

PACS numbers: 81.20.Ym, 87.50.-a, 87.85.Rs, 89.60.Ec, 92.20.jb, 92.40.kc

## **Ключові аспекти нанотехнологічного підходу в конструкторсько-технічному рішенні системи управління баластною водою на базі ДІ НУ «ОМА»**

Н. Тірон-Воробйова<sup>1</sup>, О. Іванов<sup>1</sup>, А. Данилян<sup>1</sup>, А. Жмудь<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ДІ НУ «ОМА»,  
вул. Фанагорійська, 9,  
68607 Ізмаїл, Україна

<sup>2</sup>Одеська національна академія харчових технологій,  
вул. Канатна, 112,  
65039 Одеса, Україна

Велику зацікавленість у наш час привертають системи очищення баластної води (БВ). Адже в процесі дебаластування судна вода з танків протікає крізь фільтри та піддається обробленню тільки ультрафіолетом (УФ-установкою), що не відповідає прийнятому в 2017 р. розділу D-2 (стандарт, що визначає якість морської БВ — максимальну кількість життєздатних організмів, які можуть міститися в БВ) згідно з Конвенцією Міжнародної морської організації (ІМО). Підвищені вимоги до очищення БВ призводять до подорожчання морських і річкових перевезень, різко збільшують ставку фрахту перевезеної тони вантажу. У зв'язку з цим сьогодні гостро стоїть завдання з підвищення якості очищення та пониження його вартості. В даній статті запропоновано розгляд ключових аспектів нанотехнологічного підходу конструкторсько-технічного рішення системи управління БВ на базі ДІ НУ «ОМА». Умови здійснення способу знезараження й очищення БВ знайдено експериментально. Поставлену задачу вирішено двома винаходами, поєднаними винахідницьким задумом. У першому винаході поставлене завдання вирішено методом знезараження й очищення БВ, що передбачає введення у неї окиснювача та подальше оброблення ультрафіолетовим випроміненням. У другому винаході поставлену задачу вирішено установкою для знезараження й очищення БВ, що містить поєднані між собою технологічними трубопроводами баластовий танк-резервуар для змішування БВ з окиснювачем, пристрій для оброблення БВ ультрафіолетовим світлом і фільтр тонкого очищення, а саме, тим, що, на відміну від прототипу, вона додатково містить дозатор реагентів, фільтр грубого очищення, баластний насос і блок високочастотного електрогідролічного удару. Електрогідролічний удар приводить до знищення інвазій і хвороботворних штамів. Саморозвантажувальний

фільтер з нановуглецевими вставками уможливило робити відсів твердих елементів і мікроорганізмів в ізольованій БВ. Перевага саморозвантажувального фільтра полягає в забезпеченні установці по знезараженню й очищенню БВ високий рівень знищення інвазій. Чому конструкція саморозвантажувального фільтра для очищення БВ є оптимальною? Відповідь достатньо проста: збільшивши розміри фільтрувальних елементів, ми збільшуємо пропускну здатність обробленої БВ. А також, згідно з дослідженнями та розробками нанотехнологій, вони знаходяться в стані підйому в гонитві за оригінальними та корисними речами, і в той час, коли відбувається зліт фабричного виробництва, зовсім мало робиться для того, щоб гарантувати безпеку суспільству та навколишньому середовищу.

Great interest in our time is paid to the ballast water (BW) treatment system. Indeed, in the process of decalibrating the vessel, the water from the tanks flows through the filters and is subjected to UV (ultraviolet) treatment only that does not comply with the BW under section D-2 (the Standard determining the quality of sea BW, i.e., the maximum number of viable organisms, which can be contained in BW) adopted in 2017 according to the IMO (International Maritime Organization) Convention. It must be admitted that the increased requirements for the cleaning of spent products lead to a rise in the cost of sea and river waterages, and the freight rate of a tonne of cargo is sharply increased. In this regard, today, the challenge is to improve the quality of treatment and reduce its cost. This article proposes the consideration of key aspects of the nanotechnological approach to the design and technical solution of the BW management system, based on the DI NU 'OMA'. The conditions for the implementation of the method of disinfection and purification of BW were found experimentally. The problem is solved by two inventions connected by an inventive concept. In the first invention, the task is solved by a method of disinfecting and cleaning BW, providing for the introduction of an oxidizing agent into it and subsequent treatment with ultraviolet radiation. In the second invention, the task is solved by the installation for disinfection and purification of BW, containing a ballast tank-tank connected to each other by technological pipelines for mixing the spent substance with an oxidizing agent, a device for processing the spent substance with ultraviolet light, and a fine filter, in which, unlike the prototype, it additionally contains a reagent dispenser, a coarse filter, a ballast pump, and a high-frequency electrohydraulic-shock block. Electrohydraulic shock leads to the destruction of invasions and pathogenic strains. A self-discharging filter with nanocarbon inserts allows screening of solid elements and microorganisms in isolated BW. The advantage of a self-discharging filter is that it provides a high level of destruction of invasions to the BW cleaning plant. Why is the design of a self-discharging filter for cleaning the BW optimal? The answer is quite simple: increasing the size of filtering elements, we increase the throughput of the processed BW. Moreover, according to the research and development of nanotechnology, they are on the rise in pursuit of the original and useful things, and at the time when the take-off of factory production takes place, very little is being done to guarantee the safety to the society and the envi-

ronment.

**Ключові слова:** баластна вода (БВ), Конвенція ІМО, стандарт D-2, морська індустрія, нанотехнології, саморозвантажувальний фільтер.

**Key words:** ballast water (BW), IMO Convention, D-2 standard, marine industry, nanotechnologies, self-discharging filter.

*(Отримано 11 липня 2020 р.)*

## 1. ВСТУП

Всі морські держави світового співтовариства з контролю над операціями з баластною водою (БВ) протягом останніх трьох десятиліть постійно вдосконалюють законодавчу базу щодо захисту своєї морської економічної зони від інвазійних живих істот у БВ суден.

Прийнятий на початку 2017 р. норматив оброблення БВ згідно з Конвенцією Міжнародної морської організації (International Maritime Organization—ІМО) по розділу D-2 (стандарт, який визначає якість морської БВ — максимальну кількість життєздатних організмів, що можуть міститися в БВ) посилив вимоги до очищення БВ.

Набір сили документом є важливим кроком у боротьбі за збереження навколишнього середовища. Живі істоти діаметром у 50 мкм і більше мають не перевищувати 10 одиниць на 1 м<sup>3</sup> води; більш дрібних істот (10–50 мкм) на 1 м<sup>3</sup> має бути менше 10 у БВ, яка скидається. Також лімітовано кількість бактерій у воді. Поряд з цими новими вимогами, посилюється контроль скидання БВ у прибережній зоні портів. Адміністрація портів для суден, які заходять, пропонує скидання БВ, що не відповідає нормативу стандарту D-2, в берегові ємності для подальшого очищення їх за певну плату. Відповідно до міжнародних норм щодо забезпечення контролю за скиданням БВ в прибережних водах (економічної зони), державні органи мають право здійснювати контроль за баластними операціями суден [1].

На сьогоднішній день офіційно до використання допущено понад 60 типів систем очищення БВ.

Установки каскадного типу компаній Wartsila (Фінляндія), Alfa Laval (Швеція), Siemens та ін. оснащено елементами багаторівневого очищення БВ. У цих установках широко використовуються механічні засоби очищення з численними пристроями хемічної, бактеріологічної та променевої енергій.

Велику зацікавленість у даний час звернено до системи очищення БВ Хайд Гардіан [2], по-перше, її простотою та, що дуже

важливо, економічністю. По-друге, система Хайд Гардіан цілком інтегрується в наявні суднові системи автоматичного управління та контролю. В ході баластування вода пропускається від кінгстона до баластних танків крізь обидва ступені оброблення із застосуванням установки з ультрафіолетовим (УФ) світлом і фільтром. Всі біологічні осади та включення, залучені в систему в ході баластування, промиваються та скидаються знову в море в цьому регіоні.

В процесі дебаластування судна вода з танків протікає скрізь фільтри та піддається обробленню тільки УФ-установкою. Прилади Хайд Гардіан автоматично фіксують усі характеристики баластних операцій; до того ж систему обладнано пробовідбірниками відповідно до Правила G-2 ІМО.

Щоб уникнути штрафних санкцій, спірних ситуацій, що виникають при скиданні БВ, весь процес очищення та видалення очищеної води за допомогою спеціальних давачів реєструється на опломбованому жорсткому диску судна. Треба визнати, що підвищені вимоги до очищення БВ призводять до подорожчання морських і річкових перевезень, різкого збільшення ставки фрахту перевезеної тони вантажу. У зв'язку з цим нині гостро стоїть завдання з підвищення якості очищення та пониження його вартості.

Відомий спосіб очищення баластних вод, відповідно до якого вихідна вода попередньо звільняється від великих фракцій у самоочисних короткоциклових фільтрах, змішується з пероксидом водню в струменевому апараті, обробляється ультразвуковою кавітацією, перекачується в баластні танки або накопичувальні ємності, де зберігається необхідний час, перед скиданням в навколишнє середовище повторно доочищується шляхом змішування з випускними газами двигунів внутрішнього згоряння або котлоагрегатів у струменевому апараті та знову обробляється ультразвуковою кавітацією (патент РФ № 2591965) [3].

Зазначений спосіб має наступні недоліки:

- тривалість процесу переробки, зумовлена багатостадійністю;
- наявність реакційних ємностей великого об'єму;
- незадовільні масогабаритні показники установок і комплексів;
- високе енергоспоживання;
- складність конструкції;
- складність управління й автоматизації.

Відомий також спосіб знезараження БВ, який передбачає забір БВ та подальше оброблення її озоном і УФ-опроміненням. Озон вводять з озоновмісної газової суміші або з суміші озону з прісною водою в морську БВ, яку знезаражують, безпосередньо перед подачею морської БВ у блок УФ-світлового опромінення. Озоновмісну газову суміш подають через барботажну пластину, розта-

шовану перпендикулярно до напрямку руху потоку морської БВ, яку знезаражують. Час від введення озону в потік морської БВ до виходу морської БВ з блоку УФ-світлового опромінення не перевищує 10 с. Озон вводять у кількості, що забезпечує концентрацію не більше 2 мг озону на 1 дм<sup>3</sup> оброблюваної морської води. Доза УФ-світлового опромінення озонованої морської БВ у блоці УФ-світлового опромінення знаходиться в діапазоні 100–200 мДж/см<sup>2</sup>.

Крім того, озонвмісну газову суміш або суміш озону з прісною водою подають у потік морської БВ, яку знезаражують, під кутом до напрямку його руху через форсунки, розташовані в потоці морської БВ на вході в блок УФ-світлового опромінення (патент РФ на винахід № 2500624) [4].

Даному способу притаманні такі недоліки:

— використання прісної води для змішування озону з морською БВ веде до подорожчання конструкції та високої витрати прісної води;

— відсів фільтра тонкого очищення не забезпечує локалізацію дрібних інвазій і спор шкідливих водоростей, оскільки він пропускає мікроорганізми у понад 50 мікрон.

Цей спосіб не може забезпечити вимоги стандарту D-2.

Крім того, відомий спосіб знезараження води шляхом знищення водних організмів, викладено в заявці на винахід РФ № 2008121929 [5]. Спосіб передбачає пропускання води з відкритого водного об'єкту через протяжну систему трубопроводів при однаковій витраті води у всіх точках системи та подальше направлення води в баластну цистерну судна. Воду проводять через систему трубопроводів різного діаметра; при цьому у воді створюється кавітація. Додатково воду пропускають через електроди, на які подається електричний струм, а також вводять в неї гази, зокрема озон.

Спосіб за заявкою РФ на винахід № 2008121929 має наступні недоліки.

1. Установа, яка використовується для здійснення даного способу, є дуже громіздкою за своєю конструкцією за рахунок великої довжини трубопроводу, де методом зміни прохідного перетину в різних точках трубопроводу створюється кавітаційне середовище. При «схлопуванні» кавітаційних бульбашок вивільняється теплова енергія й енергія гідродару, що вимагає захисту стінок трубопроводів і вбудованих агрегатів установки від кавітаційного руйнування.

2. В установці відсутній високий рівень відсіву мікроорганізмів у фільтрі тонкого очищення, що робить можливим викид живих мікроорганізмів за борт, які наявними (впровадженими) методами оброблення БВ не гарантують виконання вимог стандарта

рту D-2.

## 2. МАТЕРІЯЛИ ТА МЕТОДИ

### 2.1. Найпоширеніші способи оброблення водяного баласту до заявленого винаходу авторами статті

Найближчим до розробленого авторами статті винаходу є спосіб оброблення водяного баласту, викладений в описі міжнародної заявки WO 2010/149638 [6].

Спосіб передбачає кілька варіантів оброблення БВ. Відповідно до четвертого варіанту здійснення способу, БВ спочатку піддають фільтрації через фільтр тонкого очищення (мікрофільтр). Відфільтровану воду потім обробляють озоном. Після цього суміш (морська вода + озон) повертається в основний потік морської води та надходить у резервуар (закритий реактор), в якому витримується (знаходиться із витримкою) від 2 секунд до 8 хвилин. Після цього суміш морської води й озону подається в комбіновану установку, де обробляється ультрафіолетовим світлом для стерилізації та видалення озону.

Даний спосіб було обрано в якості прототипу.

Прототип і спосіб мають наступні спільні операції:

- фільтрація через фільтр тонкого очищення;
- оброблення БВ окиснювачем (у прототипі це — озон);
- оброблення суміші (БВ + окиснювач) УФ-світлом.

Прототипу притаманний істотний недолік — недостатня ефективність знезараження й очищення БВ. Це пояснюється наступними аргументами.

По-перше, не враховується швидкість реакцій озону з солями Брому, які містяться в морській воді, в результаті яких, з урахуванням часу приготування суміші озону з морською водою, концентрація озону в морській воді значно зменшиться перед введенням суміші в блок УФ-опромінення. Крім того, ні в описі, ні у формулі винаходу немає пояснення, якою методикою автори припускають утримувати озон у суміші з морською водою в умовах зазначеного вище механізму його швидкого розкладання.

По-друге, озон має сильне поглинання бактерицидного УФ-світла.

По-третє, додатковий характер блоку (УФ-світло + озон) вказує на його відносно низьку ефективність при самостійному використанні.

По-четверте, висока концентрація розчиненого у воді озону.

Відомі установки, системи, пристрої для знезараження БВ [7], наприклад, CN 101602562, RU 93057611, RU 2193015, RU 2468858, RU 85143, RU 2008121929 та ін.

Найбільш близьким до запропонованої авторами статті установки (системи управління водним баластом) є пристрій оброблення водяного баласту, що містить з'єднані між собою фільтрувальний блок тонкого очищення (мікрофільтер), генератор озону, реакційний резервуар для суміші: баластна вода + озон, комбіновану установку для оброблення УФ-світлом (див. опис міжнародної заявки WO 2010/149638 — четвертий варіант виконання).

Дане технічне рішення вибрано як прототип. Прототип і установка мають наступні спільні ознаки:

- баластний танк — резервуар (закрита ємність), в якій змішують і витримують БВ з окиснювачем (в прототипі це — озон);
- пристрій для оброблення БВ ультрафіолетовим світлом;
- фільтер тонкого очищення (в прототипі це мікрофільтер).

Пристрою за прототипом притаманні ті ж недоліки, що має спосіб-прототип, а саме, низька ефективність знезараження й очищення БВ, яка пояснюється зазначеними вище аргументами.

По-перше, не враховується швидкість реакцій озону з солями Брому, які містяться в морській воді, в результаті яких, з урахуванням часу приготування суміші озону з морською водою, концентрація озону в морській воді значно зменшиться перед введенням суміші в блок УФ-опромінення. Крім того, ні в описі, ні у формулі винаходу немає пояснення, якою методом автори припускають утримувати озон у суміші з морською водою в умовах зазначеного вище механізму його швидкого розкладання.

По-друге, озон сильно поглинає бактерицидне УФ-світло.

По-третє, додатковий характер блоку (УФ-світло + озон) вказує на його відносно низьку ефективність при самостійному використанні.

По-четверте, висока концентрація розчиненого у воді озону.

В основу винаходу поставлено задачу створити спосіб знезараження й очищення БВ, а також установку для його здійснення, в яких шляхом оброблення БВ двома хемічними реагентами, здійснення двох етапів фільтрування та додаткового електрогідралічного удару в способі, а також з'єднання елементів установки за схемою забезпечується підвищення ефективності знезараження й очищення БВ.

## **2.2. Винахідницький задум. Спосіб знезараження й очищення БВ на базі Дунайського інституту Національного університету «Одеська морська академія»**

Поставлену задачу вирішено двома винаходами, поєднаними винахідницьким задумом.

У першому винаході поставлену задачу вирішено способом знезараження й очищення БВ [8], що передбачає введення в неї оки-

снювача та подальше оброблення ультрафіолетовим випроміненням, тим, що, на відміну від прототипу, БВ обробляють гіпохлоритом Натрію, який вводять у кількості 0,2–0,4 г/дм<sup>3</sup>, і хелатом Феруму, який вводять у кількості 8–9 г/дм<sup>3</sup>, після чого оброблену у такий спосіб БВ фільтрують через фільтер грубого очищення, піддають ультрафіолетовому опроміненню, високочастотному електрогідрравлічному удару імпульсами, що чергуються, тривалістю у 10<sup>-6</sup> сек при миттєвій потужності імпульсу у 50–1000 МВт і подальшій фільтрації з використанням саморозвантажувального фільтра тонкого очищення.

Дослідження БВ проводилися за допомогою сучасного мікробіологічного аналізатора «БакТрак 4300» виробництва фірми SY-LAB Geräte GmbH (Австрія), який є автоматизованою експрес-системою для швидкої кількісної й якісної оцінки ступеня мікробної контамінації, зокрема, об'єктів навколишнього середовища.

У другому винаході поставлену задачу вирішено установкою для знезараження й очищення БВ, що містить з'єднані між собою технологічними трубопроводами баластний танк-резервуар для змішування БВ з окиснювачем, пристрій для оброблення БВ ультрафіолетовим світлом і фільтер тонкого очищення, тим, що, на відміну від прототипу, вона додатково містить дозатор реагентів, фільтр грубого очищення, баластний насос і блок високочастотного електрогідрравлічного удару; при цьому баластний танк з'єднано із дозатором реагентів і фільтром грубого очищення, який через баластний насос з'єднано з пристроєм для оброблення БВ УФ-світлом, який пов'язано зі входом блоку високочастотного електрогідрравлічного удару, вихід якого з'єднано із саморозвантажувальним фільтром тонкого очищення.

### 3. ОБГОВОРЕННЯ (ВИКЛАД ОСНОВНОГО ЗМІСТУ)

Умови здійснення способу знезараження й очищення БВ знайдено експериментально. Встановлено наступне.

1. Гіпохлорит натрію ГХNa слід вводити в кількості від 0,2 до 0,4 г/дм<sup>3</sup>. При введенні цього реагенту менше 0,2 г/дм<sup>3</sup> «змінюються» окисні та бактерицидні властивості в порівнянні з діоксидом хлору, озоном і УФ-випроміненням, а введення його більше 0,4 г/дм<sup>3</sup> призводить до збільшення експлуатаційних витрат, які часто стають вище, ніж при використанні хлордіоксидної або озонової технологій; при знезараженні води з високою часткою карбонатної жорсткості товарним ГХNa утворюється нерозчинний карбонат Кальцію, який відкладається у вигляді накипу на внутрішній поверхні трубопроводів і посудин (кальцинація).

2. Хелат Феруму вводять у кількості від 8 до 9 г/дм<sup>3</sup>. Вихід за



мінімальне значення не є дійовим, оскільки при меншій кількості — менша швидкість впливу, а також зростає стійкість молюсків до хемреагентів, а застосування хелату Феруму більше, ніж заявляється в робочих розчинах, на дуже жорстких природніх водах є неприпустимим. Висока доза може виявитися ще більш токсичною не тільки для окремих інвазійних видів, але й бути залишковою у вже очищеній (також незараженій) воді, що може привнести негативні властивості живим організмам, які «не завдають шкоди». Окрім того, можлива підвищена корозія стінок баластних танків.

3. Час тривалості імпульсів, що чергуються, дорівнює  $10^{-6}$  сек і вибрано, виходячи з того, що імпульси, які чергуються, з більшою частотою мають більш стабільну й якісну дугу, але достатньою буде й частота в діапазоні  $10^{-3}$ – $10^{-6}$ .

4. Потужність імпульсу обрано в межах 50–1000 МВт, виходячи з продуктивності установки. Авторами схематично показано запропоновану систему управління водним баластом, де:

установка знезараження й очищення морської БВ (рис. 1) містить баластний танк 1, з'єднаний трубопроводом із дозатором реагентів 2 та фільтром грубого очищення 3; фільтр грубого очищення 3 з'єднано з пристроєм для оброблення БВ ультрафіолето-

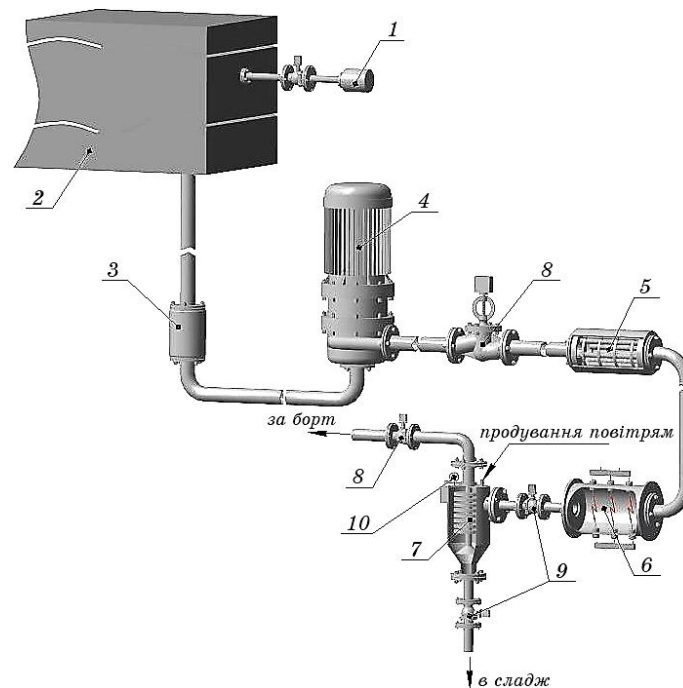


Рис. 1. Установка знезараження й очищення морської БВ.<sup>1</sup>

вим світлом 5 через баластний насос 4; пристрій для оброблення БВ ультрафіолетовим світлом 5 пов'язано з блоком височастотного електрогідралічного удару 6, який, в свою чергу, з'єднано із саморозвантажувальним фільтром тонкого очищення 7.

Саморозвантажувальний фільтр тонкого очищення 7 має два відвідних виходи: один — для видалення осаду (шламу), а другий — для видалення за борт очищеної та незараженої БВ. На трубопроводі, що з'єднує баластний насос 4 з пристроєм для оброблення ультрафіолетовим світлом 5, і на трубопроводі відведення обробленої БВ за борт, встановлено запірну арматуру 8.

На трубопроводі, що з'єднує вихід блоку височастотного електрогідралічного удару 6 із входом саморозвантажувального фільтра 7, а також на відповідному трубопроводі для видалення шламу встановлено клапани типу «батерфляй» 9 (засувки з електроприводом ЕА 220 з неіржавійними дисками). На верхній частині саморозвантажувального фільтра тонкого очищення 7 встановлено давач тиску 10.

Саморозвантажувальний фільтр тонкого очищення 7 (рис. 2) виконано у вигляді порожнистого корпусу 11, у середині якого встановлено пустотілий вал 12, на якому розташовані фільтрувальні диски 13. Фільтрувальні диски 13 виконано з вуглецевого наноматеріалу, який має мікроскопічні канали (трубочки). Пустотілий вал 12 через редуктор 14 з'єднано з електроприводом 15. У верхній частині порожнистого корпусу 11 саморозвантажуваль-

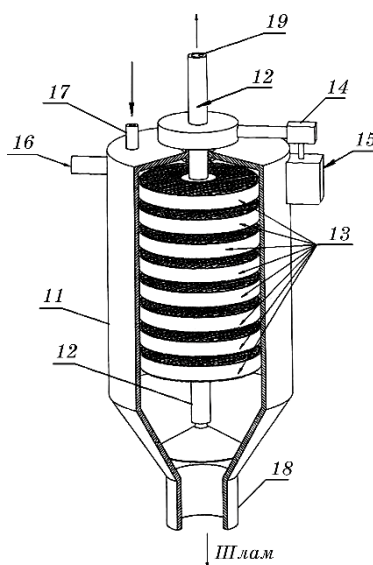


Рис. 2. Вигляд саморозвантажувального фільтра тонкого очищення.<sup>2</sup>

льного фільтра тонкого очищення 7 розташовано патрубок для введення оброблюваної БВ 16 і патрубок 17 для подачі повітря (для продувки) саморозвантажувального фільтра тонкої очистки 7. У нижній частині саморозвантажувального фільтра тонкого очищення 7 виконано відвід 18 для видалення осаду (шламу). Відфільтрована й очищена БВ виводиться із саморозвантажувального фільтра 7 через вихідний отвір 19 пустотілого валу 12 [9].

Спосіб знезараження й очищення БВ здійснюється у наступному порядку. У баластний танк 1 із дозатора реагентів 2 подаються хемічні реагенти. Дозатор реагентів 2 забезпечує введення у БВ хелату Феруму в кількості 8–9 г/дм<sup>3</sup> оброблюваної води та гіпохлориту Натрію марки А в кількості 0,2–0,4 г/дм<sup>3</sup>. Після хемічного оброблення БВ в танкові 1 БВ надходить у фільтер грубого очищення 3, а далі за допомогою баластного насоса 4 первинно очищена БВ подається у камеру пристрою для оброблення її ультрафіолетовим світлом 5. У пристрої для оброблення ультрафіолетовим світлом 5 БВ піддається третьому обробленню — знезараженню шляхом опромінення.

Далі БВ, тричі оброблена (хемічними реагентами, фільтруванням і ультрафіолетовим опроміненням), надходить у блок високочастотного електрогідролічного удару 6, в якому за рахунок електрогідролічного розряду імпульсами, що чергуються, тривалістю у 10<sup>-6</sup> сек при миттєвій потужності імпульсу у 50–1000 МВт створюється електрогідролічний удар з високим ступенем йонізації ультразвукового ефекту, що приводить до знищення інвазійних включень і бактеріяльних штамів. Після блоку високочастотного електрогідролічного удару 6 чотиріразово оброблена БВ подається в саморозвантажувальний фільтер тонкого очищення 7. Потік БВ надходить усередину порожнистого корпусу 11 через патрубок 16. Усередині порожнистого корпусу 11 потік БВ проходить у напрямку від нижньої його частини до верхньої частини; тим самим відбувається «розпорошення» води на фільтрувальні диски 13, які обертаються за допомогою електроприводу 15. БВ, проходячи фільтрувальні диски 13 один за другим (одним), поступово очищується з підвищенням ступеня очищення. При цьому потік БВ постійно закручується внаслідок обертання фільтрувальних дисків 13 на пустотілому валові 12. Внаслідок відцентрової сили БВ потрапляє на стінки порожнистого корпусу 11 (в так званому пристінному просторі), «виштовхується» угору та через отвір 19 виводиться з саморозвантажувального фільтра тонкого очищення 7.

Саморозвантажувальний фільтер тонкого очищення 7 розвантажуються циклічно протягом 5–8 сек. За сигналом давача 10, який спрацьовує при забрудненні фільтра 7, підвищується тиск на вході у фільтер 7, і тоді спрацьовують клапани «батерфляй»

9. На вході один закривається, а другий унизу відкривається для скидання сладжу (осаду). Електропривод 15 включається тільки на період очищення, отримуючи сигнал від давача 10. Після скидання осаду через відвід 18 через патрубок 17 подається стиснене повітря та відбувається продування саморозвантажувального фільтра тонкого очищення 7.

#### 4. РЕЗУЛЬТАТИ

Випробування установки для знезараження й очищення БВ було проведено на базі Дунайського інституту Національного університету «Одеська морська академія».

У вихідній БВ містилося:

- 40 життєздатних організмів від 10 до 50 мкм у найменшому вимірі на 1 см<sup>3</sup>;
- індикаторні мікроби, які використовуються для цілей стандартів охорони здоров'я людини, в наступних концентраціях:
  - 1) токсикогенний холерний вібріон (сіркогрупи O1 і O139) — 4 колонієутворювальних одиниць (КУО) на 100 см<sup>3</sup> або 4 КУО на 1 г (сирої ваги) зразків зоопланктону;
  - 2) кишкова паличка — 400 КУО на 100 см<sup>3</sup>;
  - 3) кишкові ентерококи — 400 КУО на 100 см<sup>3</sup>.

Після оброблення БВ відповідно до способу на запропонованій установці одержано такі результати:

- 10 життєздатних організмів від 10 до 50 мкм у найменшому вимірі на один см<sup>3</sup>;
- індикаторні мікроби, які використовуються для цілей стандартів охорони здоров'я людини, в наступних концентраціях:
  - 1) токсикогенний холерний вібріон (сіркогрупи O1 і O139) — менше 1 КУО на 100 см<sup>3</sup> або менше 1 КУО на 1 г (сирої ваги) зразків зоопланктону;
  - 2) кишкова паличка — менш 250 КУО на 100 см<sup>3</sup>;
  - 3) кишкові ентерококи — менше 100 КУО на 100 см<sup>3</sup> (вміст всіх кишкових ентерококів менше на 30% із застосуванням електрогідравлічного удару, а із застосуванням електрогідравлічного удару та тонкої фільтрації через саморозвантажувальний фільтр з нановуглецевими трубками відбувається 100% знезараження).

Застосування фільтра з нановуглецевими трубками може без додаткових опцій забезпечити 100% знезараження (див. вище величину відсіву таким фільтром). За бажанням судновласника, фільтрувальні нанотехнологічні диски можуть бути замінені на дешевші диски з фібри, целюлози та ін. матеріалів. Але при такій заміні необхідно буде підключити високочастотний електрогідравлічний удар. Установка є універсальною та здатна працювати також по знезараженню й очищенню стічних вод міських

каналізацій і підприємств.

Спосіб знезараження й очищення БВ та установка для його здійснення мають істотні переваги, як в порівнянні з відповідним прототипом, так і в порівнянні з іншими відомими способами й установками для знезараження й очищення БВ.

Електрогідролітичний удар приводить до знищення інвазій і хвороботворних штамів; саморозвантажувальний фільтер з нановуглецевими вставками уможливує робити відсів твердих елементів і мікроорганізмів в ізольованій БВ до 0,0024 мм з низьким опором води, що проходить.

Вуглецеві нанотрубки мають багато переваг, зокрема більш швидкий рух носіїв заряду, ніж у кремнії; вони можуть мати розмір у 5 разів менший, аніж мінімальний розмір кремнієвих елементів електросхем [10]. Але створення електричних ланцюгів на їхній основі дуже ускладнене внаслідок розподілу одержаних нанотрубок у хаотичному порядку. Вчені з Університету Південної Каліфорнії підібрали підкладку для нанотрубок, на якій вони могли самостійно упорядковуватися (до 40 нанотрубок на мікрон). Ця технологія дає змогу створювати сучасну електроніку, чутливі сенсори тощо.

По-друге, застосування реагенту, — хелату Феруму, — для знезараження й очищення живих організмів у БВ пройшло успішні випробування зі знищення шкідливих молюсків і дає повну впевненість у можливості його використання в ізольованому судовому баласті. Енерговитрати установки складають 0,3–0,4 кВт на 1 м<sup>3</sup>, що цілком прийнятно для використання навіть на найбільших океанських суднах, де продуктивність відкачування баласту доходить до  $Q = 6$  тис. м<sup>3</sup>/год.

## 5. ДИСКУСІЯ

Перевага саморозвантажувального фільтра полягає в забезпеченні установці з очищення БВ високий рівень знищення інвазій. Дисковий фільтер застосовується для фільтрування дрібнодисперсних суспензій; складається з корпусу, в якому на підшипниках закріплено порожнистий вал із перфорованими дисками, з'єднаними з порожниною валу (рис. 3).

На поверхні дисків закріплено за допомогою хомутиків фільтрувальну тканину. Під час фільтрування вал з дисками є нерухомим, фільтрат проходить через фільтрувальну перегородку всередину дисків, далі в порожній вал і виводиться зверху. Шар осаду утворюється на верхній і нижній поверхнях дисків.

Після закінчення фільтрування суспензія зливається, всередину валу та дисків подається промивальна рідина, а вал з дисками приводиться в обертання електроприводом.

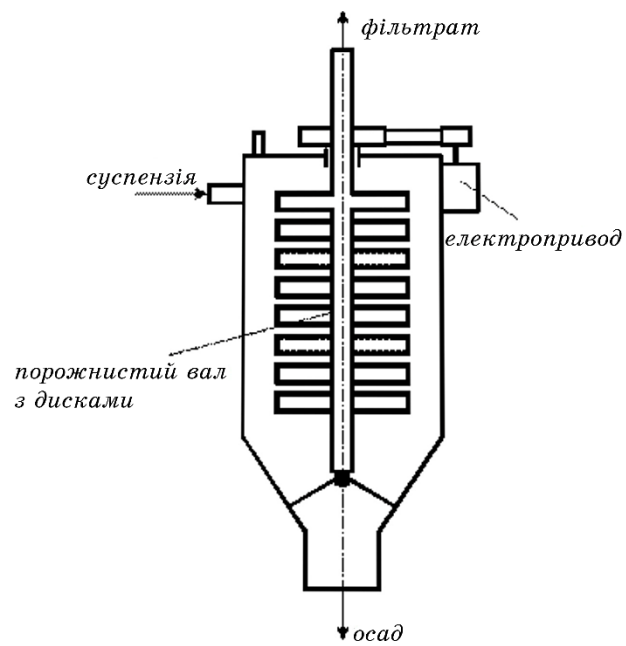


Рис. 3. Дисківий саморозвантажувальний фільтер.<sup>3</sup>

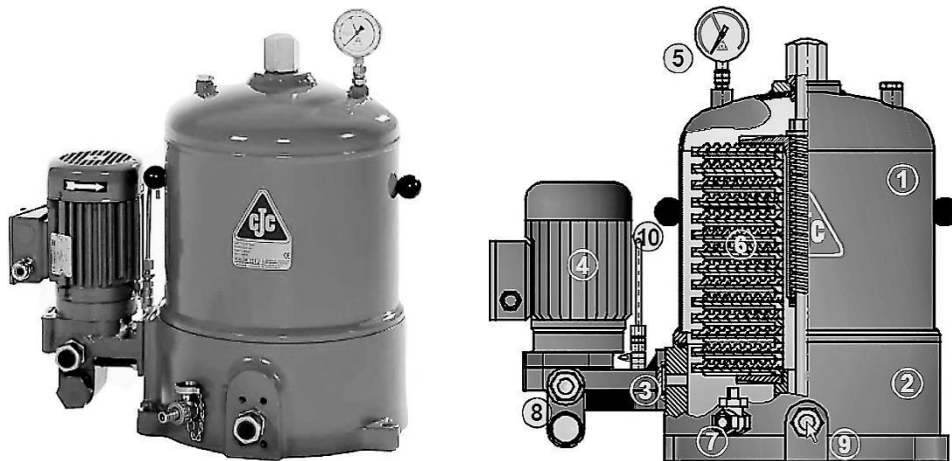


Рис. 4. Саморозвантажувальний фільтер тонкого очищення HDU СІС™: 1 — корпус фільтра; 2 — основа фільтра; 3 — насос; 4 — електричний мотор; 5 — манометр; 6 — фільтрувальний елемент; 7 — випускний клапан; 8 — мастилоприймач; 9 — мастилопуск; 10 — точка відбору проб.<sup>4</sup>

За рахунок відцентрових сил осад скидається з дисків і виван-

тажується з нижньої частини фільтра.

Потім цикли фільтрування та промивання повторюються. Позитивна якість фільтра — автоматичне вивантаження осаду.

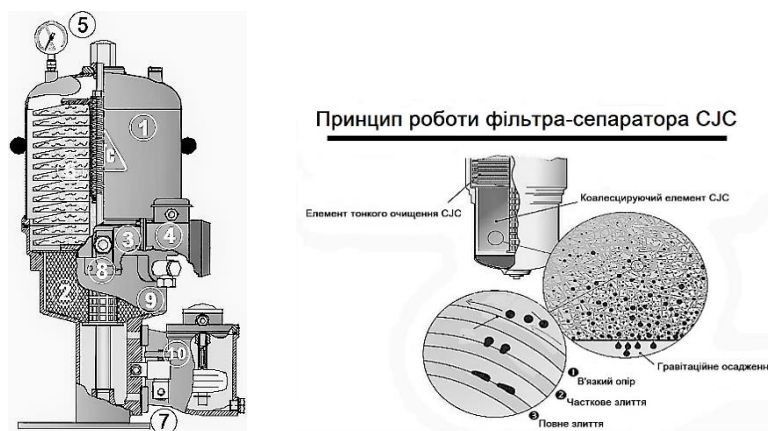
Застосування наявних технологій такої компанії, як СJS™, для очищення циркуляційних мастил і важкого палива суднових дизелів дає авторам практичні напрацювання та набутий досвід.

Стосовно очищення БВ запропоновані фільтри тонкого очищення можуть бути з успіхом застосовані, оскільки густина оливи значно вище густини БВ, що збільшує пропускну здатність рідини.

Відсів мікроорганізмів може бути доведений до 0,005 мм (5 мікрон) при запропонованих стандартах ІМО до 2020 року у 10 мікрон (рис. 4). Такі стандарти використовуються для гідравлічних, мастильних і трансмісійних олив, мінеральних олив (група I, II та III), синтетичних олив (група IV та V), рідин на гліколевій основі, рідин на ефірній основі (рідини групи HFD), рідин на водній основі, промивних олив, олив для прокатки, для різальних інструментів, гартівних олив.

Принцип роботи фільтра-сепаратора, що зображено на рис. 5, уможлиблює видаляти всі відфільтровані суспензії в окрему цистерну, де залишилися після оброблення життєздатні інвазії, які гинуть протягом декількох діб, що дає нам повну впевненість припускати «повне» знищення їх на 98%.

Цілком очевидно, що зі збільшенням якості відсіву фільтрувальних частинок знижується продуктивність установки. Філь-



**Рис. 5.** Принцип роботи фільтра-сепаратора СJS™ (фільтр серії РТУ2 27/27): 1 — корпус фільтра; 2 — коалесцентний елемент; 3 — насос; 4 — електричний мотор; 5 — манометер; 6 — фільтрувальний елемент; 7 — клапан спуску води; 8 — оливоприймач; 9 — оливоспуск; 10 — водоскидання.<sup>5</sup>



Рис. 6. Фільтрувальні диски саморозвантажувального фільтра.<sup>6</sup>

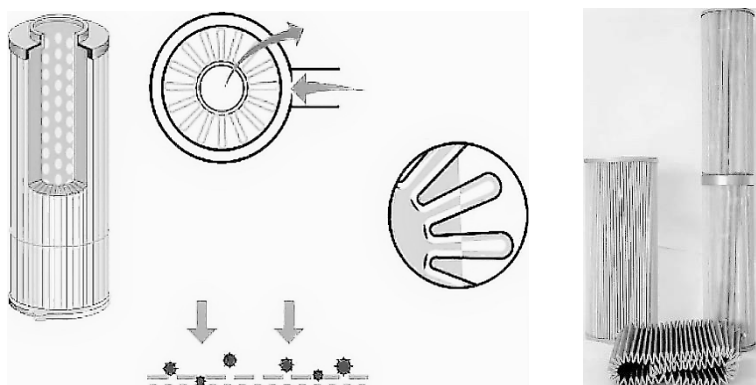


Рис. 7. Напірний фільтрувальний елемент високої продуктивності.<sup>7</sup>

трувальні диски (рис. 6) з використанням тканинних елементів, фібри не дають змогу для великотоннажних суден забезпечити своєчасне скидання БВ.

Цю проблему легко усунуто з використанням напірного фільтрувального елемента: тиск у машині — 10–350 бар, типова швидкість потоку — 4–300 дм<sup>3</sup>/хв., тонкість фільтрації — 3–30 мкм (максимум), утримувальна здатність — 20–100 г; він не абсорбує воду, не захищає від розкладу оливи; є стандартом для всіх оливосистем (рис. 7), але автори пропонованої конструкції та технології вбачають, в першу чергу, надійність, якість і дешевизну оброблення БВ, а це можливо тільки з використанням самих сучасних фільтрувальних матеріалів. Може використовуватися автономно разом із насосом, але не порівняти з глибинним автономним фільтром [11].

Нанотехнології використовуються для опріснення морської води; застосовують фільтри з вирощених вуглецевих трубок, які



забезпечують наднизький коефіцієнт тертя, що дає пониження робочого тиску від 60 бар до 3 бар в опріснювачі. Фільтрувальні диски (рис. 6) можуть бути з успіхом виконані з вирощених вуглецевих наноматеріалів. Запропонована технологія — під силу компанії CJS™ та ін. для виготовлення саморозвантажувального фільтра.

Чому конструкція саморозвантажувального фільтра для очищення БВ є найоптимальнішою? Відповідь достатньо проста: збільшивши розміри фільтрувальних елементів, ми збільшуємо пропускну здатність обробленої БВ, довівши рівень фільтрації до 20–10 мікрон. При цьому, використовуючи фільтрувальні елементи з вирощених нановуглецевих трубок, ми одержимо запас підвищення тиску на стороні прокачування фільтра, тобто, підвищуючи незначно тиск понад 3 бар, ми будемо збільшувати пропускну здатність і тим самим збільшимо продуктивність установки.

Постійний викид із саморозвантажувального фільтра відфільтрованих інвазій у закрити суднову ємність з підвищеним вмістом окису Феруму позитивно позначиться на подальшому знищенні тих інвазій, що вижили.

Збільшення в 2 рази напруженості УФ-світлового потоку і при цьому використання нового виду хемічного реагенту дає змогу нам досягти максимального знищення інвазій.

## 6. ВИСНОВКИ-ТЛУМАЧЕННЯ

На думку експертів, нанотехнології стануть рушійною силою промислової революції та змінюватимуть наш спосіб життя. Дослідження та розробки нанотехнологій знаходяться у стані підйому у гонитві за оригінальними та корисними речами, і в той час, коли відбувається зліт фабричного виробництва, зовсім мало робиться для того, щоб гарантувати безпеку суспільству та навколишньому середовищу.

За очікуваннями Національного наукового фонду США, за наступне десятиліття нанотехнології «захоплять» 1 трильйон дол. світового ринку.

Нанотехнології обіцяють величезні потенційні вигоди у поліпшенні майже всіх видів промислової продукції. Але, з іншого боку, постає питання: чи є вони безпечними?

Зростаюча кількість наукових досліджень і звітів урядів застерігає, що створені наночастинки можуть становити небезпеку для здоров'я людей і навколишнього середовища, хоча було проведено ще небагато досліджень щодо їхньої токсичності.

Отже, нанотехнології включають у себе широкий спектр технологій для контролю над структурою матерії на рівні атомів і

молекул. Нанометер — це одна мільярдна метра, довжина ланцюга з 10 розміщених поруч атомів Гідрогену; товщина людської волосини дорівнює приблизно 80 тисячам нанометрів. Важко навіть уявити собі щось настільки мале, ще важче повірити, що це може використовуватися у виробничих процесах [12].

На такому мікроскопічному рівні матерія поводить себе не так, як у нашому повсякденному житті у цьому світі, де панує класична Ньютоніана фізика. У наносвіті «властивості матерії обумовлюються складним і багатим поєднанням класичної фізики та квантової механіки» — мовилося в ексклюзивному онлайн-випуску журналу *Scientific American* за січень 2006 р. Також у більших кількостях мініатюрні наноречовини можуть мати величезну потужність через їхнє значно більше відношення площі поверхні до об'єму.

Зі зменшенням величини частинок і ростом їхньої реакційної здатності, речовина, котра може бути інертною у мікро- чи макромасштабі, здатна набувати небезпечних властивостей у наномасштабі [13].

Щодо соціальних та етичних проблем, то, згідно з *Vital Signs 2006–2007*, серйозні побоювання не обмежуються питаннями безпеки та впливу на здоров'я; мають бути вивчені більш широкі соціальні й етичні наслідки. «Нанотехнічною революцією рухає погоня за прибутком — не потреба у розвитку людства; доки докорінними проблемами є убогість і соціальна несправедливість, нові технології ніколи не будуть універсальним вирішенням їх», — стверджується у звіті *Vital Signs*.

## ПОДЯКИ

Висловлюємо подяку за сприяння та професійну допомогу у конструюванні експериментальної системи управління баластною водою на базі Дунайського інституту Національного університету «Одеська морська академія» в.о. директора ПрАТ «Дунайсудноремонт» (м. Ізмаїл, Одеська обл., Україна) В. М. Купрієнка; директору Дунайського інституту Національного університету «Одеська морська академія» (м. Ізмаїл, Одеська обл., Україна) д.т.н., проф. В. І. Чимширу — за сприяння у закупівлі чинних вузлів системи; О. Ю. Звягінцеву (Інститут біології моря ім. А. В. Жирмунського ДВО РАН, Владивосток, Росія) — за сприяння й надання глобального інформаційно-аналітичного опису щодо глибоких досліджень суднового водяного баласту, особливо стосовно складу флори та фауни, їхньої життєздатності та виникнення видів (ним надано широку інформацію щодо розробки методології, методів і законів для запобігання занесення патогенних і потенційно небезпечних організмів водним транспор-

том).

## ЦИТОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. *Міжнародна Конвенція щодо контролю суднових баластних вод й осадів та управління ними* (Санкт-Петербург: Вид. ЦНІМФ: 2005) (рос.).
2. *Korabel* (рос.); [https://www.korabel.ru/equipment/item\\_view/469201.html](https://www.korabel.ru/equipment/item_view/469201.html)
3. А. С. Курников, Д. С. Мизгирев, Т. В. Молочная, С. Н. Валиулин, *Спосіб очищення баластових вод* (Патент РФ 2591965, C02F1/00, C02F1/36, 2016) (рос.).
4. В. П. Фоканов, Л. В. Зябрикова, Н. П. Погодін, В. Г. Хорошев, А. В. Шалларь, *Спосіб знешкодження морської баластної води* (Патент РФ 2500624, C02F1/32, C02F1/78, C02F103/08, 2013) (рос.).
5. *Rizos Ballast Teknolojiz (Prepraitri) Limited. Спосіб знезараження води шляхом знищення водних організмів і пристрій для його здійснення* (Патент РФ на винахід RU 2433087 C2, 2008121929/05, 2011) (рос.).
6. *Desmi Ocean Guard A/S [DK]/[DK]. Обробка баластної води* (Патент на винахід WO/2010/149638 2010) (in Italian).
7. *Freepatent* (in English); <http://www.freepatent.ru/images/patents/498/2500624/patent-2500624.pdf>
8. А. Г. Данилян, Н. Б. Тірон-Воробйова, О. Р. Романовська, *Вчені записки Таверійського національного університету імені В. І. Вернадського. Серія: Технічні науки*, **30** (69), № 3: 143 (2019).
9. А. Г. Данилян, Н. Б. Тірон-Воробйова, Н. П. Биковець, О. Р. Романовська, М. М. Чумаченко, *Матеріали 3-ї Міжнародної науково-практичної конференції «Водопостачання та водовідведення: проектування, будова, експлуатація, моніторинг»* (Львів: Видавництво Львівської політехніки: 2019), с. 246.
10. В. Балабанов, І. Балабанов, *Нанотехнології: правда і вигадка* (Москва: Ексмо: 2010) (рос.).
11. *Tisys* (рос.); <http://www.tisys.ru>
12. Ф. Рахман, *Від мікроструктур до наноструктур. Наноструктури в електроніці та фотоніці* (Москва: Техносфера: 2010) (рос.).
13. Ю. І. Головін, *Нанотехнологічна революція стартувала!*; [http://www.abitura.com/modern\\_physics/nano/nano2.html](http://www.abitura.com/modern_physics/nano/nano2.html)

## REFERENCES

1. *Mezhdunarodnaya Konventsiya o Kontrole Sudovykh Ballastnykh Vod i Osadkov i Upravleniya Imi* [International Convention for the Control and Management of Ship's Ballast Water and Sediments] (Sankt-Peterburg: Publ. TsNIMF: 2005) (in Russian).
2. *Korabel* (in Russian); [https://www.korabel.ru/equipment/item\\_view/469201.html](https://www.korabel.ru/equipment/item_view/469201.html)
3. A. S. Kurnikov, D. S. Mizgirev, T. V. Molochnaya, and S. N. Valiulin, *Sposob Ochishcheniya Ballastovykh Vod* [Ballast Water Purification Method] (RF Patent C02F1/00, C02F1/36, 2016) (in Russian).
4. V. P. Fokanov, L. V. Zyabrikova, N. P. Pogodin, V. G. Khoroshev, and

- A. V. Shallar, *Sposob Obezvrezhivaniya Morskoy Ballastnoy Vody* [Method for the Neutralization of Sea Ballast Water] (RF Patent 2500624, C02F1/32, C02F1/78, C02F103/08, 2013) (in Russian).
5. *Rizos Ballast Technologies (Preprietry) Limited. Sposob Obezvrezhivaniya Vody Putyom Unichtozheniya Vodnykh Organizmov i Ustroystvo dlya Ego Osushchestvleniya* [A Method of Disinfecting Water by Destroying Aquatic Organisms and a Device for Its Implementation] (RF Patent for the Invention RU 2433087 C2, 2008121929/05, 2011) (in Russian).
  6. *Desmi Ocean Guard A/S [DK]/[DK]. Ballast Water Treatment* (Patent for Invention WO/2010/149638 (2010) (in Italian).
  7. *Freepatent*; <http://www.freepatent.ru/images/patents/498/2500624/patent-2500624.pdf>
  8. A. G. Danylyan, N. B. Tiron-Vorobiova, and O. R. Romanovska, *Scientific Notes of TNU Named After V. I. Vernadsky. Series: Engineering*, **30** (69), No. 3: 143 (2019) (in Ukrainian).
  9. A. G. Danylyan, N. B. Tiron-Vorobiova, N. P. Bykovets, O. R. Romanovska, and M. N. Chumachenko, *Proceedings of the 3<sup>rd</sup> International Scientific and Practical Conference 'Water Supply and Sewerage: Design, Construction, Operation, Monitoring'* (Lviv: Lviv Politehnika Publishing House: 2019), p. 246 (in Ukrainian).
  10. V. Balabanov and I. Balabanov, *Nanotekhnologii: Pravda i Vymysel* [Nanotechnology: Truth and Fiction] (Moscow: Eksmo: 2010) (in Russian).
  11. *Tisys* (in Russian); <http://www.tisys.ru>
  12. F. Rahman, *Nanostructures in Electronics and Photonics* (Moscow: Technosphere: 2010) (in Russian).
  13. Yu. I. Golovin, *Nanotekhnologicheskaya Revolyutsiya Startovala!* [Nanotechnology Revolution Has Started!] (in Russian); [http://www.abitura.com/modern\\_physics/nano/nano2.html](http://www.abitura.com/modern_physics/nano/nano2.html)

<sup>1</sup>*Danube Institute of the National University 'Odesa Maritime Academy',  
9, Fanahoriiska Str.,  
UA-68607 Izmail, Ukraine*

<sup>2</sup>*Odesa National Academy of Food Technologies,  
112, Kanatna Str.,  
UA-65039 Odesa, Ukraine*

<sup>1</sup> Fig. 1. Installation for disinfection and cleaning of marine BW.

<sup>2</sup> Fig. 2. Appearance of self-discharge fine filter.

<sup>3</sup> Fig. 3. Disc self-discharge filter.

<sup>4</sup> Fig. 4. Self-unloading filter of fine cleaning HDU CJC<sup>tm</sup>: 1—the filter case; 2—the base of the filter; 3—the pump; 4—the electric motor; 5—the manometer; 6—the filtering element; 7—the final valve; 8—oil receivers; 9—the oil drain; 10—a sampling point.

<sup>5</sup> Fig. 5. The principle of operation of the filter-separator CJC<sup>TM</sup> (filter series PTU2 27/27): 1—filter housing; 2—coalescing element; 3—pump; 4—electric motor; 5—pressure gauge; 6—filter element; 7—release valve water; 8—oil receivers, 9—oil drain; 10—spillway.

<sup>6</sup> Fig. 6. Self-disassembling filter disks.

<sup>7</sup> Fig. 7. High-productivity pressure-filter element.