

## **Наукові основи розширення фонду джерел водозабезпечення населення, усунення загроз національній безпеці України в екологічній сфері**

### **Scientific bases of expansion of the fund of sources of water supply of the population, elimination of threats to national security of Ukraine in the ecological sphere**

- 1. Номер державної реєстрації теми - 0122U001686**
- 2. Науковий керівник – д.т.н., проф. Гомеля М. Д., Gomelya Nikolay D.**
- 3. Суть розробки, основні результати.**

**(укр.)**

В об'ємі роботи проведено аналіз водозабезпечення жителів Донецької області, інших регіонів України природними та антропогенними джерелами води, придатними для подальшої обробки, визначено хімічний склад вод різноманітного походження, визначення можливості їх додаткової обробки для надання споживчих властивостей. Запропоновано можливі методи попередньої обробки води, що забезпечують тривалу та безперебійну роботу баромембранних установок. Досліджено ефективність використання в процесах попередньої обробки води механічного освітлення, знебарвлення та пом'якшення. Визначено залежність ефективності мембран від мінералізації води та запропоновано умови її підвищення. Вивчено особливості застосування для стабілізаційної обробки води різних типів катіонітів. Досліджено процеси переробки концентратів з використанням сполук барію, гідроксоалюмінату натрію, гідроксохлоридів алюмінію. Вивчено використання металевого алюмінію в процесах видалення сульфатів із водних розчинів. Детально досліджено електрохімічні методи переробки концентратів з використанням електролізерів різних конструкцій. Запропоновано процеси опріснення концентратів при одночасному вмісті іонів жорсткості, хлоридів та сульфатів. Розглянуто переробку розчинів хлоридів натрію в трикамерному електролізері із залізним анодом. Розроблено процеси концентрування розчинів хлориду натрію при переробці концентратів баромембранного очищення води. Сформовано наукові засади використання матеріалів з капілярними властивостями в технологіях розділення фаз і визначено основні фактори впливу на їх ефективність. Обґрунтовано та запропоновано технологію обробки скопу та активного мулу в процесах розділення фаз з використанням матеріалів з капілярними властивостями. Розглянуто процеси інтенсифікації випаровування фізичними методами з використанням матеріалів з капілярними властивостями. Розроблено кілька конструкцій апаратів для упарювання концентратів та знешкодження їх шляхом кристалізації. Розроблено комплексну технологічну схему водозабезпечення маловодних регіонів.

**(англ.)**

In the scope of the work, an analysis of the water supply of residents of the Donetsk region and other regions of Ukraine with natural and anthropogenic sources of water suitable for further processing was carried out, the chemical composition of waters of various origins was determined, and the possibility of their additional processing to provide consumer properties was determined. Possible methods of pre-treatment of water are proposed, which ensure long-term and uninterrupted operation of baromembrane installations. The effectiveness of using mechanical clarification, decolorization and softening in water pretreatment processes has been investigated. The dependence of membrane efficiency on water mineralization was determined and the conditions for its increase were proposed. The peculiarities of the application for water stabilization treatment of various types of cations have been studied. The processes of processing concentrates using barium compounds, sodium hydroxoaluminate, and aluminum hydroxochlorides were studied. The use of metallic aluminum in the processes of removing sulfates from aqueous solutions has been studied. Electrochemical methods of processing concentrates using electrolyzers of various designs have been studied in detail. The processes of desalination of concentrates with the simultaneous content of hardness ions, chlorides and sulfates are proposed. The processing of sodium chloride solutions in a three-chamber electrolyzer with an iron anode is considered. The processes of concentrating sodium chloride solutions during the processing of concentrates for baromembrane water purification have been developed. The scientific principles of using materials with capillary properties in phase

separation technologies have been formed and the main factors affecting their effectiveness have been determined. The technology of processing scum and activated sludge in phase separation processes using materials with capillary properties is substantiated and proposed. The processes of intensification of evaporation by physical methods using materials with capillary properties are considered. Several designs of devices for evaporation of concentrates and their neutralization by crystallization have been developed. A complex technological scheme for water supply in low-water regions has been developed.

#### **4. Наявність охоронних документів на об'єкти права інтелектуальної власності.**

- Патент на корисну модель 150381 «Кристалізатор». Мікульонок І.О., Радовенчик Я.В., Трус І.М., Галиш В.В. - Опубл. 09.02.2022, бюл. № 6.
- Заявка № u 2023 03710 від 01.08.2023 на КМ "Спосіб одержання цементів загальнобудівельного призначення", Гомеля М.Д., Трус І.М., Галиш В.В., Макаренко І.М. стадія формальної експертизи.
- Заявка № u 2023 03858 від 11.08.2023 на КМ "Спосіб одержання цементів загальнобудівельного призначення, що містять осад знезалізнення води", Трус І.М., Галиш В.В., Макаренко І.М., Гомеля М.Д., стадія формальної експертизи.
- Заявка № u 2023 04342 від 14.09.2023 на КМ "Спосіб електрохімічного концентрування розчинів", Гомеля М.Д., Трус І.М., Крижанівська Я.П., Галиш В.В., Макаренко І.М. стадія попередня експертиза.
- Заявка № a 2023 04071 від 28.08.2023 на винахід "Спосіб електрохімічного отримання сірчаної кислоти", Гомеля М.Д., Трус І.М., Галиш В.В., Макаренко І.М., стадія попередня експертиза.
- Заявка № s 2023 00855 від 04.10.2023 на промисловий зразок "Фільтр для розділення рідкої та твердої фаз", стадія - попередня експертиза.
- Заявка № c 2023 07124 від 04.10.2023 на свідоцтво на авторське право. Зворотньоосмотичне вилучення хроматів із води, Гомеля М.Д., Трус І.М., Галиш В.В.
- Заявка № c 2023 07125 від 04.10.2023 на свідоцтво на авторське право. Зворотньоосмотичне опріснення води після її декарбонізації та попереднього механічного доочищення, Гомеля М.Д., Трус І.М., Галиш В.В.
- Заявка № c 2023 07126 від 04.10.2023 на свідоцтво на авторське право. Нанофільтраційне опріснення слабомінералізованих декарбонізованих вод, Гомеля М.Д., Трус І.М., Галиш В.В.

#### **5. Порівняння зі світовими аналогами.**

Отримані результати відповідають світовому рівню, а підходи до знешкодження шахтних та інших стічних вод з їх попередньою обробкою для часткового знесолення та наступна переробка елюатів дозволяють збільшити відбір перміату до 90 – 95 %, що не реалізується сьогодні на жодному підприємстві зарубіжжя і не має аналогів у світовій практиці водопідготовки. Такий підхід дозволяє забезпечувати якісною питною водою цілі регіони, використовуючи в якості сировини шахтні води та попереджаючи їх скид в гідросферу.

#### **6. Економічна привабливість для просування на ринок**

Впровадження у виробництво розроблених технологій використання шахтних та стічних вод для задоволення потреб господарсько – питного водопостачання шляхом попередньої підготовки води перед баромембранним знесоленням з наступною переробкою отриманих концентратів дозволить на 10 -15 % збільшити вихід якісної питної води, одночасно зменшивши відповідно кількість рідких відходів, що потребують додаткової обробки. В результаті такої комплексної обробки води її вартість може бути зменшена у 2 – 3 рази, що дозволить забезпечити регіони з дефіцитом питної води дешевою якісною водою. Собівартість отримання води питної якості із шахтних вод баромембранними методами складе 10 – 15 грн/м<sup>3</sup>.

#### **7. Потенційні користувачі (галузі, міністерства, підприємства, організації).**

Результати роботи можуть бути використані в інституті колоїдної хімії та хімії води НАН України, інституті «Укрводоканалпроект», на підприємствах міст Донбасу (ПАТ

“Алчевський металургійний комбінат), Приазов’я, Криму (Кримське республіканське підприємство "Кримводоканал", Виробниче підприємство Водопровідно-каналізаційного господарства м. Судак), що займаються процесами підготовки високоякісної питної води та очищення стічних вод і вже виявили зацікавленість в таких технологіях. Окремі елементи технологій легко впроваджуються на існуючих станціях водопідготовки міст і окремих підприємств, на станціях очищення шахтних та стічних вод.

#### 8. Стан готовності розробки.

Окремі елементи представленої роботи пройшли лабораторні та дослідно – промислові випробування із позитивними результатами. Синтезовані та випробувані реагенти для попередньої обробки води перед баромембранним очищенням, розроблені лабораторні зразки необхідного обладнання для електрохімічної переробки концентратів та їх упарювання, відпрацьовані відповідні технологічні рекомендації щодо ефективного застосування експериментальних зразків. Можлива розробка дослідно-промислових зразків нового устаткування, адаптація розроблених реагентів до технологічних процесів існуючих станцій водопідготовки та водоочищення.

#### 9. Існуючі результати впровадження.

Проведені успішні випробування розроблених реагентів та обладнання. Підтверджені їх висока ефективність та екологічна доцільність.

#### 10. Назва організації, телефон, e-mail

КПІ ім. Ігоря Сікорського, інженерно-хімічний факультет, кафедра екології та технології рослинних полімерів,  
236-60-82, [m.gomelya@kpi.ua](mailto:m.gomelya@kpi.ua)

#### 11. Фото розробки



Фільтр для розділення рідкої та твердої фаз

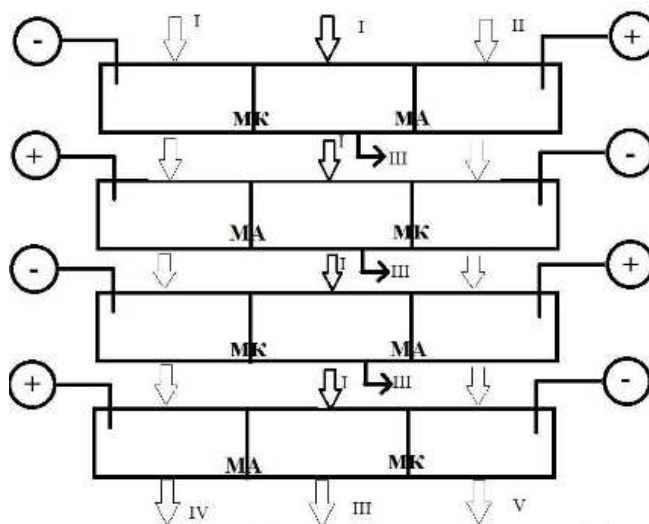


Схема електролізера для концентрування розчину NaCl, концентратів

## 12. Перелік публікацій за матеріалами досліджень за період виконання розробки

1. Water Supply and Wastewater Disposal: collective monograph / **Trus I., Gomelya M., Halysh V.,** Skiba M. Effect of stabilization treatment of water on the quality of its reverse osmotic desalination, 2022. 389 p., p. 324-337. <http://bc.pollub.pl/dlibra/publication/14017/edition/13675/content?ref=desc>
2. **Radovenchyk I.V., Trus I.M., Radovenchyk V.M., Gomelya M.D., Hlushchuk V.R.** A new method of disposal of concentrated solutions by crystallization of their components. Сталий розвиток: захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування: колективна монографія. – Київ: Яроченко Я. В., 2022 – 566, С. 424-451.
3. **Трус І. М., Твердохліб М. М., Галиш В. В., Гомеля М. Д.** Маловідходна технологія знезалізнення води: Екологія. Довкілля. Енергозбереження. 2023: колективна монографія / під ред. О. В. Степової. Полтава: НУПП імені Юрія Кондратюка. – 2023. – 246 с. – С. 171-183.
4. **Трус І.М., Галиш В.В., Гомеля М.Д.** Розробка методів переробки осадів та відпрацьованих біосорбентів для створення маловідходних технологій очищення води. – К.: Кондор-Видавництво, 2023. – 115. с. гриф Вченої ради КПІ ім. Ігоря Сікорського.
5. **Inna Trus, Mukola Gomelya,** Margarita Skiba, Tetiana Pylypenko, Tamara Krysenko. Development of Resource-Saving Technologies in the Use of Sedimentation Inhibitors for Reverse Osmosis Installations. J. Ecol. Eng. 2022; 23(1):– 206–215. DOI: <https://doi.org/10.12911/22998993/144075>
6. **Trus I., Radovenchyk I., Halysh V.,** Chuprinov E., Benatov D., Hlushko O., Sirenko L. Innovative Method for Water Deiron Ions Using Capillary Material. J. Ecol. Eng. 2022; 23(3):174–182. <https://doi.org/10.12911/22998993/145467>
7. **Halysh V., Trus I., Radovenchyk V., Gomelya M.** 2022. Efficient biosorbents for wastewater treatment: preparation, characterization, utilization. Journal of Chemical Technology and Metallurgy. 57(2), 302–309. [https://dl.uctm.edu/journal/node/j2022-2/13\\_21-60\\_No2\\_302-309.pdf](https://dl.uctm.edu/journal/node/j2022-2/13_21-60_No2_302-309.pdf)
8. **Trus I.** Optimal conditions of ion exchange separation of anions in low-waste technologies of water desalination. Journal of Chemical Technology and Metallurgy. 2022, 57, 3, 550-558. [https://dl.uctm.edu/journal/node/j2022-3/14\\_21-57\\_br\\_3\\_pp\\_550-558.pdf](https://dl.uctm.edu/journal/node/j2022-3/14_21-57_br_3_pp_550-558.pdf)
9. **Trus I., Gomelya M.,** Levytska O., Pylypenko T. Development of Scaling Reagent for Waters of Different Mineralization. Ecol. Eng. Environ. Technol. 2022; 4:81–87. DOI: <https://doi.org/10.12912/27197050/150201>
10. **Trus I., Gomelya M.** Low-waste technology of water purification from nitrates on highly basic anion exchange resin. Journal of Chemical Technology and Metallurgy, 57, 4, 2022, 765-772. [https://dl.uctm.edu/journal/node/j2022-4/14\\_21-93\\_br4\\_2022\\_pp765-772.pdf](https://dl.uctm.edu/journal/node/j2022-4/14_21-93_br4_2022_pp765-772.pdf)
11. **Radovenchyk I., Trus I.M., Halysh V.,** Krysenko T. Methods of processing liquid waste concentrates using materials with capillary properties // Journal of Chemical Technology and Metallurgy. – 2022. – №57(5). – P. 946–952. [https://dl.uctm.edu/journal/node/j2022-5/8\\_21-179\\_2022\\_br5\\_pp946-952.pdf](https://dl.uctm.edu/journal/node/j2022-5/8_21-179_2022_br5_pp946-952.pdf)
12. **Trus I., Gomelya M., Tverdokhlib M., Halysh V., Radovenchyk I.,** Benatov D. Purification of Mine Waters Using Lime and Aluminum Hydroxochloride. Ecol. Eng. Environ. Technol. – 2022. – № 5. – P. 169–176. DOI: <https://doi.org/10.12912/27197050/152104>
13. **Radovenchyk I., Trus I.M., Halysh V. Radovenchyk V.,** Chuprinov E. A new method of disposal of concentrated solutions by crystallization of their components. Naukovyi Visnyk Natsionalnogo Hirnychoho Universytety. – 2022. – №3. <https://doi.org/10.33271/nvngu/2022-3/044>
14. Halysh V. Starch modification to ensure resource savings and environmental safety in the production cardboard from waste paper / **V. Halysh, I. Trus, M. Tverdokhlib,** Y. Nosachova, T. Krysenko, O. Hlushko, V. Ploskonos, **V. Radovenchyk, M. Gomelya** // Journal of Ecological Engineering. – 2022. – № 23(11). – P. 68-75. <https://doi.org/10.12911/22998993/153393>

15. Halysh V. Application of paper mill sludge and additional chemical substances in the production of container cardboard / **V. Halysh, I. Trus, I. Radovenchyk**, T. Shablii, A. Ivanchenko, A. Nikolaichuk, & **N. Gomelya** // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2022. – № 5(6-119). – P. 22-29. [doi:10.15587/1729-4061.2022.265112](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.265112)
16. Trus I. M. Removal of sulfates from aqueous solution by using red sludge / **I. M. Trus**, Y. P. Kryzhanovska, **M. D. Gomelya** // Journal of Chemistry and Technologies. – 2022. – 30(3). – P. 431-440. <https://doi.org/10.15421/jchemtech.v30i3.256912>
17. Trus I. The use of coagulants from industrial waste in water treatment processes / **I. Trus, M. Gomelya**, Y. Kryzhanovska // Journal of Chemical Technology and Metallurgy. – 2023. – № 1(58). – P. 178-186. [https://journal.uctm.edu/node/j2023-1/JCTM\\_2023\\_58\\_19\\_22-81\\_pp178-186.pdf](https://journal.uctm.edu/node/j2023-1/JCTM_2023_58_19_22-81_pp178-186.pdf)
18. Trus I. Applications of antiscalants in circulating water supply systems / **I. Trus, M. Gomelya** // Journal of Chemical Technology and Metallurgy. – 2023. – 58, 2. – P. 360-366.
19. Trus I. Low waste technology for the removal of nitrates from water / **I. Trus, M. Gomelya, V. Halysh, M. Tverdokhlib, I. Makarenko**, T. Pylypenko, Y. Chuprinov, D. Benatov H. Zaitsev // Archives of Environmental Protection. – 2023. – № 49 (1). – P. 74-78.
20. Trus I. M. Low-waste technologies of ion-exchange extraction of phosphates from solution / **I. M. Trus**, Y. P. Kryzhanovska, **M. D. Gomelya** // Journal of Chemistry and Technologies. – 2023. – 31(1). – P. 61-71. <https://doi.org/10.15421/jchemtech.v31i1.262743>
21. Trus I. M. Using filter loading for iron removal from water / **I. M. Trus, M. M. Tverdokhlib, M. D. Gomelya**, A. S. Taranenko // Journal of Chemistry and Technologies. – 2023. – 31(2). – P. 334-343. <https://doi.org/10.15421/jchemtech.v31i2.277434>
22. **Radovenchyk I.**, Ivanenko O., Karpenko M., **Radovenchyk V.** Removal of Iron Compounds from Mechanical Filters of Household Reverse Osmosis Systems Water Purification // Ecological Engineering & Environmental Technology 2023, 24(6), 163–172 <https://doi.org/10.12912/27197050/168097>
23. Vakulenko A. Efficiency of Reverse Osmosis and Ion Exchange in Water Purification from Nitrates / **Mykola Gomelya**, Tetyana Shablii, **Iryna Makarenko**, Anna Vakulenko // Journal of Ecological Engineering, 2022. – №23(10). - P. 172 – 180.
24. Vakulenko A. Establishing a dependence of the efficiency of low-pressure reverse osmotic membranes on the level of water mineralization / **Mykola Gomelya**, Anna Vakulenko, **Iryna Makarenko**, Tetyana Shablii // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2022. – № 4/10 (118). – P. 14 – 23.
25. Vakulenko A. Determining the Efficiency of Reverse Osmosis in the Purification of Water from Phosphates / **Mykola Gomelya**, Tetyana Shablii, **Iaroslav Radovenchyk**, Anna Vakulenko // Journal of Ecological Engineering, 2023. – №24(2). - P. 238 – 246.
26. Vakulenko A. Application of low-pressure reverse osmosis membranes for softening of drinking water / **Mykola Gomelya**, Tatyana Shablii, **Yaroslav Radovenchyk**, Anna Vakulenko // 2023
27. **Твердохліб М., Трус І., Гомеля М., Толстенкова К.** Дослідження процесів очищення води від йонів мангану при використанні розчинів натрій гіпохлориту // Технічні науки та технології. – 2022. – №1(27). – С. 152–160. <http://tst.stu.cn.ua/article/view/259217>
28. **Галиш В.В., Дейкун І.М., Трус І.М., Радовенчик В.М., Гомеля М.Д.** Вуглецеві сорбенти з пероцтового лігніну // Вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імення Ігоря Сікорського» Серія «Хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження». – 2022. – № 3. – С. 69–76. <https://doi.org/10.20535/2617-9741.3.2022.265362>
29. **Гомеля, М. Д., Трус, І. М., Твердохліб, М. М., & Камаєв, В. С.** (2022). Залежність ефективності іонообмінного виділення іонів марганцю із води від типу і форми іоніту та її жорсткості. Вісник НТУУ “КПІ імені Ігоря Сікорського”. Серія: Хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження, (4), 65–72. <https://doi.org/10.20535/2617-9741.4.2022.269788>
30. **Gomelya M., Trus I., Tverdokhlib M., Rudenko O.** Evaluation of the efficiency of sorbents-catalysts for the purification of water from manganese compounds // Вісник

- Хмельницького національного університету Серія: «Технічні науки». – 2022. – №6, т.1. – С. 234-239. <https://www.doi.org/10.31891/2307-5732-2022-315-6-234-239>
31. Гомеля М. Д. Дослідження вилучення фосфатів з води на зворотньоосмотичних фільтрах / М. Д. Гомеля, І. М. Трус, А. К. Вакуленко, А. С. Тараненко // Вісник НТУУ “КПІ імені Ігоря Сікорського”. Серія: Хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження. – 2023. – №2. – С. 60–68. <https://doi.org/10.20535/2617-9741.2.2023.283525>
32. Гомеля М. Д. Визначення ефективності вилучення сульфатів на зворотньоосмотичній мембрані низького тиску / М. Д. Гомеля, І. М. Трус, О. В. Глушко, І.М. Макаренко // Технічні науки та технології. – 2023. – № 2 (32). – С.261 –268. [https://doi.org/10.25140/2411-5363-2023-2\(32\)-261-268](https://doi.org/10.25140/2411-5363-2023-2(32)-261-268)
33. Трус І. М. Використання мембран зворотного осмосу низького тиску для вилучення хлоридів з води / І. М. Трус, М. М. Твердохліб, М. Д. Гомеля, І.М. Макаренко // Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського, Серія: Технічні науки. – 2023. – №34(73), 4. – С. –219-224. DOI <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2023.4/35>
34. Гомеля М. Д. Визначення ефективності очищення води від нітратів методом зворотнього осмосу / М. Д. Гомеля, І. М. Трус, А. К. Вакуленко, Д.С. Фатєєв // Вісник Хмельницького національного університету Серія: «Технічні науки». – 2023. – № 4. – С. 90-94.
35. Карпенко М.В., Радовенчик Я.В., Іваненко О.І. Видалення сполук заліза із механічних фільтрів побутових зворотньоосмотичних систем очищення води // Енергетика: економіка, технології, екологія, 2023. - № 2. – С. 127 – 132.
36. Хоменко, А. С., Гомеля, М. Д., Макаренко, І. М., & Шаблій, Т. О. (2022). Залежність корозійної активності водно-нафтових сумішей від характеристик водних середовищ. Вісник НТУУ “КПІ імені Ігоря Сікорського”. Серія: Хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження, (1), 62–69. <https://doi.org/10.20535/2617-9741.1.2022.25416>
37. Гомеля, М. Д., & Крижановська, Я. П. (2023). Концентрування розчинів хлориду натрію при переробці концентратів зворотньоосмотичного опріснення води. Вісник НТУУ “КПІ імені Ігоря Сікорського”. Серія: Хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження, (3), 85–93. <https://doi.org/10.20535/2617-9741.3.2023.288253>
- 38.

**13.** Ключові слова до розробки: *водозабезпечення, баромембранний процес, електролізер, концентрат, електрохімічне очищення, матеріали з капілярними властивостями*