

УДК 623.459.7

doi: 10.20998/2220-4784.2018.40.03

*О. В. ГАЛАК, М. Д. САХНЕНКО, М. В. ВЕДЬ, С. М. МЕНЬШОВ, О. П. КЛИМОВ***ВИКОРИСТАННЯ ОКСИДУ ТИТАНУ ДЛЯ ДЕЗИНТЕГРАЦІЇ НЕБЕЗПЕЧНИХ ХІМІЧНИХ РЕЧОВИН ЗА ДОПОМОГОЮ ФОТОКАТАЛІЗУ**

Покриття TiO_2 мають високу адгезію до поверхні. Будь-яку поверхню з нанесенням TiO_2 легко позиціонувати для опромінення світлом, на відміну від порошків, які треба ще якось розмістити і зафіксувати на поверхні. Доведено, що на поверхні TiO_2 можуть бути окиснені (мінералізовані) практично будь-які органічні сполуки. На практиці будь-який фотокаталітичний очищувач повітря включає в себе пористий носій з нанесеним TiO_2 , який опромінюється ультрафіолетовими променями і через який продувається повітря. Фотокаталіз придатний для побутового використання, оскільки може відбуватися при кімнатній температурі. Наприклад, термокаталітичний спосіб руйнування шкідливих речовин вимагає попереднього нагрівання повітря до температури понад 200°C . Фотокаталіз руйнує речовини, які проникають навіть через фільтри на основі активованого вугілля. Розглянуті особливості формування оксидних покриттів плазмово-електролітичним оксидуванням сплавів титану. Запропоновано дообладнати конструкцію систем колективного захисту на бронетехніці та стаціонарних об'єктів додатковим встановленням у фільтр-поглинач мережки з нанесеним шаром каталітичного матеріалу, що буде нейтралізувати різні види небезпечних хімічних речовин за рахунок фотокаталітичного очищення повітря.

Ключові слова: фотокаталіз, фільтр поглинач, оксид титану, небезпечні хімічні речовини, повітроочищувач, каталітичний матеріал, система колективного захисту, плазмово-електролітичне оксидування.

*А. В. ГАЛАК, Н. Д. САХНЕНКО, М. В. ВЕДЬ, С. Н. МЕНЬШОВ, О. П. КЛИМОВ***ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОКСИДА ТИТАНА ДЛЯ ДЕЗИНТЕГРАЦИИ ОПАСНЫХ ХИМИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ С ПОМОЩЬЮ ФОТОКАТАЛИЗА**

Покрывтие TiO_2 обладает высокой адгезией к поверхности. Любую поверхность с нанесением TiO_2 легко позиционировать для облучения светом, в отличие от порошков, которые надо еще как-то разместить и зафиксировать на поверхности. Доказано, что на поверхности TiO_2 могут быть окислены (минерализованы) практически любые органические соединения. На практике любой фотокаталитический очиститель воздуха включает в себя пористый носитель с нанесенным TiO_2 , который облучается ультрафиолетовыми лучами и через который продувается воздух. Фотокаталіз пригоден для бытового использования, так как может происходить при комнатной температуре. Например, термокаталитический способ разрушения вредных веществ требует предварительного нагрева воздуха до температуры свыше 200°C . Фотокаталіз разрушает вещества, которые проникают даже через фильтры на основе активированного угля. Рассмотрены особенности формирования оксидных покрытий плазменно-электролитическим оксидированием сплавов титана. Предложено дооборудовать конструкцию систем коллективной защиты на бронетехнике и стационарных объектов дополнительным установлением в фильтр-поглотитель сетки с нанесенным слоем каталитического материала, который будет нейтрализовать различные виды опасных химических веществ за счет фотокаталитической очистки воздуха.

Ключевые слова: фотокаталіз, фільтр поглотитель, оксид титана, опасные химические вещества, воздухоочиститель, каталитический материал, система коллективной защиты, плазменно-электролитическое оксидирование.

*A. V. GALAK, N. D. SAKHNENKO, M. V. VED, S. N. MENSHOV, A. P. KLIMOV***USE OF TITANIUM OXIDE FOR DISINFECTION OF DANGEROUS CHEMICAL SUBSTANCES BY PHOTOCATALIS**

TiO_2 coatings have high adhesion to the surface. Any surface applied with TiO_2 is easy to position for irradiation with light, in contrast to powders that need to be somehow placed and fixed on the surface. It has been proved that practically any organic compounds can be oxidized (mineralized) on the TiO_2 surface. In practice, any photocatalytic air purifier includes a porous carrier with TiO_2 deposited, which is irradiated with ultraviolet rays and through which the air is blown. Photocatalysis is suitable for household use, as it can occur at room temperature. For example, the thermocatalytic way of destroying harmful substances requires preheating of air to temperatures above 200°C . Photocatalysis destroys substances that penetrate even through activated carbon-based filters. Peculiarities of formation of oxide coatings by plasma-electrolytic oxidation of titanium alloys are considered. Therefore, it is proposed to equip the design of collective defense systems on armored vehicles and stationary objects with the additional installation in a filter-sink of a network with a deposited layer of catalytic material that will neutralize various types of hazardous chemicals by photocatalytic purification of air by titanium oxides.

Keywords: photocatalysis, filter absorber, titanium oxide, hazardous chemicals, air cleaner, catalytic material, collective defense system, plasma electrolytic oxidation.

Вступ. Світова спільнота знає всю небезпеку, хімічної зброї. Протягом цілого століття людство, прагнучи запобігти небезпечним наслідком застосування хімічної зброї, вело активну боротьбу за її заборону. Проте, залишається чимало можливих джерел виникнення хімічної небезпеки. Це можуть бути терористичні акти, супутні або зумисні аварії на хімічних підприємствах, агресія з боку неконтрольованої світовою спільнотою держави тощо. Разом із тим небезпека неконтрольованого поширення і застосування хімічної зброї, усвідомлення того факту, що значні обсяги накопичених отруйних речовин самі по собі являють велику загрозу в силу труднощів забезпечення безпеки їх зберігання є актуальною проблемою

сьогодня [1]. Так, у вересні 2018 року через порушення технології на підприємстві «Кримський титан», було здійснено викид та хімічне забруднення території, а в подальшому розповсюдження забрудненої хмари на територію Херсонської області небезпечної хімічної речовини оксид сульфуру (VI) SO_3 . У випадку вдихання та потрапляння на шкіру і слизові оболонки вона є небезпечною, в деяких випадках вдихання можливої летальний кінець, а при безпосередньому контакті із шкірою та очима викликає некротичні опіки.

© Галак О.В., Сахненко М.Д., Вєдь М.В., Мєньшов С.М.,

Клімов О.Р., 2018

Результат цієї екологічної катастрофи погіршив стан здоров'я людей та привів до загибелі врожаю на полях.

Руйнування потенційно-небезпечних об'єктів, які знаходяться в державі, може призвести до зараження значних територій, до зон зараження потраплять як цивільне населення, так і підрозділи, задіяні в Операції об'єднаних сил (далі – ООС). Внаслідок цього підрозділи можуть понести значні втрати особового складу, що вплине на боєздатність частин та підрозділів, залучених для виконання завдань в районі проведення ООС [2].

Існуючі фільтровентиляційні установки (агрегати) стаціонарні та на бронеоб'єктах, фільтруючі системи не захищають особовий склад від небезпечних хімічних речовин (далі – НХР) таких, як хлор, аміак, сірчаний ангідрид і т.п. Від ступеню захищеності особового складу залежить ефективність виконання завдань за призначенням, тому необхідно шукати підходи до вирішення окресленої проблеми.

Пріоритетним напрямком розвитку є покращення ефективності роботи фільтруючих систем за рахунок додаткового встановлення у фільтр-поглинач мережки з нанесеним шаром каталітичного матеріалу для знешкодження НХР і токсинів різної природи [3].

Викладання основного матеріалу досліджень.

Фотокаталітичні властивості діоксиду титану залежать від його морфології, кристалічної форми, розміру частинок, питомої поверхні. Найбільш відомі модифікації анатаз, рутил, брукіт і нова ета модифікація η -TiO₂ (η -TiO₂). Найбільший комерційний інтерес представляє діоксид титану анатазної кристалічної модифікації, на поверхні якого під впливом РФ випромінювання можуть бути окиснені до вуглекислого газу і води органічні сполуки різного складу, в тому числі отруйні речовини. За кордоном фотокаталітичні очищувачі повітря міцно увійшли в життя і побут громадян. Японія, США і Європа використовують фотокаталітичні очисники в кожному приміщенні, де необхідно очистити повітря від шкідливих органічних забруднювачів, бактерій і вірусів, цвілевих грибів. Це в першу чергу лікувальні установи для населення, дитячі та навчальні заклади, а також спортивні комплекси і житлові приміщення. Робота таких приладів заснована на фотокаталітичному окисненні органічних домішок і мікроорганізмів на поверхні пористого носія з впровадженням фотокаталізатором під впливом ультрафіолетового опромінювання.

Оксид титану при поглинанні кванта світла з енергією більше 3,2 eV (це світло з довжиною хвилі менше 390 нм - ультрафіолет) генерує вільні носії зарядів - негативні електрони і позитивні вакансії (дірки). Електрони і дірки, виходячи на поверхню TiO₂, вступають в окисно відновні реакції з киснем і парами води з повітря або водою.

В процесі цих реакцій утворюються сильні окисники, які безпосередньо і взаємодіють з різними органічними забрудненнями. Утворення такого роду частинок робить поверхню TiO₂ дуже сильним окиснювачем, що дозволяє розкласти шкідливі речовини шляхом їх фотокаталітичного окиснення до безпечних H₂O і CO₂ [4].

Слід зазначити, що оксид титану, який зустрічається в природі в різних модифікаціях (анатаз, рутил, брукіт) як правило, не є фотокаталізатором. Для отримання фотокаталітичних властивостей TiO₂ повинен бути синтезований в певних умовах і мати нанорозмірну структуру.

В роботі [5] вказувалось, що на поверхні TiO₂ можуть бути окиснені (мінералізовані) до CO₂ і H₂O практично будь-які органічні сполуки. Якщо до складу сполук входять азот або атоми галогену X, то в продуктах реакції будуть спостерігатися HNO₃ і HX, що змушує використовувати постфільтри з активованого вугілля. Єдиним відомим прикладом сполук, що не піддаються на поверхні TiO₂ окисненню під дією ультрафіолетових променів, є тетрахлорметан.

Мета роботи полягає в проведенні аналізу існуючих фотокаталітичних очищувачів, які використовувались для очищення повітря, і дослідженні каталітичного матеріалу для подальшого нанесення на сплави TiO₂. Це дозволить окреслити пропозиції щодо каталітичного матеріалу, який буде нанесено на мережку для подальшого її встановлення у фільтрувальні системи.

В роботі [6, 7] вивчений діоксид титану, як ефективний фотокаталізатор, що руйнує широкий спектр токсичних хімічних речовин. Як правило, фотокаталізатори на основі діоксиду титану виготовляється в формі порошків, що ускладнює їх широке практичне застосування в різних технологіях.

Таблиця 1 – Склад електролітів та режими формування покривів

Покриття	Оксидні покрови на сплавах титану
Концентрація компонентів, моль/дм ³	
K ₄ P ₂ O ₇	1,0
KMnO ₄	0,1–0,3
pH	9,0
t, °C	20–25
Режим обробки	
Густина струму, А/дм ²	1–5
Час обробки, хв	30–60
Напруга, В : іскріння процесу ПЕО	65 130–140

Вивчення особливостей формування оксидних покривів плазмово-електролітичним окисненням (ПЕО) сплавів алюмінію та титану в пірофосфатних електролітах за наявності солей перехідних металів проводились в роботі [8].

Для формування оксидних покриттів використовували прямокутні зразки сплавів VT1-0 та $K_{12}M_2MgH$ робочою площею 0,2–1,0 м². Підготовка поверхні включала операції механічної обробки (шліфування наждачним папером), знежирення та травлення у лужному розчині з каскадним промиванням теплою та холодною водою. Схема лабораторної установки включала електрохімічну ванну із примусовим перемішуванням та охолодженням електроліту, промислове джерело постійного струму Б5-50 та високоомний вольтметр для контролю напруги процесу оксидування. Склад електролітів та режими ПЕО наведено у табл. 1.

Вказано, що ПЕО сплаву VT1-0 в електролітах на сплавах титану перебігає без істотних ускладнень, тому його електрохімічну обробку можна здійснювати одностадійно за режимами згідно табл. 1. У зазначених манган вмісних електролітах на сплавах титану формується емалеподібна рівномірна поверхня, яка складається зі сфероїдальних зерен (рис. 1). Також за цих умов проявляється характерна для оксидів титану трубчаста мікропорувата структура.

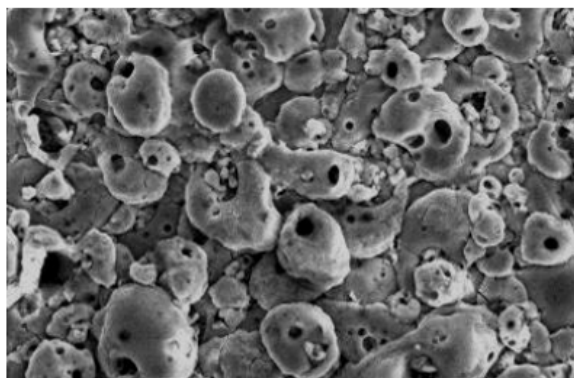


Рис. 1 – Морфологія поверхні та вміст допантів (кобальту, мангану) в сформованих оксидних покриттях на сплавах VT1-0

В роботі [9] для експерименту плазмово-електролітичного оксидування використовували пластину титану марки VT1-0 розміром 0,5 × 2,5 × 0,1 см. Зразки були механічно полірованими для видалення утворених дефектів під час різання металу. Після цього зразки хімічно полірували в суміші кислот $HF:HNO_3 = 1:3$ при температурі 60–80°C протягом 2–3 с, після чого промивали в дистильованій воді і сушили на повітрі.

Склянка об'ємом 1 л, виготовлена з термостійкого скла, використовувалась як електрохімічна комірка для ПЕО. Катод з нержавіючої сталі в формі котушки знаходився в середині судини. Перемішування електроліту здійснювалось за допомогою магнітної мішалки TER-63/460N. Після окиснення зразки промивали в дистильованій воді і просушували в повітрі.

Фазовий склад визначали методом рентгеноструктурного аналізу (XRD) з використанням дифрактометрії D8 ADVANCE (Німеччина) в $CuK\alpha$, де випромінювання проводилось за стандартною методикою. Ідентифікація сполук в досліджуваних зразках виконана в режимі автоматичного пошуку EVA з використанням бази даних PDF-2. Елементний склад поверхні покриття визначали методом рентгеноспектрального аналізу (XSA).

Таблиця 2 – Склад покриттів і ступені розкладання метиленового синього (X, %) у їх присутності

№з\п	Склад електроліту	X, %	Фазовий склад	Вміст елементів, %
1.	0,1 M Na_3PO_4	32	TiO ₂ (анатаз, рутильні сліди)	C 12,8; O 56,0; P 2,7; Ti 28,9
2.	0,1 M $Na_3PO_4 + 5ZnF_2$	11	TiO ₂ (анатаз)	C 13,1, O 59,6, Zn 2,3, P 4,0, Ti 20,6
3.	0,1 M $Na_3PO_4 + 5Zn(CH_3COO)_2$	25	TiO ₂ (анатаз)	O 70,1; Zn 1,7; P 5,8; Ti 22,3
4.	0,1 M H_2SO_4	17	TiO ₂ (анатаз, рутил)	O 66,1; S 0,3; Ti 33,6
5.	0,1 M $H_2SO_4 + 5Zn(CH_3COO)_2$	23	TiO ₂ (анатаз, рутил)	O 64,9; S 0,5; Ti 34,6
6.	$ZnSO_4$	19	TiO ₂ (анатаз, рутил)	C 3,0; O 61,3; N 3,3; Ti 32,5

Як джерело ультрафіолетового опромінення використовувалась ртутнокварцова лампа (DRT-125), яка була спрямована таким чином, щоб основна частина освітлення потрапляла на досліджувану поверхню. Зразок опромінювали УФ-світлом протягом 2 годин.

В роботі [10] запропоновано використовувати світлодіодну стрічку в так званому «трубчастому фотокаталітичному очищувачі повітря». У даній конструкції титану (IV) оксид наносять на внутрішню поверхню трубки однаково по всій її довжині, а найбільш технологічним є перетин у вигляді кола (рис. 2). При використанні як джерела ультрафіолетових променів газорозрядної лампи світильник (трубка з кварцового скла) розташовується по осі повітроочисника і рівномірно опромінює всю внутрішню поверхню, покрити шаром діоксиду титану. При розміщенні на стрічці окремих світлодіодів на деякій відстані один від одного виникали так звані «мертві зони», тобто ділянки внутрішньої поверхні трубчастого повітроочищувача, які одержують відносно малий потік УФ-променів. Питання можна було вирішити за рахунок розміщення світлодіодів на меншій відстані, або заміні на лампи розжарювання, які є

спрямованими і випромінюють світло, а також без додаткового фокусування і екранування.

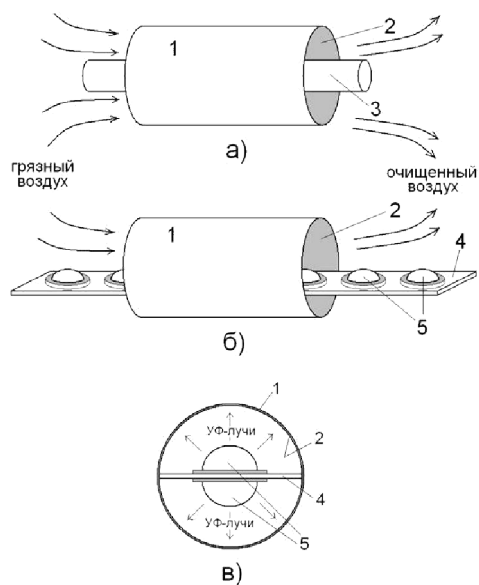


Рис. 2 – Трубчастий фотокаталітичний очисник повітря: а – з газорозрядна лампа; б – одностороння світлодіодна стрічка; в – двостороння світлодіодною стрічкою: 1 – корпус повітроочисника; 2 – внутрішня поверхня корпусу, покрита шаром TiO₂; 3 – газорозрядна лампа; 4 – світлодіодна стрічка; 5 – окремі світлодіоди

При виготовленні фотокаталітичного повітроочисувача зі світлодіодною стрічкою однією із проблем було збільшення так званого “корисного опромінення”, що характеризує кількість ультрафіолетових променів від окремого світлодіода, яке досягає опромінюваної ділянки. Ця частина потоку УФ-променів, що ефективно направляється на робочу поверхню без урахування втрат випромінювання. В даному випадку робочою поверхнею є внутрішня поверхня порожнистої трубки, покрита шаром діоксиду титану.

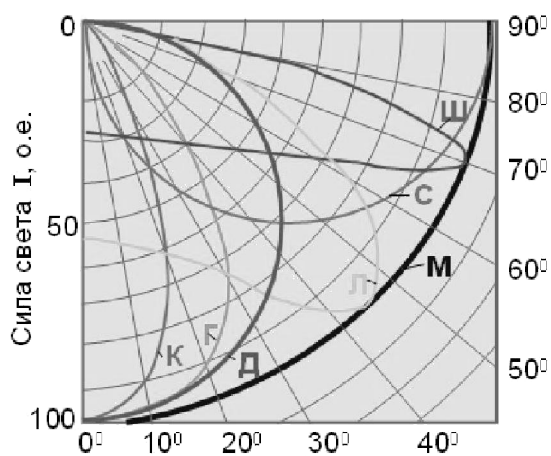


Рис. 3 – Сім типів кривої сили світла

Більшість світлодіодів та світлодіодних світильників займає проміжне положення між цими двома типами опромінювачів.

Втрати випромінювання можуть виникати з трьох причин:

- УФ-промені частково загороджуються або розсіюються корпусом окремого світлодіода;
- УФ-промені випромінюються в неправильному напрямку через невірну орієнтації світлодіодів;
- потік випромінювання послаблюється через забруднення або запилення світловипромінюючої поверхні світлодіода [11].

Під кривою сили світла рис. 3 розуміють графік залежності сили світла окремого світлодіода від меридіональних і екваторіальних кутів, які одержані перетином його фотометричного тіла площиною. Отже, КСС описує як саме вихідне світло розподіляється в просторі.

Таблиця 3 – Типи кривих сили світла [12]

Позначення	Найменування	Зона напрямків максимальної сили світла
К	Концентрована	0...15°
Г	Глибока	0...30°; 180...150°
Д	Косинусна	0...35°; 180...145°
Л	Напівширока	35...55°; 145...125°
Ш	Широка	55...85°; 125...95°
М	Рівномірна	0...180°
С	Синусна	70...90°; 110...90°

Чим ширше поперечний розподіл світлового потоку, тим сильніше він буде розсіюватися.

За результатами аналізу наведеного матеріалу можна дійти висновку, що не існує таких типів фільтрів, які захищають від всіх типів ХНР. Тому потрібно сформулювати вимоги до систем колективного захисту як на бронетехніці, так і стаціонарних, які будуть захищати від НХР.

У роботі [13, 14] вказується, що в системах колективного захисту без істотних конструкційних змін та суттєвих матеріальних витрат можливо підвищити експлуатаційні характеристики за рахунок додаткового встановлення у фільтр-поглинач мережки з нанесеним шаром каталітичного матеріалу. Це дасть можливість знешкодувати (розкласти) токсини різної природи за високих показників працездатності в широкому інтервалі температур та корозійної тривкості.

На рис. 4. показано удосконалення фільтр-поглинача на бронетехніці в яку встановлено мережку з нанесеним шаром каталітичного матеріалу з потраплянням УФ-променів на її частину поверхні.

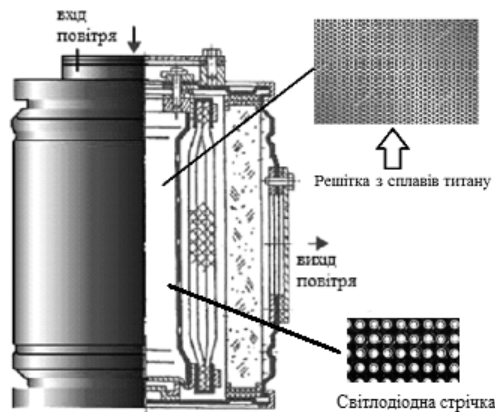


Рис. 4 – Схема удосконалення фільтра-поглинача на бронетехніці

Для формування такого каталітичного покриття доцільно застосовувати метод плазмового електролітичного оксидування, який також називають мікродуговим або анодноіскровим окисненням, дозволяє забезпечити високу адгезію оксидних покривів до підкладки, діелектричні, захисні, каталітичні, антифрикційні, та інші властивості [15–17]. Відмінною особливістю методу ПЕО є можливість формування конверсійних шарів, які включають як оксиди основного металу, так і компоненти електроліту або продукти їх електрохімічних і термохімічних перетворень. Хімічний склад покриттів, утворених ПЕО, визначається характером металу, що окиснюється, параметрами процесу і природою компонентів електроліту, так що управління складом анодних шарів може значно поліпшити їх фізичні та хімічні властивості [15, 18]

Висновки та перспективи подальшого розвитку даного напрямку.

За результатами проведеного аналізу встановлено, що очищення небезпечних хімічних речовин фотокаталізом є перспективним питанням для захисту особового складу. Для вдосконалення існуючих систем колективного захисту потрібно розробити установку, де передбачити потрапляння УФ-променів на частину поверхні мережки. Одним із наступних завдань наукових досліджень є визначення вимог до системи:

- тип ультрафіолетового джерела, що здійснить безперебійне потрапляння ультрафіолетового випромінювання, яке піддається вібрації, різним прискоренням і ударам;
- правильне розміщення джерела ультрафіолетового випромінювання для зменшення «мертвих зон»;
- максимальний ступінь отримання корисного опромінення, а саме кількість ультрафіолетових променів від окремого джерела, яке досягає опроміненої ділянки.

Вибір каталітичного матеріалу для подальшого нанесення на сплави TiO_2 методом плазмово-електролітичне оксидування, а саме: створення нових нетоксичних електролітів і оптимізації режимів формування конверсійних по-кривів.

Список літератури:

1. Казмірчук Р. В. Джерела та фактори виникнення небезпечної екологічної обстановки в зоні територіальної оборони. сили та засоби виявлення та оцінки / Р. В. Казмірчук, В. В. Ларіонов, В. В. Ільченко // Техногенно-екологічна безпека та цивільний захист. 2010. – Вип. 1, – с. 145–153.
2. Галак О. В. Пропозиції щодо подальшого вдосконалення засобів колективного захисту за досвідом антитерористичної операції / О. В. Галак, Г. В. Каракуркчі, М. Д. Сахненко, М. В. Ведь // Збірник наукових праць Військової академії Одеса. 2017. – № 2 (8), – с. 15–19.
3. Галак О. В. Методи очищення газових викидів від небезпечних хімічних речовин для підвищення ефективності фільтрувальних систем / О. В. Галак, М. Д. Сахненко, Г. В. Каракуркчі, О. В. Матикін, І. О. Белоусов, О. В. Косарев // Вісник Національного Технічного Університету «ХПІ». Серія: Інноваційні дослідження у наукових роботах студентів. 2018. – № 18 (1294), – с. 89–93.
4. Галак О. В. Сучасні технології нейтралізації хімічно-небезпечних речовин / О. В. Галак, М. Д. Сахненко, Г. В. Каракуркчі, О. С. Брянкін, І. О. Белоусов // Системи озброєння та військова техніка. – Харків: ХНУПС. 2018. – 2 (54), – с. 106–114.
5. Агафонов А. В. Фотокаталітична активність нанопорошков діоксида титана, отриманих золь-гель методом при різних значеннях рН / А. В. Агафонов, А. А. Редозубов, В. В. Козик, А. С. Краев // Журнал неорганической химии. 2015. – 60, № 8, – с. 1001–1008.
6. Chen Xiaobo Chem. Rev / Xiaobo Chen, Mao S. S. // The University of California. 2007, vol. 107. – p. 2891.
7. Hashimoto K. TiO_2 Photocatalysis: A Historical Overview and Future Prospects / K. Hashimoto, H. Irie, A. Fujishima // Japanese Journal of Applied Physics. 2005. – Vol. 44, No. 12, – pp. 8269–8285. doi: 10.1143/JJAP.44.8269.
8. Сахненко М. Д. Особливості одержання металоксидних каталітичних систем плазмово-електролітичним оксидуванням алюмінію та титану в профосфатних електролітах / М. Д. Сахненко, М. В. Ведь, Г. В. Каракуркчі, А. С. Горохівський, О. В. Галак // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Хімія, хімічні технології та екологія. 2016. – № 22 (1194), – с. 171–176.
9. Vasilyeva M. S. Photocatalytic Properties of Zn- and Cd-Containing Oxide Layers on Titanium Formed by Plasma Electrolytic Oxidation / M. S. Vasilyeva, V. S. Rudnev, D. A. Tarabrina // Protection of Metals and Physical Chemistry of Surfaces, 2017, Vol. 53, No. 4. pp. 711–715.
10. Зайнишев А. В. Применение ультрафиолетовых светодиодов в фотокаталитических воздухоочистителях для очистки воздуха кабин мобильных машин / А. В. Зайнишев, Г. А. Полушин // Интернет-журнал «Технологии техносферной безопасности». 2012. – Выпуск № 6 (46). – (<http://ipb.mos.ru/ttb>).
11. Абрамов В. С. Особенности конструирования мощных белых светодиодов / В. С. Абрамов, С. Г. Никифоров, В. П. Сушков, А. В. Шнишов // Светодиоды и лазеры. 2003. – № 1, – с. 2–19.
12. ГОСТ 17677-82 (1989). Светильники. Общие технические условия.
13. Галак О. В. Фільтровентиляційні установки сучасності на бронеоб'єктах типу Т-64 / О. В. Галак, Г. В. Каракуркчі, Ю. Ю. Кошкарів // Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил. 2017, – № 1 (50), – с. 147–150.
14. Галак О. В. Фільтровентиляційні установки (агрегати) стаціонарні та на бронеоб'єктах / О. В. Галак, Г. В. Каракуркчі, Я. В. Грибнюк // Системи озброєння і військової техніки. 2016, – № 4 (48), – с. 5–9.
15. Ведь М. В. Каталітичні та захисні покриття сплавами і складними оксидами: електрохімічний синтез, прогнозування властивостей: монографія / М. В. Ведь, М. Д. Сахненко. – Харків: Новое слово, 2010, – 272 с.
16. Ved' M. V. The Manganese and Cobalt oxides formation on Aluminum alloys / M. V. Ved', N. D. Sakhnenko // Korroziya: materialy, zaschita. 2007, – № 10, – pp. 36–40.

17. *Bykanova V. V.* Synthesis and photocatalytic activity of coatings based on the TixZryOz system / *V. V. Bykanova, N. D. Sakhnenko, M. V. Ved' // Surface Engineering and Applied Electrochemistry.* 2015. – Vol. 51, № 3, – p. 276–282. DOI: 10.3103/S1068375515030047.
18. *Ved' M. V.* Modeling of the surface treatment of passive metals / *M. V. Ved', M. D. Sakhnenko, O. V. Bohoyavlens'ka, T. O. Nenastina // Materials Science.* 2008. – Vol. 44, № 1, – p. 79–86. DOI: 10.1007/s11003-008-9046-6.
- References (transliterated)**
- Kazmirchuk R. V.* Dzhherela ta faktory vynyknennia nebezpechnoi ekolohichnoi obstanovky v zoni terytorialnoi oborony. syly ta zasoby vyavleniia ta otsinky / *R. V. Kazmirchuk, V. V. Larionov, V. V. Ilchenko // Tekhnoheno-ekolohichna bezpeka ta tsyvilnyi zakhyst.* 2010. – Vyp. 1, – pp. 145–153.
 - Halak O. V.* Propozytii shchodo podalshoho vdoskonalennia zasobiv kolektyvnoho zakhystu za dosvidom antyterorystychnoi operatsii / *O. V. Halak, H. V. Karakurkchi, M. D. Sakhnenko, M. V. Ved' // Zbirnyk naukovykh prats Viiskovoi akademii Odesa.* 2017. – № 2 (8), – pp. 15–19.
 - Halak O. V.* Metody ochy'shennia gazovy'x vy'ky'div vid nebezpechny'x khimichny'x rechovy'n dlya pidvy'shennia efekty'vnosti fil'truval'ny'x sy'stem / *O. V. Halak, M. D. Saxnenko, G. V. Karakurkchi, O. V. Maty'kin, I. O. Belousov, O. V. Kosarev // Visnyk Nacional'nogo Texnichnogo Universy'tetu «KhPI».* Seriya: Innovacijni doslidzhennia u naukovy'x robotax studentiv, 2018. № 18 (1294), – pp. 89–93.
 - Halak O. V.* Suchasni tekhnologii nejtralizatsii khimichno-nebezpechny'x rechovy'n / *O. V. Halak, M. D. Saxnenko, G. V. Karakurkchi, O. S. Bryankin, I. O. Belousov // Sy'stemy' ozbroiennia ta vijs'kova tekhnika.* – Kharkiv: XNUPS. 2018. – 2 (54), – pp. 106–114.
 - Agafonov A. V.* Fotokataliticheskaia aktivnost' nanoporoshkov dioksida titana, poluchennykh zol'-gel' metodom pri razlichnykh znachenijah PN / *A. V. Agafonov, A. A. Redozubov, V. V. Kozik, A. S. Kraev // Zhurnal neorganicheskoi khimii.* 2015. – 60, № 8, – pp. 1001–1008.
 - Chen Xiaobo* Chem. Rev / Xiaobo Chen, Mao S.S. // The University of California. 2007. vol. 107, – p. 2891.
 - Hashimoto K.* TiO₂ Photocatalysis: A Historical Overview and Future Prospects / *K. Hashimoto, H. Irie, A. Fujishima // Japanese Journal of Applied Physics.* 2005. – Vol. 44, No. 12. – pp. 8269–8285. DOI: 10.1143/JJAP.44.8269.
 - Sakhnenko, M.D.* Osoblyvosti oderzhannia metaloksyd-nykh katalitychnykh system plazmovo-elektrolitychnym oksyduvanniam aluminiumu ta tytanu v pirofosfatnykh elektro-litakh /
 - M. D. Sakhnenko, M. V. Ved', H. V. Karakurkchi, A. S. Horokhivskiy, A. V. Halak // Visnyk NTU «KhPI».* Seriya: Khimii, khimichni tekhnologii ta ekolohii. 2016. – vol. No. 22 (1194), – pp. 171–176.
 - Vasilyeva M. S.* Photocatalytic Properties of Zn- and Cd-Containing Oxide Layers on Titanium Formed by Plasma Electrolytic Oxidation / *M. S. Vasilyeva, V. S. Rudnev, D. A. Tarabrina // Protection of Metals and Physical Chemistry of Surfaces,* 2017, Vol. 53, No. 4, pp. 711–715.
 - Zajnishev A. V.* Primenenie ul'traioletovykh svetodiodov v fotokataliticheskikh vozduhoочистител'ях дл'я очистики воздуха кабин мобил'nykh mashin / *A. V. Zajnishev, G. A. Polunin // Internetzhurnal «Tekhnologii tehnosfernoj bezopasnosti».* 2012. – Vypusk № 6 (46). – (http://ipb.mos.ru/ttb).
 - Abramov V. S.* Osobennosti konstruirovaniia moshhnykh belykh svetodiodov / *V. S. Abramov, S. G. Nikiforov, V. P. Sushkov, A. V. Shishov // Svetodiody i lazery,* 2003, № 1, pp. 2–19.
 - GOST 17677-82 (1989). Svetil'niki. Obshhie tehicheskie usloviia.
 - Halak O. V.* Fil'troventylyatsiyni ustanovky suchasnosti na broneob'yekakh typu T-64 / *O. V. Halak, H. V. Karakurkchi, Yu. Yu. Koshkarov // Zbirnyk naukovykh prats' Kharkivs' koho natsional' noho universytetu Povitryanykh Syl.* 2017. – № 1 (50), – pp. 147–150.
 - Halak O. V.* Fil'troventylyatsiyni ustanovky (ahrehaty) statsionarni ta na broneob'yektakh / *O. V. Halak, H. V. Karakurkchi, Ya. V. Hrybnyuk // Systemy ozbroiennia i viys'kovoyi tekhniki.* – 2016. – № 4 (48), – pp. 5–9.
 - Ved' M. V.* Katalitychni ta zakhysni pokryttya splavamy i skladnymy oksydamy: elektrokhimichnyy syntezy, prohnozuvannya vlastyvostey: monografiya / *M. V. Ved', M. D. Sakhnenko // Kharkiv, Novoe slovo Publ.* 2010, – 272 p.
 - Ved' M. V.* The Manganese and Cobalt oxides formation on Aluminum alloys / *M. V. Ved', N. D. Sakhnenko // Korroziya: materialy, zaschita.* 2007, no. 10, – pp. 36–40.
 - Bykanova V. V.* Synthesis and photocatalytic activity of coatings based on the TixZryOz system / *V. V. Bykanova, N. D. Sakhnenko, M. V. Ved' // Surface Engineering and Applied Electrochemistry.* 2015. – vol. 51, no. 3, – pp. 276–282. DOI: 10.3103/S1068375515030047.
 - Ved' M. V.* Modeling of the surface treatment of passive metals / *M. V. Ved', M. D. Sakhnenko, O. V. Bohoyavlens'ka, T. O. Nenastina // Materials Science.* 2008, vol. 44, no. 1, pp. 79–86. DOI: 10.1007/s11003-008-9046-6.

Поступила (received) 05.10.2018

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Галак Олександр Валентинович (Галак Александр Валентинович, Galak Alexander) – кандидат технічних наук, Військовий інститут танкових військ Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», начальник кафедри радіаційного хімічного біологічного захисту факультету радіаційного хімічного біологічного захисту та екологічної безпеки, м. Харків, Україна;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2590-9291>, e-mail: galak79@gmail.com.

Сахненко Микола Дмитрович (Сахненко Николай Дмитриевич, Sakhnenko Nikolay) – доктор технічних наук, професор, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», завідувач кафедри фізичної хімії, м. Харків, Україна;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5525-9525>, e-mail: sakhnenko@kpi.kharkov.ua.

Ведь Марина Віталіївна (Ведь Марина Виталиевна, Ved Maryna) – доктор технічних наук, професор, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», професор кафедри загальної та неорганічної хімії, Харків, м. Харків, Україна;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5719-6284>, e-mail: vmv@kpi.kharkov.ua.

Меньшов Сергій Миколайович (Меньшов Сергей Николаевич, Menshov Sergey) – Військовий інститут танкових військ Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», старший викладач кафедри радіаційного хімічного біологічного захисту факультету радіаційного хімічного біологічного захисту та екологічної безпеки, м. Харків, Україна;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1854-2794>, e-mail: menshov2277@gmail.com.

Клімов Олексій Петрович (Климов Алексей Петрович, Klimov Alexej) – Військовий інститут танкових військ Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», старший викладач кафедри бронетанкового озброєння та військової техніки факультету озброєння та військової техніки, м. Харків, Україна;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0727-2976>, e-mail: klimovaleksej800@gmail.com.