

катализитические слои в один–два приема и значительно сократить расход катализитических благородных и редкоземельных металлов.

### **Список использованных источников**

1. M.F. Sgroi, F. Zedde, O. Barbera, A. Stassi, D. Sebastián, F. Lufrano, V. Baglio, A.S. Aricò, J.L. Bonde, M. Schuster // *Energies*. – 2016. – V 9, No. 12. – 1008. – 19 p. [doi:org/10.3390/en9121008](https://doi.org/10.3390/en9121008)
2. V.V. Poplavsky, T.S. Mishchenko, V.G. Matys // *Technical Physics*. – 2010. – V. 55, No. 2. – P. 296–302. doi:10.1134/S1063784210020222
3. D.M.F. Santos, J.R.B. Lourenço, D. Macciò, A. Saccone, C.A.C. Sequeira, J.L. Figueiredo // *Energies*. – 2020. – V. 13, No. 7. – P. 1658–1678. doi:10.3390/en13071658
4. V.V. Poplavsky, O.G. Bobrovich, A.V. Dorozhko, V.G. Matys // *J. Surf. Invest.: X-Ray, Synchrotron and Neutron Tech.* – 2022. – V. 16, No. 5 – P 727–733. doi:10.1134/S1027451022050160
5. V.V. Poplavsky, A.V. Dorozhko, V.G. Matys // *J. Surf. Invest.: X-Ray, Synchrotron and Neutron Tech.* – 2019. – V. 13. No. 6. – P. 1314–1322. doi:10.1134/S102745101905032X

УДК 628.196

**Д. Э. Пропольский**

Белорусский национальный технический университет  
Минск, Беларусь

### **АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ НАНЕСЕНИЯ ПОЛИФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПОКРЫТИЙ НА ПОВЕРХНОСТЬ ФИЛЬТРУЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ**

**Аннотация.** Важным этапом удаления железа из подземных вод является фильтрация через слой инертного материала. Для данных целей перспективным является применение в качестве катализитического слоя полифункциональных модифицированных материалов. Кроме того, это снижает затраты станций водоподготовки.

**D. E. Prapolski**  
Belarusian National Technical University  
Minsk, Belarus

## **ANALYSIS OF THE EFFECTIVENESS OF THE APPLICATION OF POLYFUNCTIONAL COATINGS ON THE SURFACE OF FILTER MATERIALS**

***Abstract.*** An important step in removing iron from groundwater is filtration through a layer of inert material. For these purposes, the application of polyfunctional modified materials as a catalytic layer is promising. It also reduces the costs of water treatment plants.

Актуальной задачей водоподготовки в Республике Беларусь является обезжелезивание подземных вод [1]. Обязательным условием эффективной работы имеющихся и строящихся станций обезжелезивание является учёт условий и особенностей каждого отдельно взятого водозабора (концентрация и форма Fe в источнике подземных вод, значение pH, жёсткости, щёлочности, содержание растворённого кислорода, возможный контакт с органическими веществами) [2]. В результате этого будет установлен наиболее актуальный для данной территории метод удаления железа.

Существующие методы обезжелезивания подземных вод [2] имеют в своём составе или требуют последующей этап фильтрации. Таким образом процесс удаления железа будет во многом зависеть от обоснованного выбора фильтрующего материала [3, 4]. Среди наиболее изученных и распространённых загрузок могут применяться кварцевый песок, антрацит, активированный уголь, цеолит.

Для увеличения показателей обезжелезивания подземных вод могут применяться полифункциональные модифицированные материалы. С помощью различных методов модификации могут изменяться и улучшаться физико-химические параметры исходной загрузки. Также в зависимости от разновидности покрытия полученный материал может приобретать новые свойства. Так нанесение покрытий из соединений Fe, Mn, Mg или Ca приводит к повышению эффективности обезжелезивания, а дополнительное покрытие из оксидов Cu, Ag, Ti или Zn – повышает инактивацию микроорганизмов на фильтрующем слое. Для получения такого материала могут использоваться дешёвые фильтрующие загрузки, а также выщелоченные соединения на основе переработанных отходов (осадков обезжелезивания подземных вод, осадков гальванических производств, отработанных батареек и т.д.). Всё это позволяет улучшить экологическое состояние окружающей среды путём вовлечения отходов в хозяйственный оборот и снизить затраты станций водоподготовки подземных вод.

В данной работе были проанализированы результаты синтеза полифункциональных модифицированных материалов [5] при использовании нескольких окислителей с комбинированием их концентраций в растворе и при различных восстановителях. Модификация образцов осуществлялась на поверхности антрацита с помощью метода экзотермического горения в растворах (SCS). В результате модификации проводилось нанесение сразу двух окислителей (оксида железа Fe и цинка Zn) при комбинировании концентраций растворов окислителей. Данные концентрации устанавливались в процентах от максимальной растворимости нитратов железа и цинка (от 5 до 30% с шагом 10%). В качестве восстановителя были рассмотрены лимонная кислота CA( $C_6H_8O_7$ ), мочевина U( $CH_4N_2O$ ) и уротропин НМТ ( $C_6H_{12}N_4$ ). По результатам анализа установлены максимальные концентрации и определены перспективные образцы для последующего исследования.

В образцах с использованием мочевины при минимальной концентрации нитрата железа (5%) и при любых концентрациях цинка (от 5% до 30%) вязкость обработанного материала менялась незначительно, что позволяло получать равномерные покрытия на поверхности антрацита. При последующем увеличении концентрации нитрата железа наблюдалось сильное затвердевание образцов в цельные агломераты.

Между тем при использовании лимонной кислоты подобное незначительное образование агломератов наблюдалось уже во всех образцах с концентрацией нитрата Fe равной 5%. Последующее увеличение концентрации нитрата железа приводило к аналогичному повышению вязкости и образования цельного агломерата. Исключением стали образцы 20%Fe + 5%Zn; 20%Fe + 10% Zn, 30% Fe + 5%Zn у которых вязкость повышалась незначительно.

Что касается образцов с использованием уротропина предельные концентрации нитратов цинка и железа составляло до 10% включительно.

После нанесения покрытий в растворах для укрепления образовавшегося сцепления необходимо проводить термическую обработку в муфельной печи при 600°C. В результате образцы приобретают соответствующую окраску в зависимости от преобладающего оксида металла: от изначального чёрного цвета антрацита при малых концентрациях до тёмно-бордового (для Fe) и светло-песчаного (для Zn).

Следует отметить, что термическая обработка приводила к уменьшению скрепления отдельных частиц антрацита между собой во

всех образцах и приводила к получению рассыпчатого конечного продукта, что является необходимым для его дальнейшей эксплуатации. Для образцов, которые ранее образовывали крупные агломераты из частиц антрацита с покрытиями (при концентрации Fe 10%-30% и Zn 20%-30%), наблюдалось обсыпание скрепляющей фазы покрытий между частицами в виде сухого порошкообразного остатка. Таким образом покрытие цинка оказывало меньшее скрепляющее действие между частицами ангидрита с модифицированным покрытием. Также технология производства рассмотренных материалов с использованием представленных окислителей (Fe, Zn) и восстановителей (СА, U, НМТ) не сможет быть реализована при превышении установленных выше концентраций за счет нецелесообразности более высокого расхода реагентов, технических возможностей перемешивающих агрегатов и больших экономических затрат.

Последующий более детальный анализ полученных образцов полифункциональных модифицированных материалов возможен после лабораторного исследования их поверхностных свойств. Кроме того, это позволит определить наиболее перспективные образцы для исследования эффективности обезжелезивания подземных вод [2]. Также следует отметить, что использование полифункциональных модифицированных материалов в качестве каталитического слоя фильтров позволит увеличить эффективность работы станций обезжелезивания.

### **Список использованных источников**

1. Prapolski D., Romanovski V. Resent advances in underground water deironing and demanganization: Comprehensive review // Journal of Water Process Engineering. – 2025. – Т. 70. – С. 107089.
2. Romanovski V. et al. Comparative analysis of the disinfection efficiency of steel and polymer surfaces with aqueous solutions of ozone and sodium hypochlorite // Water. – 2024. – Т. 16. – №. 5. – С. 793.
3. Пропольский, Д. Э. Обзор достижений водоподготовки в области деферризации и деманганации подземных вод / Д. Э. Пропольский // Водоснабжение и санитарная техника. – 2025. – №1. – С. 18–26. DOI: 10.35776/VST.2025.01.03.
4. Пропольский, Д. Э. Фильтрующие материалы для обезжелезивания и деманганации подземных вод: критерии подбора, разновидности и условия применения / Д. Э. Пропольский //

Водоснабжение и санитарная техника. – 2025. – №4. – С. 10–19. DOI: 10.35776/VST.2025.04.02.

5. Пропольский, Д. Э. Полифункциональный модифицированный уголь для очистки подземных вод / Д. Э. Пропольский, В. И. Романовский // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. – 2020. – №. 4. – С. 103-111.

УДК

**Н.А. Степанова, О.И. Киселева, М.А. Боеv**  
ГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»  
Москва, Россия

## **ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА И ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ЭЛЕКТРОИЗОЛЯЦИОННЫХ КОМПАУНДОВ**

**Аннотация.** Предложено усовершенствование конструкции пазовой изоляции посредством внедрения композиционного материала «Термомат», пропитаного электроизоляционным компаундом. Проведены сравнительные испытания четырех типов компаундов: КП-303Н, Элласт-155 ИД, Элласт-180 ИД и ПК-11. Оценивались термостойкость, вязкость, скорость отверждения, электрические изоляционные свойства и цементирующая способность. Оптимальным признан компаунд КП-303Н благодаря превосходящей термоустойчивости, стабильности механических свойств при высоких температурах, отличным электроизоляционным характеристикам и приемлемым временем отверждения.

**N.A. Stepanova, O.I. Kiseleva, M.A. Boev**  
National Research University «MPEI»  
Moscow, Russia

## **PRODUCTION TECHNOLOGY AND INVESTIGATION OF PROPERTIES OF ELECTRICAL INSULATION COMPOUNDS**

**Abstract.** It is proposed to improve the design of the grooved insulation by introducing a composite material "Thermomat" impregnated with an insulating compound. Comparative tests of four types of compounds were carried out: KP-303N, Elplast-155 ID, Elplast-180 ID and PK-11. Heat resistance, viscosity, curing rate, electrical insulation properties, and cementing ability were evaluated. KP-303N compound is considered optimal due to its superior thermal stability, stability of mechanical properties at high temperatures, excellent electrical insulation characteristics and acceptable curing time.