

БОЙОВЕ ЗАСТОСУВАННЯ ОВТ

УДК 62.505.5

С.В. Королько

Академія сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного, Львів

ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ АВТОНОМНОЇ МАГНІТОГІДРОДИНАМІЧНОЇ СИСТЕМИ ОЧИЩЕННЯ ВОДИ ДЛЯ ВІЙСЬКОВО-ТЕХНІЧНИХ ПОТРЕБ

У статті наведено аналіз перспектив застосування автономної магнітогідродинамічної системи очищення води з використанням постійних магнітів. Теоретично доведено та експериментально підтверджено ефективність роботи системи. Встановлено концентрацію іонів солей у водному середовищі до і після очищення магнітним полем залежно від типу забруднень. Визначено оптимальні швидкості потоку рідини, при яких досягається максимальний ступінь демінералізації води. Розглянуто основні напрямки використання очищеної води для військово-технічних систем.

Ключові слова: демінералізація, очищення води, магнітне поле, сила Лоренца.

Постановка проблеми

Використання нової техніки, озброєння, підвищення ефективності та збільшення масштабів застосування військ в нинішніх умовах безпосередньо впливає на зростання обсягів завдань інженерного забезпечення, одним із яких є добування та очищення води. Забезпечення військ водою має велике значення як при проведенні операцій в гірських місцевостях та районах, слабо забезпечених водою, так і при виникненні стихійних лих, повеней, а також при застосуванні зброї масового ураження [1, 2]. Незважаючи на значні запаси води гідросфери Землі, запаси прісних вод, яких найбільше потребує людина, є незначними і вичерпними. Тому сьогодні проблеми балансу прісних вод суходолу відносять до найбільш актуальних проблем гідрології. Більшість відомих методів демінералізації води та видалення іонів солей з розчинів, зокрема іонів важких металів, вимагають наявності хімічних реагентів, що тягне за собою значні витрати матеріальних ресурсів. Магнітна обробка водного середовища з допомогою постійних магнітів має ряд переваг порівняно з іншими методами, а саме: не вимагає жодних джерел зовнішньої енергії, витрат сировини чи матеріалів і забезпечує можливість керування рухом іонів в магнітному полі, а отже, безпосереднє видалення домішок з потоку.

Використання магнітного поля постійних магнітів для систем водопостачання є досить перспективним і набуває популярності. Разом з тим використання сильних магнітних полів з великим енергетичним потенціалом, які здатні впливати на заряди іонів, ще недостатньо вивчено і застосовано як метод очищення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Добування та очищення води можна проводити різними способами, найпоширенішими з яких є механічне

відстоювання, фільтрування, освітлення, розділення води та забруднювачів за допомогою центрифуг та гідроциклонів [1]. Ці методи дають змогу позбутися завислих твердих та масляних забруднень. Хімічне очищення, як правило, проводять на промислових підприємствах, де вода містить значну кількість шкідливих сполук, зокрема солей та іонів важких металів. При цьому забруднена вода піддається реакціям нейтралізації з подальшим осадженням та фільтрацією. Фізико-механічні способи базуються на флоатації, мембранних методах очищення, знебарвлення, окиснення або дезинфекції води [1]. Найбільш ефективним вважається метод зворотного осмосу (гіперфільтрації) – фільтрування питної води через напівпроникні мембрани під тиском. Це дає змогу очищати питну воду від високомолекулярних речовин, завислих частинок та колоїдів зі ступенем очищення 99,98%. Відомі способи очищення та демінералізації води за допомогою електродіалізу, дія якого заснована на процесі сепарації іонів солей в мембранному апараті під впливом постійного електричного струму. Основним робочим елементом діалізатора є катіонітові та аніонітові мембрани, однак вони потребують часті заміни. Кожен з цих методів має ряд переваг і недоліків. Більш ефективними вважаються акустичні, електромагнітні та гравітаційні методи очищення.

Висока якість одержання чистої води в кожному окремо взятому випадку, на жаль, супроводжується значними витратами коштів і матеріальних ресурсів. Крім цього, більшість із цих методів потребує постійного обслуговування, адже часто найдорожчі деталі фільтрів швидко зношуються, забруднюються, втрачають свої властивості і їх необхідно регулярно замінювати на нові.

Серед фізичних методів існує перспективний та цікавий метод магнітної обробки води. Відомі пристрої

для намагнічування води, застосування яких змінює структуру води і сприяє покращенню її властивостей, відомі здавна. Магнітна вода активізує ряд фізіологічних процесів, які відбуваються в живих організмах, зокрема, підсилює діяльність клітинних мембран, що відповідно сприяє потраплянню в живу тканину поживних речовин та виведення токсинів. Існує безліч теорій і гіпотез аномальних властивостей води, однак чіткого науково підтверженого уявлення про структуру та її властивості на сьогодні немає. Автори [5] вважають, що організуючу дію на водні структури, яка відбувається при дії змінного магнітного поля в межах від 0,06–400 мкТл, виявляють лише ті електромагнітні поля (ЕМП), які є високоорганізовані та інформаційно структуровані.

Відносно сильні електромагнітні поля із змінною частотою, на відміну від слабких, рідко викликають помітні біологічні ефекти. Це пов'язано з тим, що великі амплітуди ЕМП призводять до великих частот зсуву фаз, які не співпадають за порядком величини з природними частотами іонів і молекул в геомагнітному полі і тому не зумовлюють нової якості системи. Тим не менше вони певним чином впливають на іони та заряджені частинки, зумовлюючи їх коливання або рух в заданому напрямі [3, 5].

Теорії щодо магнітного впливу на воду можна поділити на колоїдні, іонні, водяні та динамічні. Прихильники колоїдної теорії (рис. 1) стверджують, що магнітне поле, діючи на воду, може руйнувати колоїдні частинки, які в ній присутні. Таким чином, центром кристалізації замість «поверхонь труб» стають активізовані частинки (іони), що легко видаляються з потоку у вигляді шламу. Осад на поверхні труб не утворюється.

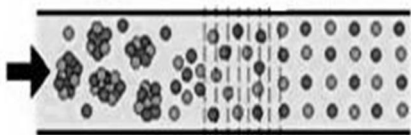


Рис. 1. Руйнування колоїдних частинок під дією магнітного поля

Наприклад, наявність іонів заліза інтенсифікує появу зародків кристалізації безпосередньо в водному розчині [6]. Прихильники іонної теорії пов'язують дію магнітного поля з гідратацією іонів. Вплив магнітного поля на воду та її домішки пояснюється поляризаційними явищами та деформацією іонів солей. Гідратація іонів при магнітній обробці зменшується, іони зближуються, й при цьому спостерігається утворення центрів кристалізації [5, 6]. Прихильники водяної теорії припускають, що магнітне поле впливає безпосередньо на структуру асоціатів води (рис. 2). Це призводить до деформації водневих зв'язків або перерозподілу молекул води у тимчасових асоціативних утвореннях, що також тягне за собою зміну фізико-хімічних характеристик процесів, які проходять в системі [5, 6].

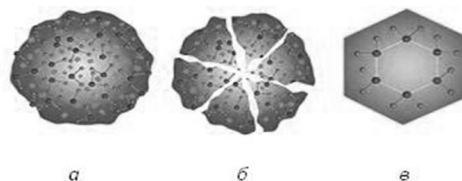


Рис. 2. Зміна структури асоціатів під дією магнітного поля: а, б – асоціати води, в – змінена структура води під дією магнітного поля

На сьогодні найбільш популярною є динамічна теорія. Потік в'язкої рідини згідно з молекулярно-кінетичною теорією зводиться до трансляційного руху іонів і молекул рідини в напрямку руху прикладеної сили. Будь-яку рідину вважають механічною системою, яка складається з незалежних частинок (іонів) та молекул води, що знаходяться в тепловому русі. На заряджені домішки, що рухаються в потоці води під дією магнітного поля, діє сила Лоренца, яка намагається змінити траєкторію руху цих частинок у відповідному напрямі (рис. 3).

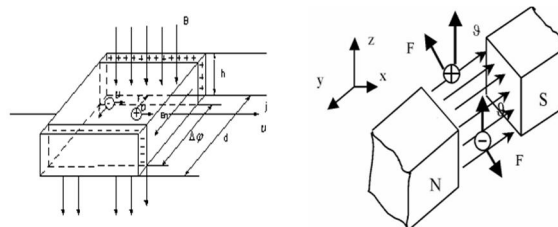


Рис. 3. Рух частинок під дією магнітного поля

Дія сили Лоренца спричиняє зміну траєкторії руху забруднень. Виникає макроскопічний потік води, де уся маса нейтральних молекул «тягне» за собою одночасно множину низькомолекулярних катіонів та аніонів, причому джерелом енергії слугує енергія електричного поля, а магнітне поле виконує керуючі функції. Суттєву роль в системі відіграють електричні поля, викликані електричним зарядом поверхні розділу фаз і сумарним об'ємним зарядом іонів.

Найбільш притаманною теорією дії магнітного поля на іони з точки зору очищення та демінералізації води є динамічна теорія [3]. В світлі цього ведуться перспективні розробки магнітогідродинамічних систем (МГД), які здатні забезпечувати ефективне очищення води від іонізованих та забруднених частинок [3, 4, 6].

Магнітогідродинамічна технологія ґрунтується на взаємодії рухомих частинок, які мають нескомпенсований електричний заряд з сильним магнітним полем. А оскільки переважна більшість домішок у водних розчинах перебувають у вигляді іонів або стають гідратованими з відповідним поверхневим зарядом, під час руху води в магнітному полі на ці частинки буде діяти сила Лоренца. Її величина залежить від швидкості руху частинки, величини її заряду та індукції магнітного поля, а напрямок дії визначається за „правилом лівої руки” і залежить від знаку заряду.

Внаслідок зміни траєкторії руху забруднень позитивно заряджені іони солей, катіони та негативно заряджені аніони будуть концентруватись на протилежних сторонах каналу. На виході робочого каналу проходить механічне розділення основного потоку рідини із вхідною концентрацією забруднень на три потоки, в кожному з яких концентрація забруднень буде різною.

Теоретично така система мала би працювати ідеально. Проте наявність поляризованих дипольних молекул води внаслідок електростатичного притягання до відповідних протилежних зарядів більш сильного іона утворює конгломерати з іона та поляризованих диполів води, що значно утруднює ефективність дії магнітного поля. Щоб частково уникнути цього негативного явища, рух потоку води в каналі має бути турбулентним. Це дозволить дещо змінити структуру води за рахунок зменшення динамічної в'язкості та зменшити гідратованість іонів. В результаті інтенсивного перемішування ефект електростатичного притягання між іонами і диполями води буде зменшено в декілька разів.

З іншого боку, висока швидкість потоку при турбулентному русі буде створювати вихровий ефект, що призведе до неминучого інтенсивного перемішування і ефект розділення іонів буде знижено. Крім цього, іони не будуть встигати розділятися в потоці безпосередньо перед їх механічним розділенням.

Згідно з [4], перехід ламінарного потоку рідини в турбулентний для води із середньою в'язкістю та поверхневим натягом знаходиться в межах числа Рейнольдса Re від 8 до 30 тисяч. Саме цей перехід і визначатиме ефективність МГД системи.

Ступінь очищення іонів за МГД технологією залежить від просторової конфігурації каналів системи, швидкості та інтервалу часу перебування потоку води в зоні дії магнітного поля і характеру поведінки води в каналах системи.

Відомо [4], що магнітна складова в МГД системі діє практично на всі групи розчинних у воді іонних домішок та впливає як на хімічні, так і на фізичні процеси, що проходять у водному середовищі. Таким чином, створення і дослідження МГД системи очищення води є актуальною задачею як для покращення екологічної ситуації в сфері побутових потреб, так і для потреб військової техніки і озброєння.

Мета статті

Дослідити вплив швидкості потоку забрудненої води Яворівського полігону під впливом сильного магнітного поля в МГД системі на ступінь демінералізації. З'ясувати, за яких граничних умов буде спостерігатися максимальне розділення іонів у відповідних каналах системи. На підставі отриманих експериментальних даних в'яснити, на які типи іонів – забруднювачів водного середовища – магнітна складова буде впливати найбільше. Запропонувати використання МГД технології очищення води для військових потреб.

Виклад основного матеріалу

Суть методу магнітогідродинамічного очищення базується на використанні внутрішньої енергії потоку рідинного середовища, яке при взаємодії з магнітним полем впливає на внутрішні зв'язки між молекулами води і забруднюючими домішками. Магнітогідродинамічна установка складається з серії постійних магнітів кільцевої форми, між якими розташована немагнітна труба овального перерізу з внутрішнім діаметром 30 мм^2 у вигляді прямої та зворотної спіралі, а також канал прямокутного перерізу з розмірами $4 \times 8 \text{ мм}$ на виході, який має потрійне розгалуження. Зокрема, на периферії прямокутного каналу є можливість регулювати концентрацію іонів солей в водному розчині шляхом зміни ефективної площі перерізу внутрішніх каналів (рис. 4).

В якості джерела магнітної індукції використано неодимові магніти, магнітна індукція яких в просторі робочого каналу становила $1,4 \text{ Тл}$. Як досліджуваний зразок використано забруднену воду з джерела Яворівського полігону Львівської області. Для визначення

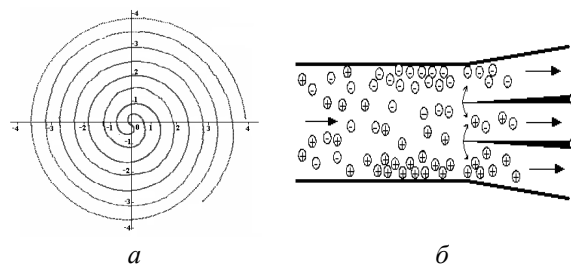


Рис. 4. Схематичне зображення конструкції (а) та вигляд трійного вихідного каналу МГД системи (б)

концентрації іонів в розчині застосовували титриметричний метод аналізу. Дослідження включали визначення вмісту іонів кальцію, магнію і заліза, а також хлоридів, сульфатів та гідрокарбонатів. Зокрема, на периферії каналу перед розгалуженням встановили однакову ефективну площу перерізу рухомих аксіальних пластин, що забезпечувало однакову швидкість витікання води в кожному з вихідних каналів. Змінюючи швидкість подачі забрудненої води, визначали концентрацію іонів до і після очищення. Ефективність роботи МГД системи оцінювали за коефіцієнтом сумарного ступеня демінералізації води на виході кожного з каналів у відповідності з розподілом іонів на аніони та катіони. Результати фізико-хімічного аналізу води наведені (табл. 1).

Таблиця 1

Вихідна концентрація іонів						
Іони	Ca^{2+}	Mg^{2+}	$\text{Fe}^{2+}, \text{Fe}^{3+}$	Cl^-	SO_4^{2-}	HCO_3^-
$C, \text{ мг/л}$	160,0	22,7	0,29	60,8	38,6	394,0
Вимоги ГДК	-	-	0,3	100	500	-

Із аналізу вихідної концентрації іонів, вода Яворівського полігону згідно з нормами ГДК гранично відповідає нормативним вимогам. Однак висока твердість (вміст гідрокарбонатів кальцію) та значна кількість

іонів загального заліза суттєво погіршують навколишній стан цього регіону.

З метою встановлення оптимальної швидкості подачі забрудненої води в МГД систему змінювали швидкість потоку води та визначали концентрації іонів в кожному з вихідних каналів. Встановлено (рис. 5), що оптимальна швидкість, яка забезпечує зменшення концентрації іонів кальцію та іонів гідрокарбонату в одному із каналів системи, становить 3,3 та 3,0 м/с відповідно.

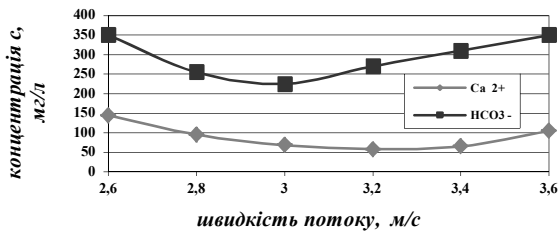


Рис. 5. Зміна концентрації іонів залежно від швидкості потоку води

Ламінарний потік рідини при швидкостях до 2,5 м/с не дає змоги, провести сепарацію гідратованих іонів. Це пов'язано, очевидно, з тим, що заряди іонів практично скомпенсовані диполями молекул води. Найбільш оптимальна швидкість потоку рідини для іонів Mg^{2+} ; Fe^{2+} ; Fe^{3+} ; Cl^- ; SO_4^{2-} знаходиться в межах 2,8 – 3,2 м/с (рис. 6).

Очевидно, що для кожного виду забруднень швидкість, при якій буде забезпечуватись максимальне розділення іонів, буде різною. Крім цього, сумісний вплив різних іонів та молекул води по-різному може впливати на процес дисоціації молекул розчиненої речовини. Аналогічно можна припустити, що для інших іонів швидкість протоку рідини буде знаходитись в межах 2,8 – 3,6 м/с.

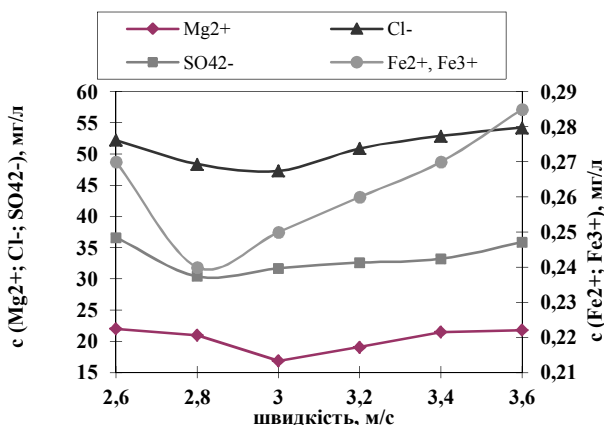


Рис. 6. Зміна концентрації іонів залежно від швидкості потоку води

Для подальших досліджень забруднену воду пропускали через МГД систему із фіксованою швидкістю

3,2 м/с. При цьому визначали концентрацію іонів в кожному із вихідних каналів. Аналіз результатів показав (табл. 2), що в першому каналі з "позитивним" знаком вміст іонів кальцію, магнію та заліза зменшується з 160,0 до 64,0; з 22,7 до 17,3 та з 0,29 до 0,25 мг/л відповідно. В середньому "нейтральному" каналі виявлено інтенсивне зменшення концентрації іонів магнію та заліза, причому концентрація іонів кальцію зменшилась лише до 82,5 мг/л.

Таблиця 2

Концентрація іонів на вході та виході каналів МГД системи

Іони	Концентрація іонів, мг/л			
	Вхідний канал	Канал 1 (+)	Канал 2 (0)	Канал 3 (-)
Ca^{2+}	160,0	64,0	82,5	145,0
Mg^{2+}	22,7	17,3	11,8	20,5
Fe^{2+} , Fe^{3+}	0,29	0,25	0,05	0,15
Cl^-	60,8	56,2	49,8	44,9
SO_4^{2-}	38,6	35,8	34,9	29,5
HCO_3^-	394,0	225,0	360,4	278,2

В третьому "електронегативному" каналі концентрація катіонів кальцію і магнію практично не зменшилась. Натомість, вміст іонів заліза зменшився практично в два рази. Слід відзначити, що найбільший ступінь очищення спостерігається для іонів кальцію у першому каналі, що добре корелюється з теорією. Зменшена концентрація іонів Mg^{2+} ; Fe^{2+} ; Fe^{3+} , яка виявлена в електронейтральному потоці МГД системи, зумовлена, ймовірно, значно меншою кількістю цих іонів у порівнянні з іонами переважаючих елементів.

Для "електропозитивного" каналу вміст аніонів Cl^- ; SO_4^{2-} ; HCO_3^- зменшився відповідно з 60,8 до 56,2; з 38,6 до 35,8 та з 394,0 до 225,0 мг/л. В середньому каналі ступінь очищення аніонів Cl^- та SO_4^{2-} дещо збільшився, до 49,8 та 34,9 мг/л відповідно. Однак, концентрація гідрокарбонат-іонів зменшилась незначно до 360,4 мг/л. В "електронегативному" каналі МГД системи виявлено максимальне зменшення концентрації іонів хлору та сульфат-іонів, натомість вміст гідрокарбонат-іонів знизився лише до 278,2 мг/л.

Це аномальне явище свідчить про те, що під впливом магнітної індукції проходять процеси сумісних взаємовпливів між іонами забрудненої частинки та молекулами води, і перерозподіл ступеня гідратації в розчині буде зміщений в той чи інший бік для відповідного іона. Крім цього, присутність домішок інших іонів в незначній кількості може суттєво вплинути на ступінь гідратації основних іонів.

Встановлено, що найбільшого ступеня демінералізації для іонів Ca^{2+} та HCO_3^- можна досягнути в "електропозитивному" каналі. Це явище можна пояснити, ймовірно, значно більшою кількістю іонів

кальцію та гідрокарбонат-іонів у порівнянні з іншими іонами, що добре корелюється з даними про ступінь пересичення іонів з утворенням електронейтральних молекул та ймовірним зміщенням рівноваги в системі $\text{CaCO}_3 = \text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ і проходженням реакцій комплексоутворення.

Аналізуючи МГД систему, можна стверджувати, що на рух іонів в магнітному полі першочергово буде впливати ступінь іонізації частинок, який буде залежати від часу релаксації іона та диполів води. Час релаксації, за який активний іон компенсує на себе необхідну кількість диполів молекул води, і є тим моментом, коли магнітна складова може вплинути на заряд іона. Слід відзначити, що рух іона в системі зумовлений не лише ступенем його гідратації та силою взаємодії із диполями води, а й масою цього іона. За даними експериментальних досліджень, встановлено, що ступінь очищення катіонів практично в два рази перевищує ступінь очищення аніонів, що пов'язано з значно меншою їх масою. Слід зауважити, що іони з меншою молекулярною масою будуть швидше притягуватись до протилежних сторін каналу, разом з тим їм буде важче подолати силу взаємодії турбулентного потоку рідини для зміни траєкторії руху частинки. Крім цього відомо, що у випадку ковалентного полярного зв'язку аніони значно більше відтягують не себе електронну пару.

Таким чином, для кожного окремо взятого іона МГД установка буде працювати з різною ефективністю. Так, використання універсальної установки практично неможливе, оскільки чим більше в розчині буде різномірних іонів, тим більша складова їх взаємовпливу і тим важче досягнути необхідного ступеня демінералізації води. В кожному окремому випадку, залежно від іонного складу розчину, ступінь очищення в тому чи іншому каналах системи може змінюватись навіть всупереч дії сили Лоренца.

Основним завданням, яке стоїть перед розвитком МГД установок, є створення умов, які будуть забезпечувати максимальну активізацію іонів під дією магнітного поля, що приведе до руху іонів в заданому напрямі. Це явище проявляється в аномальних кінетичних та магнітних властивостях кожного окремо взятого іона та системи диполів розчинника, який оточує даний іон [4]. У випадку сумісного впливу декількох іонів з різним знаком заряду, з одного боку, деякі частинки (іони) можуть виступати як пастки для інших іонів або вільних носіїв заряду; з другого боку, вони можуть бути центрами активації цих іонів.

Найбільш доцільним є використання МГД установок, призначених для очищення конкретних визначених іонів при заданих швидкостях потоку води. Перспективним є створення МГД систем із замкнутим циклом обробки.

Висновки

Встановлено ефективність роботи МГД системи очищення води від іонізованих забруднених домішок. Знайдено оптимальні значення швидкостей потоку рідини, яка проходить через магнітне поле для іонів кальцію, магнію та заліза, а також іонів хлору, сульфата гідроксид-іонів, що становить в межах від 1,8 до 3,3 м/с. Залежно від різного іонного складу забруднених вод ступінь очищення в кожному з каналів системи буде відрізнятись, причому навіть у бік збільшення концентрації, що зумовлено взаємним перерозподілом зарядів іонізованих частинок під дією магнітного поля. Таким чином, використання МГД системи шляхом зміни кута повороту внутрішньої пластини будь-якого з вихідних каналів створює умови для регулювання концентрації іонів солей в заданих межах. Система має широке застосування і може використовуватись як в побуті, промисловості (регулювання потрібного складу та концентрації вмісту солей у воді), так і в нестационарних умовах для потреб особового складу та військової техніки.

Список літератури

1. Запольський А.К. *Основи екології: Підручник для студ. техніко-технолог. спец. вищих навч. закладів [К.М. Ситник (ред.). – 2 вид., доп. і перероб.] – К.: Вища школа, 2004.*
2. Фтемов Ю.О. / *Досвід забезпечення військ водою // Матеріали тез доповіді П'ятої н.т.к. "Перспективи розвитку озброєння та військової техніки Сухопутних військ", 15-17 травня – Львів: Вид-во АСВ. – 2012. – С. 119–121.*
3. Миненко В.И. *Электромагнитная обработка воды в теплоэнергетике. – Харьков: ХГУ, 1981. – 96 с.*
4. Патент України № 63514 А. Пристрій для очистки рідини в магнітному полі / Ю.В. Шабатура, О.П. Григор'єв, М.Ю. Шабатура. *Опублік. 2004 Бюл. № 1.*
5. Бинги В.Н., Савин А.В. *Физические проблемы действия слабых магнитных полей на биологические системы // Успехи физ. наук. – 2003. – Т.173. – №3. – С. 265 – 300.*
6. Терентьев О.М., Можаровська О.А. *Фізико-математична модель руху заряджених частинок водного середовища в постійному аксіально-симетричному поперечному магнітному полі пастки // Наукові вісті НТУУ КПІ. – № 3. – 2007. – С. 94 – 100.*

Рецензент: д.т.н., проф. Ю.В. Шабатура, завідувач кафедри електромеханіки та електроніки, Академія сухопутних військ, Львів.

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АВТОНОМНОЙ МАГНИТОГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ОБРАБОТКИ ВОДЫ ДЛЯ ВОЕННО-ТЕХНИЧЕСКИХ НУЖД

С.В. Королько

В статье изложен анализ перспектив применения магнитогидродинамических систем с использованием постоянных магнитов для очистки и деминерализации сточных вод. Теоретически доведена и практически подтверждена эффективность работы таких систем. Установлены исходная и конечная концентрации ионов солей в водной среде до и после очищения магнитным полем в зависимости от состояния загрязнений. Определено оптимальную скорость подачи водных загрязнений, при которых устанавливается максимальный коэффициент деминерализации. Предложено пути использования очищенных вод для военно-технических нужд.

Ключевые слова: деминерализация, очистка воды, магнитное поле, сила Лоренца.

PROSPECTS USING AUTONOMOUS MAGNETIC HYDRODYNAMIC SYSTEM CLEANING WATER FOR MILITARY-TECHNICAL NEEDS

S. Korolko

The article has analysis of prospects using of magnetic hydrodynamic system cleaning water with the help of magnetic field of permanent magnets. Theoretically proved and experimentally confirmed effective work this system. Defined concentration of salt ions in water environment before and after cleaning by the magnetic field depending on the state of pollution. Defined the optimum flow liquid speed which achieve maximum degree of water demineralization. Suggested ways of using cleaning water for military-technical systems.

Key words: demineralization, cleaning water, magnetic field, Lorentz force.

УДК 623.4

О.С. Петрученко, О.І. Хитряк, Л.Д. Величко

Академія сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного, Львів

ЗМЕНШЕННЯ ЕФЕКТИВНОЇ ДІЇ КУЛІ, ОСКОЛКА СНАРЯДА НА ОБ'ЄКТ ЗАХИСТУ

У статті запропонований спосіб підвищення балістичної стійкості броні шляхом розміщення в ній шару пружного матеріалу, що знаходиться між жорсткою пластиною та об'єктом захисту. Визначено й математично описано закономірності між основними параметрами броні вказаної конструкції. Проведено теоретичний аналіз механічних процесів, що мають місце при взаємодії кулі із бронєю у момент її влучання. При цьому враховано такі параметри, як вага жорсткої пластини, пружність матеріалу демпферної прокладки, вага та швидкість кулі у момент влучання.

Ключові слова: жорстка пластина, пружний матеріал, куля, броня

Актуальність теми

На даний час питання підвищення безпеки людей та бойових машин шляхом використання засобів бронезахисту є актуальною необхідністю. Найбільш ефективною у цьому аспекті вважається броня [1-3]. Не зважаючи на те, що сучасний ринок пропонує широкий вибір броні, досвід експлуатації показує, що не завжди вона може забезпечити необхідний рівень захисту. Причиною цього є нераціональне формування структури пакета матеріалів і неконструктивне рішення

окремих вузлів [3]. Але, на жаль, наука досі не спромоглася винайти броню, яка б надійно захищала від всіх типів куль. Відповідно до різних фізичних властивостей броні, вона може витримувати влучання одних і не витримувати зовсім інших типів набоїв, які останнім часом вдосконалюються в бік підвищення пробивної дії кулі.

Зазвичай у броню для зупинки куль вставляються жорсткі бронепанелі, що виготовляють із захисних композитних матеріалів, таких як сталь, кераміка, балістичні армідні тканини [4]. Відомі