою очередь, может снизить диагностический потенциал этих тестов. [1]. Поэтому крайне важно изучать референтный диапазон и характеристики вариации гематологических и биохимических показателей для раннего выявления предотвращаемых факторов риска и ранней диагностики ОЗ, особенно показателей, связанных с метаболическим здоровьем, чтобы помочь врачам в выявлении ОЗ на ранней стадии. Исходя из изученной литературы можно предположить, что для выявления наиболее критичных параметров ОЗ может подойти метод регрессии LASSO [2].

Алгоритмы на основе машинного обучения широко используются в принятии клинических решений. Из них оператор наименьшего абсолютного сжатия и выбора LASSO является одним из наиболее часто используемых алгоритмов, и его клиническая эффективность была продемонстрирована ранее [3].

Регрессия LASSO – это метод линейной регрессии, который включает регуляризацию для предотвращения переобучения модели. Этот подход особенно полезен в ситуациях, когда количество предикторов (исследуемых параметров) значительно превышает количество наблюдений, или когда предикторы сильно взаимоскоррелированы [4].

Регрессия LASSO включает штраф к функции потерь, пропорциональный абсолютным значениям коэффициентов. Это приводит к "сжатию" коэффициентов, в результате чего некоторые из них могут стать равными нулю, что позволяет автоматически отбирать наиболее важные переменные. Таким образом, регрессия LASSO способствует выявлению значимых предикторов [5, 6].

В связи с этим целью настоящей работы является изучение возможности применения метода регрессии LASSO для сокращения тестируемых параметров крови, необходимых для диагностики и раннего определения онкологических заболеваний.

**Материалы и методы исследования.** Материалом для исследования явилась сыворотка крови 65 человек: 30 условно-здоровых людей (УЗЛ) в качестве контрольной группы и 35 пациентов с ОЗ. Предметом исследования являются 42 параметра крови, которые были разделены на 3 группы (биохимические показатели – 24, гематологические показатели – 10, метаболические показатели – 8). Статистическую обработку данных осуществляли с помощью пакета программ R статистики (v4.3.3). С использованием пакета stats (v4.3.3) проводили первичную обработку данных. С использованием пакета caret (v4.3.3) проводили построение регрессионной модели машинного обучения с регуляризацией по методу LASSO. Модель принималась достоверной при уровне значимости  $p < 0,05$ .

**Результаты исследования и их обсуждение.** В результате исследования было построено 4 модели с использованием регрессии LASSO. Три модели с использованием каждой из 3 групп показателей (биохимических, гематологических и метаболических) и одна модель с совместным использованием показателей всех групп. По результатам исследования было выявлено, что модель, построенная с использованием метаболических показателей не имела статистически значимых отличий от случайных предсказаний ОЗ, при этом модели

построенные с использованием биохимических и гематологических показателей крови, а также модель с совместным использованием показателей всех групп показали хорошие показатели согласия (0,907, 0,999 и 0,999, соответственно) и уровня статистической значимости ( $p=0,0002$ ,  $p<0,0001$  и  $p<0,0001$ , соответственно).

**Заключение.** Результаты исследований показывают, что для диагностики и раннего определения ОЗ целесообразнее использовать биохимические и гематологические показатели крови. Однако данное исследование имело ряд ограничений, связанных с количеством выборки и методов построения моделей, что может повлиять на обобщаемость выводов.

Исследования проведены при финансовой поддержке Министерства образования Республики Беларусь (договор № 65 от 05.05.2021) в рамках ГПНИ «Биотехнологии-2» (Рег. № НИР 20241017).

## ЛИТЕРАТУРА

1. Wang, Q. Nomogram established on account of Lasso-Cox regression for predicting recurrence in patients with early-stage hepatocellular carcinoma / Q. Wang [et al.] // Front Immunol. – 2022. – Vol. 13, № 10. – P. 234–247.
2. Niu X, Chang T, Zhang Y, Liu Y, Yang Y, Mao Q. Variable screening and model construction for prognosis of elderly patients with lower-grade gliomas based on LASSO-Cox regression: a population-based cohort study / X. Niu [et al.] // Front Immunol. – 2024. – Vol. 15, № 5. – P. 20–27.
3. Ichimasa, K. Artificial intelligence may help in predicting the need for additional surgery after endoscopic resection of T1 colorectal cancer / K. Ichimasa [et al.] // Endoscopy. – 2018. – Vol. 50, № 3. – P. 230–240.
4. Ronzio, L. Has the Flood Entered the Basement? A Systematic Literature Review about Machine Learning in Laboratory Medicine / L. Ronzio [et al.] // Diagnostics. – 2021. – Vol. 11, № 2. – P. 372–384.
5. Panjiyar, B. K. A Systematic Review: Do the Use of Machine Learning, Deep Learning, and Artificial Intelligence Improve Patient Outcomes in Acute Myocardial Ischemia Compared to Clinician-Only Approaches? / B. K. Panjiyar [et al.] // Cureus. – 2023. – Vol. 15, № 8. – P. 245–257.
6. Chen, L. The emerging roles of machine learning in cardiovascular diseases: a narrative review / L. Chen [et al.] // Ann Transl Med. – 2022. – Vol. 10, № 10. – P. 610–622.

## ПРАКТИЧЕСКАЯ ЗНАЧИМОСТЬ ОПРЕДЕЛЕННОГО ИНТЕГРАЛА В ЗАДАЧАХ ВОЕННОЙ ЭКОЛОГИИ

*Медведев Д.Н.*

Дикарева О.Н., канд. техн. наук

ВУНЦ ВВС ВВА имени Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина

Одной из центральных тем высшей математики младших курсов технических вузов, в том числе военных, выступает тема: «Интегральное исчисление функций одной и нескольких переменных». При освоении учебного материала у курсантов возникает потребность понимать нужность и область применения изучаемых математических инструментов, целесообразность и эффективность их использования на практике. Данная работа ставит целью показать некоторые применения определенного интеграла и его приложений при решении задач военной экологии.

Выберем в качестве примера задачи оценки экологии в зоне боевых действий с целью определения количественных и качественных характеристик различных параметров.

### 1. Оценка загрязнения.

Определение и анализ уровня загрязнения воды и воздуха являются одной из главных задач военной экологии. Использование химического оружия, сброс отходов с военных баз и

другие действия в зонах конфликта могут оказать серьезное воздействие на экосистему. Необходим регулярный мониторинг качества воды и воздуха в таких районах, во-первых, для контроля допустимых нормативов, и во вторых, для выработки решений по устранению негативных последствий.

Приведем примеры использования определенного интеграла для решения задач данной направленности.

Пример 1.

Предположим, известна функция  $F(x)$ , определяющая зависимость концентрации загрязняющего вещества (например, тяжелых металлов или химических веществ) от удаленности от источника загрязнения  $x$ . Выбирая границы интервала (например,  $a$  и  $b$ ), в пределах которого требуется оценить общее загрязнение  $H$ , можно решить поставленную задачу с помощью формулы:

$$H = \int_a^b F(x)dx \quad (1)$$

Пример 2.

Допустим, что методами математического моделирования получена функция концентрации загрязняющегося вещества в воздухе, меняющаяся во времени  $G(t)$ , где  $t$  – время в часах. Требуется оценить среднюю концентрацию загрязнения воздуха во временной интервал  $(t_1 - t_2)$ . Воспользуемся формулой:

$$\overline{G} = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} G(t)dt \quad (2)$$

2. Оценка воздействия на здоровье.

Задачи данной группы, при решении которых могут быть использованы методы интегрирования, включают анализ воздействия радиации, расчет дозы лекарств, риски для населения, прогнозирование заболеваний и другие.

Пример 3.

Если известно, что риск заболеваний (например, от отравления или инфекций) пропорционален некоторой функции  $R(x)$ , где  $x$  – расстояние от источника риска, то с помощью определенного интеграла можно получить оценку общего риска для населения в определенной области.

3. Анализ влияния на биоразнообразие.

Военные действия могут негативно влиять на биоразнообразие регионов. Используя интегралы, можно оценить изменение численности популяций различных видов до и после конфликтов. Это позволит более точно оценить ущерб экосистемам и разработать меры по восстановлению.

Приведенный анализ подтверждает целесообразность и практическую значимость использования инструментов математического анализа, и в частности, определенного интеграла в задачах военной экологии.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Войтенкова Н.Н. Определение экологических и экономических последствий военных конфликтов в рамках изучения прикладных аспектов экологии / Н.Н. Войтенкова // Среда, окружающая человека: природная, техногенная, социальная: Сб. материалов VI МНПК студентов, аспирантов и молодых ученых. – Брянск, 2017. – С. 262-265.

2. Сафаров В.Р. Последствия военных действий на экологию / В.Р. Сафаров, К.Ю. Никишин // Неделя науки – 2024: Сб. материалов Всероссийской НПК. – Сибай, 2024. С. 422-424.

3. Волкова В.О. Военная экология: необходимость и актуальность в современных условиях / О.В. Волкова // Актуальные проблемы права, экономики и управления: Сб. материалов студенческой научной конференции. – Саратов, 2021. С. 370-373.

# **ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ: НАЦИОНАЛЬНЫЕ ИНТЕРЕСЫ И НЕОБХОДИМОСТЬ ПРАВОВОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ**

*Некрашевич Д.Д.*

Малаш Н.И., старший преподаватель

Академия управления при Президенте Республики Беларусь

Экологическая безопасность – состояние защищенности окружающей среды, жизни и здоровья граждан от угроз, возникающих в результате антропогенных воздействий, а также факторов, процессов и явлений природного и техногенного характера [1]. Основополагающие цели в области охраны окружающей среды, отражающие их индикаторы и показатели, приоритетные направления деятельности, механизмы их реализации и ожидаемые результаты определены Стратегией в области охраны окружающей среды Республики Беларусь на период до 2035 года, утвержденной 24 декабря 2021 г. приказом Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь. Национальные интересы в экологической сфере определены в проекте новой Концепции национальной безопасности Республики Беларусь, одобренной Советом Безопасности Республики Беларусь 6 марта 2023 г. и вынесенной на общественное обсуждение с привлечением представителей научного и экспертного сообщества в целях информирования населения и широкого освещения в информационном пространстве ее основных положений.

К национальным интересам в экологической сфере относятся: обеспечение экологически благоприятных условий жизнедеятельности граждан; преодоление негативных последствий радиоактивного загрязнения территории страны и иных чрезвычайных ситуаций, реабилитация экологически нарушенных территорий; экологически ориентированное социально-экономическое развитие государства; устойчивое использование природно-ресурсного потенциала, а также сохранение биологического и ландшафтного разнообразия, экологического равновесия природных систем; адаптация к изменению климата [1].

Вопросы обеспечения экологической не могут быть решены только за счет рационального использования имеющихся ресурсов, природоохранной, восстанавливающей и созидательной экологической деятельности. Необходима переориентация ценностей каждого гражданина в отношении к окружающей среде. В числе правил экологического поведения человека в быту: переход от транспортных средств с двигателем внутреннего сгорания, потребляющих невозобновляемые ресурсы и загрязняющих окружающую среду, к более безопасным и экологически чистым видам автотранспорта. В области электротранспорта белорусские ученые разрабатывают экспериментальные образцы беспилотной техники. В их числе трактор «Беларус-А3523i», грузовой электромобиль МАЗ с полной локализацией электропривода белорусской разработки, электрический минивэн, каркасно-панельный электромобиль AcademicElectro, спортивный электрокар; электроскутер; опытно-промышленная партия электровелосипедов и мотоциклов. Ожидается, что доля электромобилей в национальном автопарке Беларуси к 2030 году может составить 14%, или 565 тыс. электромобилей, которые будут потреблять около 2,3 млрд кВт ч. [2, с.27].

По мнению экспертов, для человечества в последнее время особую опасность представляют экологические проблемы, возникшие в результате возрастания антропогенной нагрузки на окружающую среду, вызванной ростом промышленного производства в современном мире. Основные источники воздействий на окружающую среду связаны с энергетикой, химической промышленностью, транспортом, нефтехимией, жилищно-коммунальным хозяйством, интенсивным сельским хозяйством, неустойчивым ведением лесного хозяйства. Всемирная метеорологическая организация указывает на то, что в

ближайшие несколько лет человечество столкнется с еще большим потеплением атмосферы. Развязанная рядом западных стран и межгосударственных альянсов неприкрытая гибридная война против России и Беларуси, введение против Москвы и Минска грабительских санкций привели к глубоким потрясениям в мировой экономике. Многие страны, стремясь уменьшить свою зависимость от экспорта российских углеводородов, стали наращивать поставки энергоресурсов из других источников и в ущерб экологии возобновили работу старых электростанций. Тем самым они приостановили выполнение своих обязательств по переходу к чистой энергетике.

Экологическая тематика интегрирована в учебные программы учреждений образования. Эффективно зарекомендовала себя такая форма внеклассной работы, как школьное лесничество. С 2019 года в белорусских школах реализуется инновационный проект «Зеленые классы белорусской столицы». Для получения статуса «зеленого класса» необходимо желание изучать чуть глубже природу не менее десяти учащихся. Такие ребята получают специальные значки, а 17 учитель – сертификат «зеленого класса». «Зеленые классы» организуются на базе учреждений образования, которые располагаются вблизи экологических троп и других природных объектов [3, с.61].

Активно проводится информационно-разъяснительная работа. Реализуются республиканские и региональные проекты. Ежегодно проводятся свыше 20 республиканских акций и конкурсов природоохранной направленности («Час Земли», «День Матери-Земли», «День без автомобиля», «Посади свое дерево», «Вместе за чистую и зеленую страну», «Чистый водоем», конкурсы на лучшее обустройство и содержание мест пользования поверхностными водными объектами для рекреации, спорта и туризма и др.). С 1 марта 2023 г. стартовала новая экологическая кампания «Мирный созидательный труд во благо чистой и зеленой страны!».

В Республике Беларусь проделана масштабная работа для оздоровления окружающей среды. Однако в целях обеспечения экологической безопасности еще предстоит решить много проблем. Охрана окружающей среды и экологическая безопасность постоянно находятся в сфере пристального внимания белорусского руководства. Вопросы обеспечения экологической безопасности нашли отражение в проекте обновленной Концепции национальной безопасности Республики Беларусь. Как отметил Глава государства на заседании Совета Безопасности Республики Беларусь 20 февраля 2023 г.: «Адаптация Концепции национальной безопасности под реалии сегодняшнего дня – вполне логичный и очень своевременный шаг» [2, с.83].

В Концепции определен широкий спектр главных угроз национальной безопасности Республики Беларусь на сегодняшний день и в будущем. Таким образом, государственная Концепция указывает нам сферы деятельности, где требуется и правовое обеспечение национальной безопасности.

**Заключение.** В качестве неотложных мер по правовому обеспечению экологической безопасности Республики Беларусь следует считать разработку и принятие Концепции правового обеспечения экологической безопасности Республики Беларусь; разработку и реализацию Концепций экологизации производств, территорий, городов, населенных пунктов на отраслевом, региональном и локальном уровнях; принятие долгосрочных республиканских, отраслевых и локальных планов действий по рациональному использованию природных ресурсов и охраны окружающей среды.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Концепция национальной безопасности Республики Беларусь [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.pravo.by/text.asp?RN=P31000575>.
2. Национальный план действий по рациональному использованию природных ресурсов и охране окружающей среды Республики Беларусь на 2000 – 2010 годы // М-во природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь. – Минск: РУП «БелНИЦ «Экология», 2006. – 124 с.
3. Экологическое право: учебн. пособие / С.А. Балащенко [и др.]; под ред. Т.И. Макаровой, В.Е. Лизгаро. – Минск: БГУ, 2008. – 379 с.



# ОПТИМИЗАЦИЯ ВЫДЕЛЕНИЯ МИТОХОНДРИАЛЬНОЙ ДНК ИЗ ТРОМБОЦИТОВ ДЛЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИ ОРИЕНТИРОВАННЫХ МОЛЕКУЛЯРНО-ГЕНЕТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

*Силивончик Н. В., Данилин А. Ю.*

Чещевик В. Т. канд. биол. наук, доцент

Полесский государственный университет

**Введение.** В рамках комплексного экологического мониторинга важно учитывать состояние митохондрий – ключевых биоэнергетических, биосинтетических и сигнальных органелл эукариот, несущих собственный геном и отвечающих за выработку АТФ через окислительное фосфорилирование. Повреждение митохондрий под воздействием загрязнителей способно нарушить клеточный гомеостаз и привести к целому ряду патологических процессов. Тромбоциты, лишённые ядра, но содержащие функциональные митохондрии, представляют собой удобную модель для изучения таких эффектов: они активно участвуют в воспалительной и стресс-ответных реакциях и дают возможность оценить эпигенетические изменения и вариабельность числа копий мтДНК при действии экологических факторов [1].

Исследования показывают, что загрязнители окружающей среды, такие как тяжёлые металлы, полициклические ароматические углеводороды и твёрдые частицы, могут изменять число копий мтДНК и её метилирование, особенно в митохондриях тромбоцитов. Это делает тромбоцитарную мтДНК уникальной мишенью для оценки биологических последствий загрязнений. Более того, из-за высокой плотности митохондрий и отсутствия механизмов защиты, подобных ядерной ДНК (например, гистонов), мтДНК накапливает повреждения быстрее, что может приводить к митохондриальной дисфункции и запуску патологических процессов [2; 3].

Учитывая вышеописанное, особенно актуальным является наличие воспроизводимых методов выделения чистого препарата мтДНК из тромбоцитов, пригодных для последующего количественного и качественного молекулярно-биологического анализа.

**Материалы и методы исследования.** Выделение мтДНК осуществляли из 1000 мкл замороженной плазмы тромбоцитов, которую, в свою очередь, получали центрифугированием цельной крови человека при 100 g в течение 20 мин, в 3,8 % цитратом натрия в качестве антикоагулянта. Осаждение тромбоцитов проводили в течение 15 минут при 5000 g. В случае использования незамороженной плазмы следует вызвать гемолиз эритроцитов добавлением к осадку тромбоцитов 1 мл дистиллированной воды, его ресуспензированием, и добавлением после этого 0,6 М NaCl для остановки гемолиза, и провести осаждение в течение 30 секунд при 14500 g; затем провести 3-х кратную промывку стерильным физиологическим раствором путем ресуспензирования осадка тромбоцитов и его центрифугированием 30 секунд при 14500 g [4].

Для лизиса тромбоцитов в модифицированном буфере Кавасаки (50 mM KCl, 10 mM Tris-HCl pH 8,3, 2,5 mM MgCl<sub>2</sub>) добавляли либо 1% Triton X-100, либо 1% Tween 20 – по двум параллельным протоколам, каждый в трёх независимых повторностях. К суспензии добавляли 96 мкл буфера, тщательно перемешивали обратным пипетированием, затем вносили 4 мкл протеиназы К (10 мг/мл) и инкубировали при 60 °C в течение 3 ч [5].

После лизиса в пробирку вносили 100 мкл 6 М NaCl и 200 мкл смеси хлороформ:изоамилового спирта (24:1). Перемешивали в течение минуты, и далее центрифугировали 15 минут при 15000 об/мин и 4 °C. Супернатант (150–160 мкл) переносили в новую пробирку, добавляли 600 мкл холодного (–20 °C) 96 % этанола и перемешивали до образования тонкой взвеси – признака осаждения мтДНК. Для усиления преципитации пробирку на 10–15 мин помещали в морозильник (–20 °C), после чего центрифугировали 10 минут при 15000 g и 4 °C.

Осадок трижды промывали 200 мкл 70 % этанола, затем подсушивали 10 мин при 37 °С и ресуспендировали в 25 мкл стерильной деионизованной воды.

**Результаты исследования и их обсуждение.** При применении Triton X-100 средний выход ( $\approx 17,5$  нг/мкл) почти в полтора раза превышает таковой при использовании Tween 20 ( $\approx 11,4$  нг/мкл) (таблица 1). Это свидетельствует о более эффективном разрушении липидных мембран тромбоцитов и митохондрий Triton X-100, что позволяет получать больше целевой ДНК. Коэффициенты чистоты в среднем в обоих случаях (1,71 и 1,74) укладываются в общепринятый диапазон 1,7–2,0, характерный для ДНК, пригодной для большинства молекулярно-биологических процедур.

Таблица 1 – Сравнение выхода мтДНК тромбоцитов в зависимости от используемого детергента

| Образец | Детергент    | Концентрация ДНК, нг/мкл | Чистота ДНК |
|---------|--------------|--------------------------|-------------|
| А       | Triton X-100 | 16,1                     | 1,71        |
| Б       |              | 18,3                     | 1,71        |
| В       |              | 18,1                     | 1,71        |
| Г       | Tween 20     | 9,1                      | 1,81        |
| Д       |              | 11,3                     | 1,70        |
| Е       |              | 13,7                     | 1,71        |

**Заключение.** Протокол выделения митохондриальной ДНК из тромбоцитов показал приемлемую воспроизводимость и обеспечение образцов необходимого качества для молекулярно-генетических исследований экологического профиля. Для максимизации выхода мтДНК и повышения точности оценки ее копийности в клетках рекомендуется применять лизисный буфер, содержащий детергент Triton X-100, т. к. это обеспечивает вероятно более эффективный лизис мембран тромбоцитов и митохондрий при сохранении требуемого уровня чистоты экстракта.

Исследования проведены при финансовой поддержке Министерства образования Республики Беларусь (договор № 65 от 05.05.2021) в рамках ГПНИ «Биотехнологии-2» (Рег. № НИР 20241017).

## ЛИТЕРАТУРА

1. Sun, H. Platelet Mitochondrial DNA Methylation as Epigenetic Biomarker of Short-Term Air Pollution Exposure in Healthy Subjects / H. Sun [et al.] // *Frontiers in Molecular Biosciences*. – 2022. – Vol. 8. – A. 803488.
2. Avilés-Ramírez, C. Effects of exposure to environmental pollutants on mitochondrial DNA copy number: a meta-analysis / C. Avilés-Ramírez [et al.] // *Environmental Science and Pollution Research International*. – 2022. – Vol. 29, № 29. – P. 43588–43606.
3. Roubicek, D. A. Mitochondria and mitochondrial DNA as relevant targets for environmental contaminants / D. A. Roubicek, N. C. de Souza-Pinto // *Toxicology*. – 2017. – Vol. 391. – P. 100–108.
4. Biagini, G. Mitochondrial DNA in platelets from aged subjects / G. Biagini [et al.] // *Mechanisms of Ageing and Development*. – 1998. – Vol. 101. – P. 269–275.
5. Sandy, M. S. PCR Analysis of Platelet mtDNA: Lack of Specific Changes in Parkinson's Disease / M. S. Sandy [et al.] // *Movement Disorders*. – 1993. – Vol. 8, № 1. – P. 74–82.

# УСТАНОВКА ПОЖАРОТУШЕНИЯ СО СТВОЛОМ ГЕТЕРОФАЗНОЙ ПОДАЧИ ОГNETУШАЩИХ ВЕЩЕСТВ

Скакалин Г.Д.

Журов М.М., к.т.н., доцент

Университет гражданской защиты МЧС Беларуси

За последние 10 лет Республика Беларусь столкнулась с различными вызовами в области безопасности и охраны окружающей среды. В условиях развития промышленности и изменения климата увеличивается количество чрезвычайных ситуаций (далее – ЧС), включая техногенные и природные пожары [1, 2]. Пожары представляют собой одну из наиболее серьезных и разрушительных угроз, способных нанести значительный ущерб как человеческим жизням, так и материальным ценностям. Пожары вызывают серьезные социальные и экономические последствия. Анализ статистических данных по количеству ЧС и погибшим на них людей в период с 2015 по 2024 годы представлен на рисунке 1.

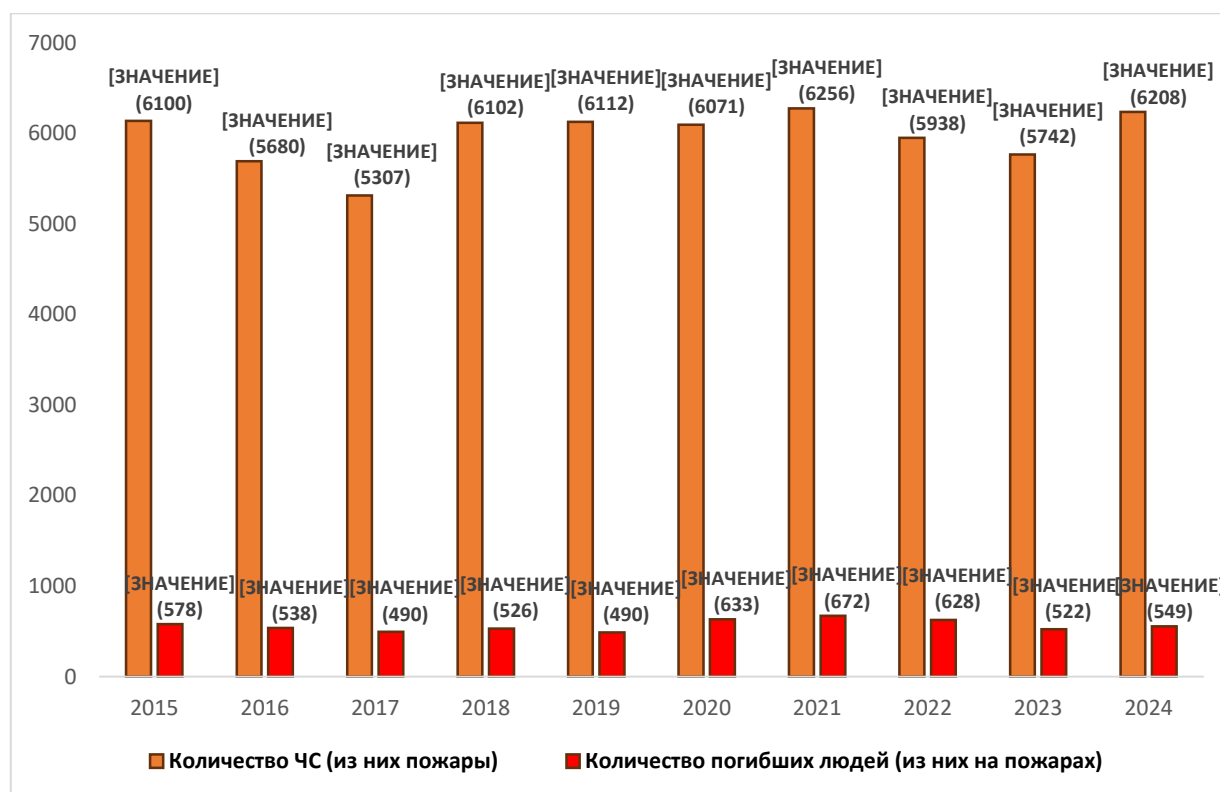


Рисунок 1 – Число ЧС и погибших на них людей

В последние 10 лет количество пожаров от общего числа ЧС составляет 99,5–99,8 %, а число погибших людей на пожарах от общего числа погибших на ЧС – 98,9–100 % (рисунок 1). Поэтому успешная ликвидация пожаров, спасение людей и защита материальных ценностей являются актуальными и первостепенными задачами работников МЧС. Для решения данных задач необходимо обеспечить оперативность действий и повысить эффективность тушения пожаров.

Установка пожаротушения со стволом гетерофазной подачи огнетушащих веществ относится к области противопожарной техники, а именно к пожарным ручным стволам, и позволяет повысить эффективность тушения пожаров за счет подачи требуемых комбинаций

огнетушащих веществ. Внешний вид установки пожаротушения со стволом гетерофазной подачи огнетушащих веществ представлен на рисунке 2.



**Рисунок 2 – Внешний вид установки пожаротушения со стволом гетерофазной подачи огнетушащих веществ**

Установка пожаротушения позволяет подавать на тушение одновременно несколько гетерофазных огнетушащих веществ (комбинации огнетушащих веществ: вода, водные-эмульсии, порошковые составы, нейтральные газы) и за счет этого оказывать комплексное воздействие на очаг пожара.

#### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Гоман, П.Н. Анализ лесопожарной ситуации в Республике Беларусь / П.Н. Гоман // Лесохозяйственная информация. – 2024. – № 1. – С. 109–118.
2. Гоман, П.Н. Факторы, определяющие возникновение и распространение лесных пожаров в Республике Беларусь/ П.Н. Гоман // Труды БГТУ. Серия 1: Лесное хозяйство, природопользование и переработка возобновляемых ресурсов. – 2024. – № 1(276). – С. 22–30.

#### **РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ УСТАНОВКИ ПОЖАРОТУШЕНИЯ СО СТВОЛОМ ГЕТЕРОФАЗНОЙ ПОДАЧИ ОГNETУШАЩИХ ВЕЩЕСТВ**

*Скакалин Г.Д.*

Журов М.М., к.т.н., доцент

Университет гражданской защиты МЧС Беларуси

Уникальность установки пожаротушения со стволом гетерофазной подачи огнетушащих веществ заключается в возможности подавать для тушения требуемые комбинации огнетушащих веществ с разными агрегатными состояниями.

Известно, что в зоне горения возможно протекание одновременно гетерогенных и гомогенных реакций, которые могут уменьшать скорость протекания радикально-цепной реакции горения. С точки зрения кинетики радикально-цепных реакций выделяют четыре принципиальных группы реакций, участвующих в процессе [1]:

1) Реакции зарождения, приводящие к образованию свободных валентностей при взаимодействии насыщенных молекул;

- 2) Реакции продолжения цепей, в которых при взаимодействии радикала с насыщенной молекулой происходит образование нового радикала и новой насыщенной молекулы;
- 3) Реакции разветвления цепей, в которых взаимодействие радикала с насыщенной молекулой приводит к увеличению свободных валентностей;
- 4) Реакции обрывы цепей, при которых взаимодействие двух радикалов между собой либо радикала с поверхностью приводит к исчезновению свободной валентности.

С учетом проведённых ранее исследований [2, 3] нами изготовлена установка пожаротушения со стволом гетерофазной подачи огнетушащих веществ.

Для определения эффективности разработанной установки пожаротушения со стволом гетерофазной подачи огнетушащих веществ проведены сравнительные натурные испытания с установкой высокого давления со стволом RL-51 (рисунок 5). В качестве модельных очагов пожара использованы очаги, выполненные из 30 брусков древесины лиственных пород (береза) размером  $0,8 \times 0,1 \times 0,015$  м в количестве (класс А). Размеры очага  $0,8 \times 0,4 \times 0,8$  м. Время тушения принято близким продолжительности работы установки пожаротушения со стволом гетерофазной подачи и составило 30 с, т.к. объем баллона для огнетушащего вещества в установке пожаротушения со стволом гетерофазной подачи равен 50 л, а расход воды при давлении на стволе 7 атм. – 1,3 л/с.



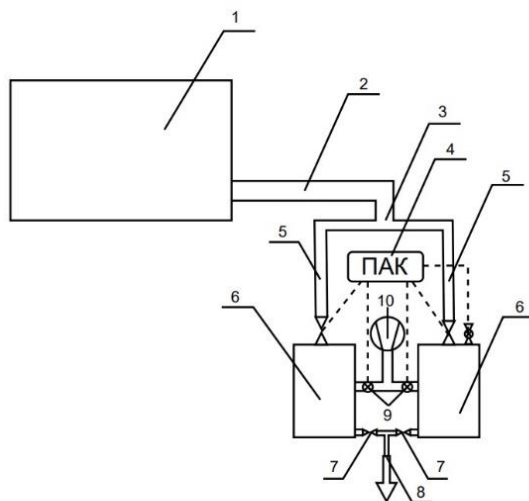
а) начало тушения



б) через 30 с

**Рисунок 1 – Натурные испытания установки пожаротушения со стволом гетерофазной подачи огнетушащих веществ и установки высокого давления со стволом RL-51 по тушению модельного очага пожара класса А**

В результате проведенных исследований визуально установлено, что разработанная установка пожаротушения по параметрам подачи огнетушащих веществ (дальность струи, факел распыла, расход) не уступает установке высокого давления со стволом RL-51. Вместе с тем за время испытаний (30 с) обе установки не обеспечили тушение модельных очагов пожара. Поэтому для увеличения времени работы разработанной установки пожаротушения целесообразным является ее модернизация, включающая применение двух емкостей для огнетушащего вещества и обеспечивающая их автоматическое заполнение из бака автоцистерны. Схема установки пожаротушения с автоматическим аспирационным способом подачи огнетушащего вещества представлена на рисунке 2.



**Рисунок 2 – Схема установки пожаротушения  
с автоматическим аспирационным способом подачи огнетушащего вещества**

Модернизированная установка пожаротушения с автоматическим аспирационным способом подачи огнетушащего вещества включает в себя две емкости (6), соединенных трубопроводами (2) с баком автоцистерны (1), тройник (3), компрессор (10), автоматические краны (5, 7), штуцер (8) и автоматические кран-клапаны (9). Для работы установки применяется программно-аппаратный комплекс (4), который обеспечивает попеременное заполнение емкостей и бесперебойную подачу огнетушащего вещества. Установка приводится в действия от компрессора (10), который закачивает под давлением воздух через автоматические кран-клапаны (9) в емкости для огнетушащего вещества (6). Далее из емкостей (6) через автоматические краны (7) и штуцер (8) огнетушащее вещество с помощью дополнительных шлангов подается в гетерофазный пожарный аспирационный ручной ствол.

Таким образом, модернизированная установка пожаротушения с автоматическим аспирационным способом подачи огнетушащего вещества позволяет увеличить время работы гетерофазного ствола и достичь успешного тушения пожара.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Семенов, Н.Н. Цепные реакции / Н.Н. Семенов. – М.: Наука, 1986. – 535 с.
2. Журов М.М., Кохановский Е.И. Гетерофазный распылитель ингибирующих и флегматизирующих огнетушащих составов / М.М. Журов, Е.И. Кохановский // Второй Республиканский форум молодых ученых учреждений высшего образования Республики Беларусь: сб. науч. тр. / М-во образования Респ. Беларусь, М-во науки и высшего образования Рос.Федерации, Белорус.-Рос. ун-т; редкол.: В. М. Пашкевич (общ. ред.) [и др.]. – Могилев: Белорус-Рос. ун-т, 2023. – 224 с.
3. Журов, М.М. Разработка конструкции устройства пожаротушения порошковыми составами / М.М. Журов, С.Г. Короткевич, О.М. Бусел, И.В. Лямцев // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация. – 2023. – № 1(53). – С. 62–69.

## ОБЩАЯ ЭКОЛОГИЯ. ОХРАНА ПРИРОДЫ

*Слесаренко А.А.*

Университет гражданской защиты МЧС Беларуси

Экология — это комплексная наука, изучающая взаимосвязи живых организмов (включая человека) с окружающей средой. В буквальном смысле её название означает «наука о доме», где под «домом» подразумевается вся биосфера Земли — глобальная система, объединяющая все экосистемы планеты. Современная экология также решает прикладные задачи, связанные с охраной природы, устойчивым развитием и минимизацией антропогенного воздействия на окружающую среду [1].

Биологическое разнообразие Беларуси включает около 14 тысяч видов растений, среди которых 4,1 тысячи видов высших растений с преобладанием 1,4 тысячи аборигенных видов, 442 вида мохообразных, 669 видов лишайников и более 9 тысяч видов низших растений, представленных водорослями и грибами. За последнее столетие зафиксировано исчезновение приблизительно 50 местных видов дикорастущих растений. Фауна страны насчитывает 76 видов млекопитающих, распределенных по шести отрядам, с наибольшим видовым разнообразием среди грызунов и летучих мышей, а также 332 вида птиц, из которых не менее 230 видов регулярно гнездятся на территории Беларуси. [2].

По состоянию на 1 января 2024 года в Республике Беларусь функционирует система особо охраняемых природных территорий, включающая 1335 объектов. В их состав входят один заповедник, четыре национальных парка, 374 заказника (99 республиканского и 275 местного значения), а также 956 памятников природы (322 республиканского и 634 местного значения). Совокупная площадь охраняемых территорий достигает почти 1,9 миллиона гектаров, что составляет 9,1% от общей площади страны [3].

Березинский биосферный заповедник - единственный заповедник в системе особо охраняемых природных территорий Беларуси, сохранивший уникальные природные комплексы южной тайги Европы. Основанный в 1925 году для охраны исчезающей популяции речного бобра, заповедник занимает площадь 85,2 тысячи гектаров на территории Витебской и Минской областей. Заповедник имеет международное признание как биосферный резерват ЮНЕСКО, отмечен Европейским дипломом природоохранных территорий, включен в список Рамсарских угодий. Также он признан ключевой ботанической территорией и важной орнитологической территорией международного значения [4].

Национальные парки Беларуси — это четыре уникальные природные территории, сохраняющие первозданные ландшафты и богатое биоразнообразие страны. Они сочетают охрану природы с возможностями для экологического туризма и оздоровительного отдыха. Здесь созданы условия для наблюдения за дикими животными в их естественной среде, активного отдыха и экологического просвещения. Национальные парки Беларуси: Национальный парк Припятский, Национальный парк Браславские озера, Национальный парк Нарочанский, Национальный парк Беловежская пуца [5].

Красная книга Беларуси ведет свою историю с 1981 года, когда было выпущено первое издание, содержавшее сведения о 80 видах животных и 85 видах растений. В настоящее время действует четвертое издание, представленное в двух томах: первый том включает 203 вида диких животных, второй - 303 вида дикорастущих растений. Таким образом, по сравнению с первоначальной версией, современная Красная книга значительно расширена и включает почти в три раза больше охраняемых видов флоры и фауны [6].

Беларусь богата полезными ископаемыми: калийные и каменные соли, доломит, мел, торф, сапропели, подземные воды. На их основе работают предприятия по добыче и переработке. Охрана недр включает рациональное использование, современные технологии добычи, рекультивацию земель и постоянный мониторинг. Это обеспечивает баланс между промышленным освоением и сохранением ресурсов для будущего [7].



Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды Беларуси реализует государственную политику по охране атмосферного воздуха и озонового слоя через разработку программ, координацию ведомств, принятие нормативных актов и контроль за выполнением природоохранных мероприятий [8].

Минприроды реализует государственную политику в сфере обращения с отходами, разрабатывая и контролируя соответствующие программы. Ведомство совместно с территориальными органами проводит более 10 тысяч проверок ежегодно, выявляя несанкционированные свалки, предотвращая захоронение вторичных ресурсов и контролируя соблюдение схем утилизации коммунальных отходов [9].

Беларусь обладает значительными водными ресурсами: более 20 тыс. водотоков, 10 тыс. озер, 6 тыс. прудов и 87 водохранилищ. Общие запасы составляют 61,2 млрд м<sup>3</sup> (58,9 млрд м<sup>3</sup> поверхностных и 2,3 млрд м<sup>3</sup> подземных вод). В 2023 году использовано 1,4 млрд м<sup>3</sup> (2,3% от запасов), включая 0,6 млрд м<sup>3</sup> поверхностных и 0,8 млрд м<sup>3</sup> подземных вод, что свидетельствует о рациональном водопользовании [10].

## ЛИТЕРАТУРА

1. Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://www.primadm.ru/GKH\\_1/ecology/](https://www.primadm.ru/GKH_1/ecology/). – Дата доступа: 20.04.2025.
2. Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://minpriroda.gov.by/ru/biolog-landsh-raznoobr-ru/>. – Дата доступа: 23.04.2025.
3. Энциклопедия "Беларусь" [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://belarusenc.by/belarus/detail-article.php?ID=7539#h1>. – Дата доступа: 22.04.2025.
4. Заповедный тур [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://zapovednytur.by/oopt/zapovednik/berezinskij-biosfernyj.html>. – Дата доступа: 23.04.2025.
5. Отпуск.by [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://otpusk.by/otdykh-v-belarusi/natsionalnye-parki/>. – Дата доступа: 19.04.2025.
6. Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://pravo.by/novosti/obshchestvenno-politicheskie-i-v-oblasti-prava/2025/february/>. – Дата доступа: 19.04.2025.
7. Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.minpriroda.gov.by/ru/minsyrbaza-ru/>. – Дата доступа: 21.04.2025.
8. Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.minpriroda.gov.by/ru/atmosf-ru/>. – Дата доступа: 21.04.2025.
9. Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.minpriroda.gov.by/ru/otxody-ru/>. – Дата доступа: 18.04.2025.
10. Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.minpriroda.gov.by/ru/vodnres-ru/>. – Дата доступа: 22.04.2025.



# О ВЛИЯНИИ МАТЕРИАЛОВ НА РАЗРЕШИМОСТЬ ЗАДАЧИ О ДЕФОРМАЦИИ ЗАЩИТНОЙ СЕТКИ

Шишкин М.С., Хахин А.И.

Белоглазова Т.В., кандидат физико-математических наук, доцент

ВУНЦ ВВС «ВВА имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)

В настоящее время одной из проблем экологической безопасности можно считать атаки дронов на объекты гражданской и военной инфраструктуры. Например, сброс боеприпасов на сооружения, связанные с хранением нефти, топлива и других химических веществ может вызвать значительное загрязнение окружающей среды и ее химическое заражение. Одним из методов защиты и предотвращения повреждений, вызванных нападениями БПЛА, является ограждение охраняемых объектов защитной сеткой от дронов. Надежность сетки, очевидно, зависит от материалов, из которых она изготовлена.

Рассмотрим задачу о деформации защитной сетки, исследуем условия разрешимости задачи с учетом качеств материалов сетки.

В качестве математической модели рассмотрим сеть из струн  $\Gamma$ . Функции  $q(x) > 0, \forall x \in \Gamma$  будут учитывать свойства материала, из которого изготовлена сеть.

Пусть функция  $u(x) \in \Gamma$  описывает форму сети в результате деформации.

Рассмотрим  $\Gamma = \gamma = (a_1, a_2)$  в  $\mathbb{R}^3$ . Пространственный отрезок  $\gamma = (a_1, a_2)$  назовем геометрическим графом  $\Gamma$  в  $\mathbb{R}^3$ . Концы отрезка  $[a_1, a_2]$  назовем граничными вершинами графа  $\Gamma$  и обозначим  $\partial\Gamma = \{a_1, a_2\}$ .

Пусть деформацию сетки вызывает сила, имеющая плотность  $f(\cdot): \Gamma \rightarrow \mathbb{R}$ , а смещение всех точек системы  $\Gamma$  от положения равновесия происходит вдоль вектора внешней силы.

На основе принцип минимизации потенциальной энергии системы получим краевую задачу:

$$\begin{aligned} -(q(x)u'(x))' &= f(x); \\ u(a_1) &= 0; u(a_2) = 0. \end{aligned} \quad (1)$$

Если сеть состоит из произвольного числа ребер  $R = \bigcup_{i=1}^n \gamma_i$ , то обозначив множество ребер, примыкающих к общей внутренней вершине через  $R(a), a \in J(\Gamma)$ , а множество граничных вершин через  $\partial\Gamma$ , тогда вся система – есть множество  $\Gamma = R \cup J(\Gamma)$ .

Минимизируя полную энергию системы после деформации, получим неоднородную краевую задачу:

$$\begin{aligned} -(q_i u_i')' &= f_i, \quad i = \overline{1, n}; \\ u(a) &= 0, \quad \forall a \in \partial\Gamma; \\ \sum_{\gamma \in R(a), a \in J(\Gamma)} u_\gamma(a+0) &= 0; \quad \sum_{\gamma \in R(a), a \in J(\Gamma)} q_\gamma u'_\gamma(a+0) = 0. \end{aligned}$$

Для различных видов материала  $q(x) > 0, \forall x \in \Gamma$  были установлены критерии разрешимости задачи (1).

Пусть эластичность струны постоянна, например,  $q(x) \equiv 1$ , тогда задача (1) однозначно разрешима при

$$\Delta = \begin{vmatrix} a_1 & 1 \\ a_2 & 1 \end{vmatrix} = a_1 - a_2 \neq 0.$$

Если упругость струны подчиняется линейному закону, то есть  $q(x) = kx + b, \left(x > -\frac{b}{k}, k \neq 0\right)$ , то критерий разрешимости задачи (1) находится из условия:

$$\Delta = \begin{vmatrix} \frac{1}{k} \ln |ka_1 + b| & 1 \\ \frac{1}{k} \ln |ka_2 + b| & 1 \end{vmatrix} = \frac{1}{k} \ln \left| \frac{ka_1 + b}{ka_2 + b} \right| \neq 0.$$

Тогда задачи (1) окажется невырожденной при условии:

$$\frac{ka_1 + b}{ka_2 + b} \neq 1.$$

А если  $q(x) = \frac{1}{kx + b}, \left(x > -\frac{b}{k}, k \neq 0\right)$ , то задача (1) будет разрешима, если

$$\Delta = \begin{vmatrix} k \frac{a_1^2}{2} + ba_1 & 1 \\ k \frac{a_2^2}{2} + ba_2 & 1 \end{vmatrix} = \frac{k}{2} (a_1^2 - a_2^2) + b(a_1 - a_2) = (a_1 - a_2) \left( \frac{k}{2} (a_1 + a_2) + b \right) \neq 0.$$

Критерий невырожденности для нее будет иметь вид:

$$\frac{k}{2} (a_1 + a_2) + b \neq 0.$$

Установление однозначной разрешимости задачи о деформации сети, состоящей из произвольного числа ребер, производится на основе доказательства ее невырожденности.

Неоднородную задачу называем невырожденной, если соответствующая ей однородная задача имеет только нулевое решение.

Было доказано, что однородная задача, соответствующая неоднородной задачи для произвольного числа ребер, имеет только нулевое решение. Таким образом, было установлено, что неоднородная задачи о деформации сети, состоящей из произвольного числа ребер однозначно разрешима при  $q(x) \in C^2(\Gamma), q(x) > 0, \forall x \in \Gamma$ .

## ЛИТЕРАТУРА

1. Белоглазова Т.В. О положительной обратимости разнопорядковых задач на графах/ кандидатская диссертация. // Воронеж, 2003. -128 с.

Научное издание

**ПРОБЛЕМЫ ЭКОЛОГИИ И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ. СОЗДАНИЕ  
НОВЫХ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Сборник материалов  
XII Международной заочной научно-практической конференции,  
посвященной Всемирному дню охраны окружающей среды

(5 июня 2025 года)

Ответственный за выпуск *О.В. Рева*,  
Компьютерный набор и верстка *В.В. Коваль*