DOI [https://doi.org/10.15589/znp2019.4\(478\).10](https://doi.org/10.15589/znp2019.4(478).10)
УДК 67.02

BALLAST WATER: YUTKIN'S ELECTRO-HYDRAULIC SHOCK IS ONE OF THE EFFECTIVE WAYS TO DISINFECT IT

БАЛАСТНА ВОДА: ЕЛЕКТРОГІДРОУДАР ЮТКІНА – ОДИН ІЗ ДІЄВИХ ШЛЯХІВ ЩОДО ЇЇ ЗНЕЗАРАЖЕННЯ

Nataliia B. Tiron-Vorobiova
natasha_vorobyova@list.ru
ORCID: 0000-0002-8269-2682

Anatolii G. Danylian
enginmarin@ukr.net
ORCID: 0000-0002-9468-2756

Olha R. Romanovska
formatirung@gmail.com
ORCID: 0000-0003-3386-836X

Н. Б. Тірон-Воробйова,
канд. техн. наук, доцент

А. Г. Данилян,
ст. викладач

О. Р. Романовська,
ст. викладач

Danube Institute of National University "Odessa Maritime Academy", Izmail

Дунайський інститут Національного університету «Одеська морська академія», м. Ізмаїл

Abstract. Water is one of the most widespread, most important sources of the World. It is connected not only with the vital functions of all living beings, but also water acts as a “carrier”, in particular, millions of seagoing vessels maneuver in it worldwide. Then it is marine. And in order to maintain the proper characteristics of the vessel (list, trim, maneuverability, stability), “reserve” marine water (hereinafter ballast) is required. When transporting a huge amount of cargo, it is ballast water that is pumped into the ballast tanks of seagoing vessels, in particular large vessels, which acts as a “weight” and what not. As you know, any water is a very good “carrier” of both the living, which contributes to the improvement of native flora and fauna, and the “dead”, which constantly accumulates in the water, causing considerable damage to the living in it.

All involved in the maritime industry are properly experts, including the International Maritime Organization (IMO), know the Convention, which provides for stringent ballast water requirements for seagoing vessels. Namely, Rule D-2 states the size and number of invasive species of living organisms, the regulated values of which are specifically provided for in the Convention. At present, today, all shipowners are very concerned about such a difficult situation: they are tasked with re-equipment of seagoing vessels to establish the latest innovative ballast water management systems that would meet IMO requirements. It's not easy. Because such systems are quite expensive. This is, first. Secondly, it is necessary to draw up very “smart” design solutions that would ensure the correct placement of such systems on ships under existing areas. And this is also additional costs (re-equipment, additional space, additional equipment). Therefore, a large number of ballast management systems have been created and implemented in the last two years (with the increasing requirements for ballast water). With regard to such systems, the main node in all of them is the various filter elements.

In light of these developments, scientists from the DI NU «OMA», Izmail, have not stayed away. We have experimentally created universal equipment for the disinfection and purification of ballast water of seagoing vessels. We have raised “forgotten” questions about L. Yutkin's innovations in electro-hydraulic shock, which creates so-called shock waves in water. This effect destroys virtually all of the organic matter in ballast water. However, the question remains open. It is necessary to prove perfectly, at the level of high “considered” experiments, the effect of such effect in ballast water, which is theoretically known to us, but clearly not finally resolved. The question is quite complicated: do the powerful engines of vessels withstand the high voltage that is “provoked” by such an electrical effect. Secondly, for many years scientists of the Institute of Pulse Processes and Technologies of the NAS of Ukraine have been dealing with high voltage equipment and have become interested in our work in facilitating experiments on water disinfection in this way. But, we did not stop there.

The main element in our equipment is a nano filter. That is, the purification of ballast water goes through a filter element with carbon “nano-disks” to achieve 100% destruction of alien species in the ballast.

The article describes the principles of disinfection and purification of ballast water (it is emphasized, “forgotten” – Yutkin's electro-hydraulic shock, but has not yet been fully studied), presents its characteristics and effect; in particular, the principle of operation of the experimental equipment proposed by the scientists of the DI NU “OMA” is given, based on the strict conditions of rule D-2 of the IMO Convention.

Key words: ballast water; invasive species; IMO Convention; Rule D-2; seagoing vessels; Yutkin's electro-hydraulic shock.

Анотація. Вода – одне з найпоширеніших, найважливіших джерел світу. З нею пов'язані не лише життєво важливі функції всього живого, а й вода виступає як «перевізник», зокрема, нею маневрують по всьому світу мільйони морських суден. Тоді вона морська. І для підтримання належних характеристик судна (крен, диферент, маневрені характеристики, остійність) необхідна «запасна» вода – морська (далі баластна). Під час перевезення величезної кількості вантажу саме баластна вода, яка закачується в баластні танки морських суден, зокрема, крупнотонажних, виступає «вагами» і не тільки. Як відомо, будь-яка вода є гарним «переносником» як живого, яке сприяє покращенню нативної флори і фауни, так і «мертвого», яке постійно накопичується в воді, завдаючи неабиякої шкоди отому живому, що в ній перебуває.

Всім, задіяним у морській галузі належним чином, це експерти, зокрема Міжнародної Морської Організації (ІМО), відома Конвенція, завдяки якій передбачено жорсткі вимоги до баластної води морських суден, а саме: правило D-2 гласить щодо розміру та кількості інвазивних видів живих організмів, регламентовані значення яких саме передбачено Конвенцією. Нині всі судновласники дуже занепокоєні такою складною ситуацією: перед ними поставлено задачу переоснащення морських суден із метою встановлення новітніх інноваційних систем управління водним баластом, які б задовольняли вимоги ІМО. Це все непросто. Бо такі системи досить дорого коштують. Це, по-перше. По-друге, необхідно складання дуже «розумних» позитивних конструкторських рішень, які б забезпечували правильне розташування таких систем на морських судах під вже діючі площі. А це теж додаткові кошти (переоснащення, додаткові площі, додаткове обладнання). Тому вже протягом близько двох років (із посиленням вимог до баластної води) створено та зарекомендовано достатньо велику кількість систем управління водним баластом. Щодо таких систем, то головним вузлом у всіх із них є різноманітні фільтруючі елементи.

У світлі цих подій науковці ДІ НУ «ОМА» м. Ізмаїл не залишились осторонь. Нами експериментальним шляхом було створено універсальне устаткування із знезараження і очищення баластної води морських суден. Нами піднято «забуті» створені питання щодо інновацій Л. Юткіна по електрогідролічному удару, який створює у воді, так би мовити, хвилі ударної дії. Завдяки такому ефекту знищується практично вся органіка в баластній воді. Але питання залишається відкритим. Потрібно досконали, на рівні високо «обдуманих» експериментів довести дію такого ефекту саме в баластній воді, що до нас теоретично відомо, але наочно остаточно не вирішено. Питання досить складне: чи витримають потужні двигуни на судні досить великої напруги, яка «провокується» таким електричним ефектом. По-друге, як відомо, в Україні протягом багатьох років науковці Інституту Імпульсних процесів і технологій НАН України займаються питаннями щодо високовольтного обладнання і зацікавились нашою роботою із сприянням налаштованих експериментів щодо знезараження води у такий спосіб. Але ми не зупинились на цьому. Основним елементом у запропонованому нами устаткуванні є нанофільтр. Тобто доочищення баластної води йде через фільтруючий елемент із вуглецевими «нанодисками», щоб досягти 100%-го знищення чужорідних видів у баласті.

У статті наведено принципи знезараження та очищення баластної води («забуті», наприклад електрогідролічний удар Юткіна, проте остаточно не вивчені), представлено характеристику й дію такого очищення; зокрема надано принцип роботи експериментального устаткування, запропонованого науковцями ДІ НУ «ОМА», спираючись на жорсткі умови правила D-2 Конвенції ІМО.

Ключові слова: баластна вода; інвазивні види; Конвенція ІМО; вимоги D-2; морські судна; електрогідролічний удар Юткіна.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Гідроудар – стрибок тиску у будь-якій системі, яка заповнена рідиною, викликаний вкрай швидкою зміною швидкості потоку цієї рідини за дуже малий проміжок часу. Гідролічний удар здатний викликати утворення поздовжніх тріщин у трубах, що може призвести до їх розколу або пошкоджувати інші елементи трубопроводу. Також гідроудари надзвичайно небезпечні і для іншого обладнання, такого як теплообмінники, насоси і посудини, що працюють під тиском. Для запобігання гідроударів, викликаних різкою зміною напруги потоку робочого середовища, на трубопроводах встановлюються зворотні клапани.

Більш-менш помітно гідролічний удар проявляється тільки в жорстких трубопроводах при великій швидкості потоку. Він відбувається тоді, коли рухаю-

чись із деякою швидкістю, рідина раптом зустрічає на своєму шляху жорстку перешкоду, якою, як правило, буває заслінка або заглушка. У подібній ситуації горезвісна сталена кулька у вакуумі просто відскочила б від зустрічної стінки назад із тією ж швидкістю, з якою підлетіла до неї. Однак рідина – не кулька, та й навколо не вакуум, а жорсткі стінки, а ззаду напірають наступні порції, які ще «не знають», що попереду проходу немає! У результаті рідина зупиняється, а її кінетична енергія перетворюється на потенційну енергію пружного стиснення рідини (адже рідини вважаються нестисливими лише порівняно з газами, а насправді стискаються приблизно в тій самій мірі, що і тверді тіла з кристалічною структурою), а також потенційну енергію пружного (а якщо не пошастить – то і пластичного, тобто незворотного) роз-

тягування стінок труби. Все це призводить до того, що тиск у місці зупинки стрімко зростає, тим більше, чим вищою була швидкість рідини і чим меншою її стисливість, а також чим вищою є жорсткість труби. Це підвищення тиску і є гідравлічним ударом раптово зупиненої рідини [1].

Фактори, що впливають на силу гідроудару: еластичні стінки трубопроводу значно знижують силу гідроудару, досить легко збільшуючи об'єм труби або шланга в місці зупинки рідини. Якщо труба заповнена повітрям і в міру просування рідини воно не встигає покинути трубу з потрібною швидкістю, то завдяки такому явищу можна запобігти сильному гідроудару, оскільки в цьому разі повітря відіграє роль пневматичного амортизатора, в якому плавно підвищується тиск, і тому воно здійснює дедалі більший опір руху рідині, поступово сповільнюючи її. Саме ці принципи використовуються в більшості пристроїв для захисту трубопроводів від гідроударів. Слід чітко розуміти, що ці фактори лише розтягують процес гідроудару в часі, але загальна енергія гідравлічного удару при цьому залишається незмінною [2]. Проте через збільшення часу процесу знижується його потужність, а значить, і максимальний тиск, і максимальне зусилля, що впливає на стінки труби. Але саме це і є метою захисту від гідроудару, адже тепер трубу вже не розірве! І, звичайно, силу гідроудару знижує більш плавне перекриття потоку і зменшення робочої швидкості руху рідини в трубі (якщо необхідно зберегти витрату, то для цього доведеться збільшити діаметр труби – швидкість зменшиться пропорційно збільшенню площі її просвіту). Якщо ж силу гідроудару треба збільшити, то тут рекомендації зворотні – якомога жорсткіша (і міцніша!) труба, якомога різкіше перекриття потоку і якомога більший розгін рідини перед зупинкою потоку.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Явище гідроудару відкрив М.С. Жуковський у 1897–1899. Гідроудар описується формулою Жуковського, яка використовується для визначення величини гідравлічного удару. Жуковський довів, що швидкість поширення ударної хвилі c знаходиться в прямо пропорційній залежності від стисливості рідини, величини деформації стінок трубопроводу, визначається модулем пружності матеріалу E , з якого він виконаний, а також від діаметру трубопроводу. Отже, гідравлічний удар не може виникнути в трубопроводі, що містить газ, тому що газ легко стискати. Якщо перекриття потоку відбувається повільно, кран перекидає потік за скінчений час $t_{кр}$, то тут виникають умови переходу до непрямого гідроудару [3].

Найбільш простим прикладом виникнення гідравлічного удару є приклад трубопроводу з постійним натиском і сталим рухом рідини, в якому

була різко перекрита засувка або закритий клапан. У свердловинних системах водопостачання гідроудар, як правило, виникає, коли найближчий до насоса зворотний клапан розташований вище статичного рівня води більше, ніж на 9 метрів, або найближчий до насоса зворотний клапан має витік, у той час як розташований вище наступний зворотний клапан тримає тиск. В обох випадках у стояку виникає часткове розрідження. Під час наступного пуску насоса вода, що протікає з дуже великою швидкістю, заповнює вакуум і проходить зіткнення в трубопроводі з закритим зворотним клапаном і стовпом рідини над ним, викликаючи стрибок тиску і гідравлічний удар. Такий гідравлічний удар здатний викликати утворення тріщин у трубах, зруйновувати трубні з'єднання і пошкоджувати насос і/або електродвигун. Гідроудар може виникати в системах об'ємного гідроприводу, в яких використовується золотниковий гідророзподільник.

Також гідроудар зустрічається в димовідвідних системах, в яких він може «відігравати» три різних сценарії:

- різке збільшення тиску (наприклад, вибух) і подальші його зниження (вакуум). Причому негативний тиск може бути настільки сильним, що вихлопна труба руйнується і не підлягає подальшому ремонту;
- раптове відключення палинкового пристрою, причиною якого може бути технічний дефект або просто збій живлення;
- дуже швидке закриття повітряного клапана палинкового пристрою [4].

ВІДОКРЕМЛЕННЯ НЕ ВИРІШЕНИХ РАНІШЕ ЧАСТИН ЗАГАЛЬНОЇ ПРОБЛЕМИ

Явище гідравлічного удару у водопровідних трубах було відомо з самого початку експлуатації напірних трубопроводів. До того ж на перших водопроводах застосовували звичайні пробкові крани, які миттєво перекривали потік води, що викликало появу гідроудару. Лише з часом стали використовувати більш плавні, так звані вентильні крани і гвинтові засувки. Майже кожне місто, в якому був централізований напірний водопровід, страждало від руйнувань труб внаслідок дії гідравлічного удару. Розробка теорії гідравлічного удару і створення технічних засобів боротьби з цим грізним явищем мали велике значення. Не можна сказати, що гідравлічний удар не вивчався до М.С. Жуковського. Навіть у своїй підсумковій роботі з цього питання він посилається на деяких іноземних і вітчизняних авторів, які досліджували гідроудар і явища, що його супроводжують. Досить згадати братів Монгольф'є, швейцарського винахідника Е. Аргана або М. Бультона. Зробив внесок у ці дослідження і професор Казанського університету І.С. Громека (1851–1889). Але пріоритет М.С. Жуковського в цьому питанні беззаперечний. Саме він, за

ініціативою керівництва московського водопроводу, очолив проведення в 1897–1898 рр. великого комплексу наукових досліджень питання гідравлічного удару на базі Олексіївської водокачки. Дослідження проводилися на чавунних трубах діаметром 2, 4 і 6 дюймів, прокладених по поверхні землі на території водокачки. Вони з'єднувалися з трубою головного водопроводу діаметром 24 дюйми, що транспортує воду в Москву. При цьому за допомогою манометрів і самописців вивчалися тиск і гідродинаміка в трубах, розподіл тиску вздовж труб під час швидкого перекривання трубопроводів заслонкою в кінці. З'ясувалося, що явище гідравлічного удару пояснюється виникненням і поширенням вздовж труб ударних хвиль, викликаних стисненням води і деформацією стінок труб. Завдяки дослідженням, виконаним інженерами Олексіївської водокачки (К.П. Карельських, В.В. Ольденбергером і І.М. Березовським під керівництвом М.Є. Жуковського) вдалося створити досить чітку теорію гідравлічного удару і знайти засоби боротьби з цим явищем (використання повітряних ковпаків і пружинних клапанів-гасителів тиску) [5].

Мета дослідження. Мета – показати досконало, аналітично надзвичайні винаходи світових вчених щодо «забутого» явища гідроудару, пов'язати це явище, зокрема відкрите Л.А. Юткіним, із раціональним позитивним використанням щодо забезпечення знезараження морської води (баластної) у винаході, запропонованому вченими-дослідниками ДІ НУ «ОМА» м. Ізмаїл.

Методи, об'єкт та предмет дослідження: явище й механізм дії гідравлічного удару, його формулювання; морська (баластна) вода; «підводний вибух» (електрогідроудар).

ОСНОВНИЙ МАТЕРІАЛ

Результати своїх досліджень із вивчення явища гідравлічного удару М.Є. Жуковский виклав у науковій роботі, опублікованій у «Записках Імператорської Академії Наук» (1898 р.), а також у доповіді на IV Російському водопровідному З'їзді (м. Одеса, 1899 г.). З огляду на теоретичну і практичну цінність цієї роботи, надалі вона була випущена окремим виданням (1899 р.).

У сучасних трубопровідних мережах дедалі більша перевага віддається полімерним трубам. Варто зазначити, що матеріали пластмасових трубопроводів мають різні характеристики і по-різному реагують на гідроудар. Проектувальникам необхідно консультуватися з виробниками пластмасових труб щодо їх продукції та здатності цих труб витримувати піки тиску, що виникають під час гідроудару. Наприклад, поліетиленові труби можна застосовувати для короткочасних хвиль тиску, що значно перевищують проектний тиск, оскільки труби мають здатність збільшувати міцність при короткочасних навантаженнях.

За однакових умов піки тиску в поліетиленових трубах значно менші, ніж піки тиску в жорстких трубах, що пояснюється високою пластичністю поліетилену. Наприклад, для однієї і тієї самої рідини при однаковій зміні швидкості пік тиску в поліетиленовому трубопроводі приблизно на 50% менше, ніж у трубі з полівінілхлориду та на 65% – зі склопластику. Однак якщо ми маємо справу з трубопроводами, в яких часто або постійно спостерігається ефект гідроудару, то необхідно брати до уваги характеристики питомої міцності матеріалу пластмасових труб. Якщо ж у трубопроводі спостерігаються часті циклічні піки тиску (гідроудари), робочий тиск у системі має включати і значення стрибка тиску при гідравлічному ударі.

Все вищесказане належало до негативного впливу гідравлічного удару на трубопровідні системи, а також методів боротьби з цим. Однак явище гідравлічного удару може приносити і користь.

Використання

Гідротаран. Гідроудар дає не тільки негативний ефект, але й позитивний, який застосовується в роботі такого пристрою, як гідротаран. Робота гідротарана заснована на використанні явища гідравлічного удару – короткочасного різкого підвищення тиску при раптовій зупинці потоку рідини в жорсткій трубі.

Є багато різних модифікацій гідротарана, зокрема, підводний гідротаран. Застосовують у насособудуванні, а саме водопідйомних гідротаранних установках для підйому води з водойм.

Чищення труб.

Після тривалої експлуатації трубопроводів на їхніх внутрішніх стінках з'являється наліт. Щоб його усунути, використовують явище гідроудару. Чищення труб за допомогою гідроудару полягає у створенні у трубі локального гідроудару, який призводить до тимчасового збільшення діаметру труби і відриву нальоту від стінок. Таке чищення називається гідродинамічним, або ударно-деформаційним. Гідроудар у трубі створюється пневмовибухом, отриманим у результаті включення і відключення насоса. Очищення трубопроводів пневмовибухом застосовується для відновлення пропускної здатності трубопроводів у промисловості та житлово-комунальному господарстві. Ця технологія ефективна у процесі очищення сталевих, чугунних, залізобетонних, керамічних і азбестових труб діаметром до 2 м.

Руйнування крижаного покриття.

Гідроудар у потоці рідини виникає внаслідок різкої зупинки руху цієї рідини, тобто стрибкоподібного зменшення швидкості. У результаті кінетична енергія рухомих мас рідини перетворюється на потенційну енергію підвищеного тиску. Оскільки швидкість змінюється стрибкоподібно, то відповідним чином у потоці зростає тиск. З курсу гідромеханіки відомо, що під час руху тіла в рідині за ним виникає попутний потік, тобто струмінь поступально рухається за тілом

рідини. Очевидно, що при гальмуванні тіла (зокрема, судна) попутний потік на своєму шляху зустрине перешкоду у вигляді зупиненого судна. Це призведе до зменшення швидкості частинок у попутному потоці і збільшення тиску в кормовій частині судна, тобто до гідроудару, який можна використовувати для збільшення ефекту руйнування льодового покриву за допомогою згинально гравітаційних хвиль.

«Підводний вибух».

Так називають образно потужний високовольтний електричний розряд у рідині, вперше отриманий інженером Л.А. Юткіним. Сам він своє відкриття назвав «електрогідравлічним ефектом», або електрогідрударом.

Електрична іскра проскакує між зануреними в рідину електродами в певних умовах, «виробляє» несподівану дію. Якщо поруч з іскрою виявиться тверде тіло, воно буде подрібнене у порошок, яким би твердим воно не було, а розташований над іскровим проміжком стовп рідини підкидається високо вгору. Що ж виходить при електричному розряді? У місці виникнення розряду миттєво утворюються тиск у десятки і сотні тисяч атм.

Мікроскопічний канал, по якому проскакує іскра, має надзвичайно велику щільність енергії, миттєва потужність досягає колосальних величин. Так, наприклад, від установки потужністю всього в 0,5 кВт можна отримати миттєву потужність у 100 тис. кВт і більше. Вода навколо іскри з величезною швидкістю розлітається в сторони, створюючи перший гідравлічний удар. Утворюється порожнеча – порожнина, яка відразу заповнюється водою, виходить ще один потужний гідравлічний удар – кавітаційний. Електрична енергія, таким чином, без всяких проміжних ланок переходить у механічну. Відкриття Юткіна виявилось можливим використовувати його з практичною метою [6].

На терені сучасності всі морські держави Світового співтовариства з контролю над операціями з баластних вод протягом останніх трьох десятиліть постійно вдосконалюють законодавчу базу щодо захисту своєї морської економічної зони від інвазивних живих істот у баластних водах суден. Прийнятий на початку 2017 р. норматив обробки баластних вод, згідно з Конвенцією IMO (International Maritime Organization – Міжнародна морська організація) по розділу D-2 (стандарт визначає максимальну кількість життєздатних організмів, які можуть міститися в баластних водах), посилив вимоги до їх очищення.

Набуття документом чинності є важливим кроком у боротьбі за збереження навколишнього середовища. Живі істоти в діаметрі 50 мкм і більше не мають перевищувати 10 одиниць на 1 м³ води, більш дрібних істот (10–50 мкм) на 1 м³ має бути менше 10 в баластних водах, які скидаються. Також лімітовано кількість бактерій у воді. Поряд із цими новими ви-

могами, посилюється контроль скидання баластних вод у прибережній зоні портів. Адміністрація портів для суден, які заходять, пропонує скидання баластних вод, що не відповідають нормативу додатка D-2, в берегові ємності для подальшого їх очищення за певну плату. Відповідно до міжнародних норм щодо забезпечення контролю за скиданням баластних вод у прибережних водах (економічної зони) державні органи мають право здійснювати контроль за баластними операціями суден.

Вчені-науковці ДІ НУ «ОМА» м. Ізмаїл не залишилися осторонь. Нами запропоновано використання електрогідрудару Юткіна в системі управління водним баластом для знезараження баластної води крупнотоннажних суден. Ця система була розроблена на базі ДІ НУ «ОМА», має багаторівневу дію на морську (баластну воду), пов'язану з різними механізмами, як хімічними, так і фізичними. Значну увагу звернено до «електрошокового» ефекту Юткіна, відповідно до інвазивних (чужорідних) видів, які перебувають у морській воді, завдаючи неабияку шкоду всьому океанічному простору [7].

За запропонованим винаходом, баластна вода, тричі оброблена (хімічними реагентами, фільтруванням і ультрафіолетовим опроміненням), надходить у блок високочастотного електрогідравлічного удару, в якому за рахунок електрогідравлічного розряду імпульсами, що чергуються, тривалістю 10⁻⁶ сек за миттєвої потужності імпульсу 50-1000 МВт створюється електрогідравлічний удар із високим ступенем іонізації ультразвукового ефекту, що призводить до знищення інвазивних включень і бактеріальних штамів.

ОБГОВОРЕННЯ ОТРИМАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ

Випробування установки для знезараження і очищення баластної води, за допомогою якої реалізується спосіб, було проведено на базі ДІ НУ «ОМА». Після обробки баластної води вміст всіх кишкових ентерококів став меншим на 30% із застосуванням електрогідравлічного удару, а із застосуванням електрогідравлічного удару і тонкої фільтрації через саморозвантажувальний фільтр із нановуглецевими трубками (один із найважливіших вузлів системи) відбувається 100%-ве знезараження. Застосування фільтру з нановуглецевими трубками може без додаткових опцій забезпечити 100%-ве знезараження. За бажанням судновласника, фільтруючі нанотехнологічні диски можуть бути замінені на диски дешевші з фібри, целюлози та інших матеріалів. Але за такої заміни необхідно буде підключити високочастотний електрогідравлічний удар. Установка універсальна і здатна працювати також з очищення та знезараження стічних вод міських каналізацій і підприємств [8].

ВИСНОВКИ

Значна зацікавленість нами у проявленому електроэффекті щодо знезараження водного баласту

приведе в майбутньому до «вибуху-збурення» сучасних систем переоснащення на морських світових судах із забезпеченням пікових результатів у морській галузі щодо застосування забутих тенденцій, запропонованих вченими світу.

Питання залишається досить недосконало вивченим, але згодом, провівши низку глибоких досліджень-експериментів, ми дійдемо консенсусу. Це стане дієвим важелем у вирішенні багатьох «болючих» питань захисту світових морських ресурсів і морської екології.

Однак варто не забувати негативні сторони гідроударів. Зокрема, виходячи з формули Жуковського

(яка визначає збільшення тиску при гідроударі) і величин, від яких залежить швидкість поширення ударної хвилі, для ослаблення сили цього явища або його повного запобігання можна зменшити швидкість руху рідини в трубопроводі, збільшивши його діаметр.

Для ослаблення сили цього явища варто збільшувати час закривання трубопроводу. Застосування – установка демпферних пристроїв.

Отже, у наш час, напередодні світової енергетичної кризи, варто відродити забуті системи з використанням гідроударів (за роки загальної електрифікації).

Справді, про технічний прогрес можна сказати: «Нове – це добре забыте старе».

REFERENCES

- [1] Komarov, A. S., Chizhik, K. I., Kalitsun, V. I., Drozdov, E. V. (2001). *Osnovy hidravliki i aerodynamiki* [Fundamentals of Hydraulics and Aerodynamics]. Moscow : Stroyizdat. [in Russian].
- [2] Zhukovsky, N. E. Pro hidravlichnyy udar v truboprovodakh [About Hydraulic Impact in Pipelines]. Report. Pp. 78–173 [in Russian].
- [3] Zhukovsky, N. E. (1899). Pro hidravlichni udary u vodoprovodnykh trubakh [About Hydraulic Impacts in Water Pipes] / Report / Proceedings of the Russian Water Supply Congresses, 4th RVS, April 4–11, in Odessa. Moskva : Kushnaryov and K°, 1901. Pp. 78–173 [in Russian].
- [4] Vodopostachannya ta vodovidvedennya (2002) [Water Supply and Drainage: Encyclopedia] / Compiled by: V. V Kobzar, A.V. Kobzar, ed. A. E Popova. Kiev : Logos. P. 71 [in Ukrainian].
- [5] Trembovsky, D. N. (1901). Pro nayprostishyy sposib vodopostachannya hidravlichnym taranom [About the simplest way of water supply with a hydraulic ram]. Proceedings of the Russian Water Conferences, V-th RVS, March 18–25, in Kyiv, Moskva : Kushnaryov and K°, 1902. Pp. 404–411 [in Russian].
- [6] Effekt Yutkina, gidroudar ili davleniye v sto tysyach atmosfer ot korotkogo elektroimpul'sa [Yutkin effect, water hammer or pressure of one hundred thousand atmospheres from a short electrical pulse. Dated 05.07.2013]. Retrived from: <http://zaryad.com/2013/07/05/effekt-yutkina-gidroudar-ili-davlenie-v-sto-tyisyach-atmosfer-ot-korotkogo-elektroimpul'sa/> [in Russian].
- [7] Danilian, A. G., Bykovets, N. P., Tiron-Vorobiova, N. B. (2018). Novyy pidkhid u lokalizatsiyi invazyvnykh prybul'tsiv u balastnykh vodakh mors'kykh suden [A new approach in the localization of invasive aliens in the ballast waters of sea vessels]. Proceedings of the VIII International Scientific and Practical Conference: International Trends in Science and Technology. Pp. 10–15.
- [8] Tiron-Vorobiova, N. B., Romanovska O. R., Maksimov S. B. (2019). Richkovyy transport Ukrayiny: suchasni realiyyi ta perspektyvy [River transport of Ukraine: current realities and prospects]. Notes of the VI T. National University Vernadsky, Series: Technical Sciences, 30 (69). pp. 116–120.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] Комаров, А. С., Чижик, К. И., Калицун, В. И., Дроздов, Е. В. (2001). Основы гидравлики и аэродинамики. Москва : «Стройиздат», 296 с.
- [2] Жуковский, М. С. Про гидравлический удар в трубопроводах. *Доповідь*. С. 78–173.
- [3] Жуковский М. С. Про гидравлические удары в водопроводных трубах. *Праці Російських водопровідних з'їздів*, IV-й РВС, 4–11 квітня, 1899 р., в м. Одесі. Москва : Тов. «Кушнар'єв і К°», 1901. С. 78–173.
- [4] Водопостачання та водовідведення: Енциклопедія / Упоряд.: В. В. Кобзарь, А. В. Кобзарь, під ред. А. Е. Попова. Київ : Логос, 2002. С. 71.
- [5] Трембовельский, Д. Н. Про самый простой способ водопостачання гидравлическим тараном. *Праці Російських водопровідних з'їздів*, V-й РВС, 18–25 березня, 1901 р., у м. Києві, Москва : Тов. «Кушнар'єв і К°», 1902. С. 404–411.
- [6] Эффект Юткина, гидроудар или тиск в сто тысяч атмосфер от короткого электроимпульса (2013). URL: <http://zaryad.com/2013/07/05/effekt-yutkina-gidroudar-ili-davlenie-v-sto-tyisyach-atmosfer-ot-korotkogo-elektroimpul'sa/>
- [7] Данилян, А. Т., Быковец, Н. П., Тирон-Воробьева, Н. Б. (2018) Новый подход в локализации инвазивных пришельцев в балластных водах морских судов. *Proceedings of the VIII International Scientific and Practical Conference, International Trends in Science and Technology*. Vol. 2. Pp. 10–15.
- [8] Тирон-Воробьева, Н. Б., Романовська, О. Р., Данилян, А. Г. (2019) Балластные воды: безопасность или угроза морских судов. *Вчені записки Таврійського національного університету імені В. І. Вернадського, серія: Технічні науки*. Том 30 (69). № 2. С. 188–192.