

УДК 623.459.7

**О. В. ГАЛАК, М. Д. САХНЕНКО, Г. В. КАРАКУРКЧИ, О. В. МАТИКІН, О. В. КОСАРЕВ,  
І. О. БЕЛОУСОВ**

### **МЕТОДИ ОЧИЩЕННЯ ГАЗОВИХ ВИКИДІВ ВІД ХІМІЧНО-НЕБЕЗПЕЧНИХ РЕЧОВИН ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ФІЛЬТРУВАЛЬНИХ СИСТЕМ**

Розглянуто методи очищення газоподібних викидів залежно від фізико-хімічних властивостей забруднювальних речовин, зокрема хімічно-небезпечних, їх агрегатного стану, концентрації в газовому середовищі. Проаналізовано вплив вмісту аерозолів, таких як пил і сажа; працездатність методів очищення в різних температурних інтервалах, способи очищення багатоконпонентних сумішей. Наведено порівняльну характеристику термохімічних, реагентних, сорбційних і каталітичних методів та оцінено перспективи їх застосування в фільтрувальних системах стаціонарних і мобільних об'єктів.

**Ключові слова:** очищення газів, метод, сполуки, окислення, речовина, домішки.

**А. В. ГАЛАК, Н. Д. САХНЕНКО, А. В. КАРАКУРКЧИ, А. В. МАТЫКИН, И. А. БЕЛОУСОВ,  
А. Г. КОСАРЕВ**

### **МЕТОДЫ ОЧИСТКИ ГАЗОВЫХ ВЫБРОСОВ ОТ ХИМИЧЕСКИ-ОПАСНЫХ ВЕЩЕСТВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФИЛЬТРУЮЩИХ СИСТЕМ**

Рассмотрены методы очистки газообразных выбросов в зависимости от физико-химических свойств загрязняющих веществ, в том числе химически опасных, их агрегатного состояния, концентрации в газовой среде. Проанализировано влияние содержания аэрозолей, таких как пыль и сажа; работоспособность методов очистки в различных температурных интервалах, способы очистки многокомпонентных смесей. Приведена сравнительная характеристика термохимических, реагентных, сорбционных и каталитических методов и оценены перспективы их применения в фильтровальных системах стационарных и мобильных объектов.

**Ключевые слова:** очистка газов, метод, соединения, окисление, вещество, примеси.

**A. V. GALAK, M. D. SAKHNENKO, A. V. KARAKURKCHI, A. V. MATYKIN, I. A. BELOUSOV,  
A. G. KOSAREV**

### **METHODS FOR CLEANING GAS EMISSIONS TO IMPROVE THE EFFICIENCY OF FILTERING SYSTEMS FROM HARMFUL SUBSTANCES**

A wide variety of sources of emission of harmful substances into the atmosphere, differing in nature and concentration of harmful substances, temperature, pressure, periodicity and duration of release, the presence of associated impurities in the exhaust gases determine the choice of a rational method and equipment for gas purification. In the arsenal of air pollution protection techniques, there are numerous absorption, adsorption, catalytic, thermal and other methods of gas purification. The methods of purification of gaseous emissions depending on the physical and chemical properties of pollutants, in particular chemical-dangerous, their aggregate state, concentration in the gas environment are considered. The influence of aerosol content such as dust and soot; the efficiency of cleaning methods at different temperature intervals, methods of cleaning multicomponent mixtures. The comparative characteristics of thermochemical, reagent, sorption and catalytic methods are given and the prospects of their application in the filter systems of stationary and mobile objects are estimated.

**Keywords:** gas cleaning, method, connection, oxidation, substance, impurities.

**Вступ.** У сучасних умовах ведення бойових дій, а саме гібридні виклики, тероризм, застосування хімічної зброї в Сирії, нагальною проблемою є питання колективного захисту фортифікаційних споруд та рухомої техніки від хімічно-небезпечних речовин (далі – ХНР). Так під час руйнування хімічно небезпечних об'єктів фільтровентиляційні установки (агрегати), стаціонарні та на бронеоб'єктах, які створені ще в радянські часи повноцінно не захищають особовий склад від ХНР [1, 2, 3], чим створюють передумови для значних втрат особового складу та зниження боєздатності військових частин (підрозділів). З урахуванням наведеного вище розглянемо різні методи очищення повітря від забруднювальних речовин та визначити найоптимальніший і найефективніший метод.

Для знешкодження викидів за принципом видалення токсичних домішок поряд із фізичними використовують і хімічні процеси, за допомогою яких можна змінювати в широких межах фізичні властивості домішок (наприклад, перетворювати вихідні газоподібні забруднювачі в сполуки з високою температурою кипіння) з метою полегшення їх подальшого уловлювання. Для очищення газів в основному використовують засоби

хімічної технології. Тому класифікація засобів знешкодження викидів практично збігається з класифікацією процесів і апаратів хімічної промисловості, що утворюють шкідливі викиди як відходи основного виробництва [4]. З метою уловлювання газоподібних домішок застосовують процеси конденсації, сорбції (абсорбції і адсорбції), хемосорбції та перевтілюють забруднювачі в нешкідливі сполуки за допомогою термохімічних (термічна деструкція, термічне і термокаталітичне окислення) та хімічних процесів.

Для очищення викидів від газоподібних забруднювачів найчастіше застосовують способи абсорбції, адсорбції, каталітичної очищення, термознешкодження і конденсації газових домішок.

**Викладання основного матеріалу досліджень.** Розрізняють такі методи очищення повітря від забруднювальних речовин, а саме: 1) термохімічне знешкодження газових викидів; 2) каталітичне очищення газових викидів; 3) високотемпературне знешкодження газових викидів; 4) абсорбційне очищення викидів; 5) біохімічне очищення газів; 6) фотокаталітичний метод очищення газів і т.п.

© Галак А. В., Сахненко Н. Д., Каракуркчі Г. В., Матикін О. В., Белоусов І. О., О. В. Косарев, 2018

Метод термохімічного знешкодження газових викидів полягає у спалюванні і допалюванні шкідливих домішок, здатних окислюватися, цей метод знаходить все більше застосування для очищення дренажних і вентиляційних викидів. Він вигідно відрізняється від інших (наприклад, мокрого очищення в скруберах) високим ступенем очищення.

За типом реакцій відбуваються методи термознешкодження, які можна розділити на термовідновлювальні і термоокислювальні.

У свою чергу термовідновлювальні методи є специфічними і розробляються індивідуально для кожного конкретного забруднювача. З них до теперішнього часу в техніці газоочищення знайшли застосування способи термохімічного (з використанням аміаку) і термокаталітичного відновлення  $\text{NO}_x$  до  $\text{N}_2$ , термокаталітичного відновлення  $\text{SO}_2$  до  $\text{S}_2$ , деякі інші.

З усіх термоокислювальних процесів для термознешкодження придатні виключно реакції з киснем, оскільки за участю інших окисників, принципово неможливо отримати нешкідливі продукти окислення. Термоокислювальні методи менш специфічні, ніж термовідновлювальні, однак і вони не універсальні.

Можливості термоокислювального методу знешкодження обмежуються також кількістю газів і вмістом у них горючих компонентів. Якщо концентрація горючих компонентів викидів не досягає нижньої межі займання («бідні» палим викиди), то їх вогневе оброблення вимагає додаткової витрати палива на прогрівання викидів до температури самозаймання, яка для парів вуглеводнів становить близько  $500\text{--}750\text{ }^\circ\text{C}$ . Температурний рівень процесу термокаталітичного окислення дещо нижче (зазвичай  $350\text{--}500\text{ }^\circ\text{C}$ ), що також вимагає відповідних витрат палива [5]. Недоліками цього методу є неможливість використання для знешкодження газів, які під час спалювання утворюють продукти, що за токсичністю в багато разів перевищують вихідний газовий викид (наприклад, під час спалювання газів, що містять фосфор, галогени, сірку).

Каталітичні методи очищення газів засновані на реакціях за наявності твердих каталізаторів, тобто на закономірностях гетерогенного каталізу. В результаті каталітичних реакцій домішки, що знаходяться в газі, перетворюються на інші сполуки, на відміну від розглянутих методів домішки не витягаються з газу, а трансформуються в нешкідливі з'єднання. У результаті реакцій, домішки, які перебувають у газі, перетворюються на інші сполуки, що становлять меншу небезпеку, або легко відокремлюються від газу.

Каталітичні нейтралізатори застосовують для знешкодження оксиду вуглецю, легких вуглеводнів, розчинників, відпрацьованих газів у хімічних установках. Каталітичне очищення застосовується в основному за невеликої концентрації компонента, що видаляється в очищуваний газ. У цьому випадку процес протікає за температури  $200\text{--}300\text{ }^\circ\text{C}$ ,

що значно менше температури, необхідної для повного знешкодження під час прямого спалювання в печах і дорівнює  $950\text{--}1100\text{ }^\circ\text{C}$ . Завдяки застосуванню каталізаторів можна досягти високого ступеня очищення газу, що досягає в низці випадків  $99,9\%$ . Розрізняють два види каталізу: гомогенний (однорідний) і гетерогенний (неоднорідний). За гомогенного каталізу речовини і каталізатор утворюють однофазну систему (рідке або газове).

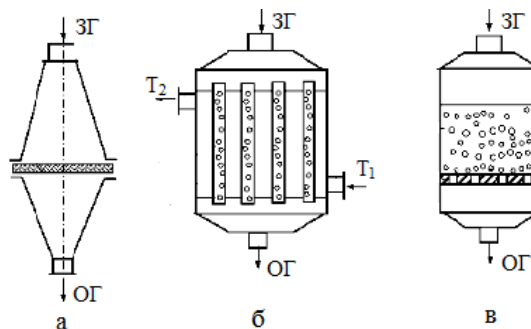
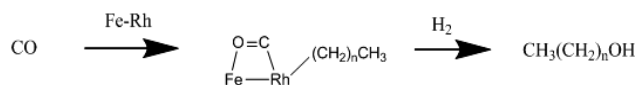


Рис. 1 – Схеми контактних апаратів:

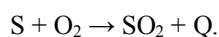
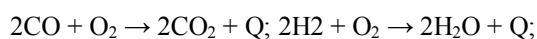
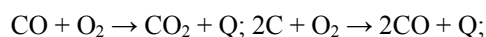
а – з металеву сіткою; б – з трубчастим каталіза-тором; в – з насипним шаром

Одним із прикладів гетерогенного каталізу є гідратування монооксиду вуглецю на поверхні залізо-родієвого каталізатору:



За гетерогенного каталізу каталізатор становить самостійну фазу (зазвичай тверду). За такого типу тип каталізу одержав значну частину продукції, що виробляється хімічною і суміжними галузями промисловості, що отримують з допомогою гетерогенного каталізу. Менш поширений гетерогенний каталізу у рідкій фазі. Каталітичні реакції підпорядковуються загальним законам хімії та термодинаміки, але мають при цьому свої особливості, оскільки у них завжди бере участь один додатковий компонент – каталізатор. У ролі ефективних каталізаторів доводиться застосовувати дорогі речовини – платину, паладій, рутеній; використовують і більш дешеві – нікель, хром, мідь, але вони менш ефективні. У процесах санітарного каталітичного очищення відхідних газів високою активністю володіють каталізатори на основі благородних металів (платина, паладій, срібло та ін), оксидів марганцю, міді, кобальту, а також оксидні контактні маси, активовані благородними металами ( $1,0\text{--}1,5\%$ ). Недоліком цього методу є те що у процесі експлуатації каталізатори в тій або іншій мірі піддаються поступовій дезактивації або деструкції, які викликаються хімічними або каталітичними отрутами, механічним стиранням, спіканням, агрегуванням, що призводить до необхідності періодичної регенерації (активації) або заміни каталізаторів [5, 6].

Метод високотемпературного очищення газів полягає в окисленні знешкоджувальних компонентів киснем. Цей метод можна застосовувати практично для знешкодження будь яких парів і газів, продукти спалювання, яке менш токсичні, ніж вихідні речовини. Пряме спалювання використовують в тих випадках, коли концентрація горючих речовин у відхідних газах не виходить за межі займання. Вогневим обробленням, як і термодаталітичним окисленням, принципово можливо знешкодити лише речовини, молекули яких не містять яких-небудь інших елементів, крім водню, вуглецю і кисню. За допомогою спалювання можливе знешкодження зазначених речовин у газоподібному, рідкому і твердому станах, диспергованих або компактних, а за допомогою термодаталітичного окислення – тільки в газоподібному. Термодаталіз неприйнятний і для оброблення газів (парів) і високомолекулярних висококиплячих речовин, які, погано випаровуючись з даталізатора, коксується і «отруюють» його [5]. Під час горіння проходять такі основні хімічні реакції:



Розрізняють три схеми термічного очищення: пряме спалювання ( $t = 600\text{--}800\text{ }^\circ\text{C}$ ); термічне окислення ( $t = 600\text{--}800\text{ }^\circ\text{C}$ ); даталітичне спалювання ( $t = 250\text{--}480\text{ }^\circ\text{C}$ ). Пряме спалювання – використовують, коли відхідні гази забезпечують значну частину енергії, яка необхідна для здійснення процесу. З економічних міркувань цей вклад повинен перебільшувати 50% загальної теплоти згорання [6].

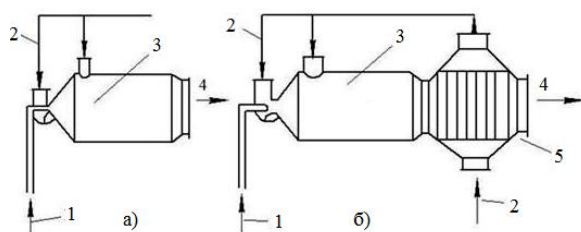


Рис. 2 – Схема термічних нейтралізаторів: а) – без теплообмінника; б) – з теплообмінником: 1 – подавання палива; 2 – подавання забруднених газів; 3 – камери згорання; 4 – знешкоджені гази; 5 – теплообмінник

Схема відкритої факельної установки зі знешкодженням всього об'єму технологічних газів наведена на рисунку 3. Термічне окислення використовують, поперше, коли вихідні гази мають високу температуру, але в них немає достатньої кількості кисню, подруге, коли концентрація горючих домішок надзвичайно низька (не забезпечує теплоту для підтримання полум'я, тобто пряме спалювання є економічно не вигідним).

Суть методу абсорбційного очищення викидів полягає у витяганні з газів діоксиду сірки,

сірководню та інших сірчистих сполук, оксидів, пари кислот (HCl, HF), діоксиду та оксиду вуглецю, різноманітних органічних сполук (фенол, формальдегід, леткі розчинники).

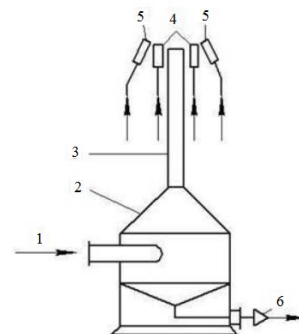


Рис. 3 – Схема факельної установки: 1 – забруднені гази; 2 – сепаратор; 3 – факельна труба; 4 – чергові пальники; 5 – запальні пальники; 6 – гідрозатвор

Абсорбційний метод реалізує процеси, що відбуваються між молекулами газів і рідин. Якщо відсутня взаємодія між розпилювальною рідиною і зрощуваним газом, то ефективність поглинання компонентів із пароповітряної суміші визначається тільки рівновагою парарідина.

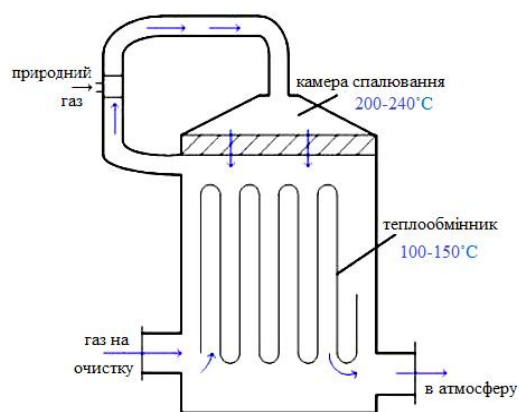


Рис. 4 – Принципова схема термічного даталітичного нейтралізатора

Абсорбційне очищення застосовується як для вилучення цінних компонентів із газового потоку та повернення їх знову в технологічний процес для повторного використання, так і для поглинання з викидних газів шкідливих речовин із метою санітарної очищення газів. Зазвичай раціонально використовувати абсорбційне очищення, коли концентрація домішок у газовому потоці перевищує 1%. Недоцільно використовувати воду для очищення викидів із нерозчинними в ній органічними домішками. Такі забруднювачі, як правило, добре поглинаються органічними рідинами, серед яких можуть використовуватися як абсорбенти висококиплячі речовини, такі як етаноламіни і важкі вуглеводні (мінеральні масла). Абсорбція органічним розчинником найбільш ефективна для видалення газоподібних органічних забруднювачів, оскільки в

цьому випадку забезпечується достатня розчинність. У вигляді рідких органічних абсорбентів застосовують моно-, ді- та триетаноламін та метилдіетаноламін. Використання таких абсорбентів обмежене системами, що не містять твердих частинок, оскільки тверді речовини забруднюють органічні рідини. До оброблення органічним абсорбентом газів необхідно видалити дисперсні домішки, інакше абсорбент швидко забруднюється і стає відходом, практично не піддається очищенню [5, 6].

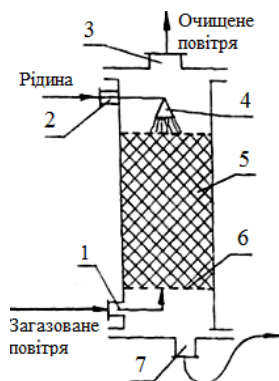


Рис. 5 – Схема башти абсорбера:

1 – вхідний патрубок для загазованого повітря; 2 – патрубок для подавання рідини; 3 – вихідний патрубок для відведення очищеного повітря; 4 – розбризкувач; 5 – шар рідини з насадкою; 6 – сітка; 7 – вихідний патрубок для відведення забрудненої води

Недоліками цього методу є можливість використання тільки за низького вмісту домішок у вхідному газі, складність оброблення газів регенерації, механічне руйнування адсорбенту, зниження його активності в процесі експлуатації, значні втрати тиску в апаратах.

Метод біохімічного очищення газів заснований на здатності мікроорганізмів руйнувати і перетворювати різні сполуки. Поглинання і знешкодження шкідливих домішок, що містяться в повітрі, під час біологічного очищення здійснюється за рахунок життєдіяльності мікроорганізмів. Особливістю методу є використання природних біологічних процесів без застосування чужих екологічній системі матеріалів та реагентів. Сутність біохімічного методу полягає в аеробному розкладанні, окисненні та асиміляції мікроорганізмами уловлених домішок. Розкладання речовин відбувається під дією ферментів, що виробляються мікроорганізмами під впливом окремих сполук або групи речовин, наявних в очищуваних газах. Його застосовують для утилізації широкого спектру забруднювальних речовин органічного походження, а також деяких неорганічних сполук, наприклад,  $H_2S$ ,  $SO_2$ , та  $NH_3$  [7]. Недоліком цього методу є те, що при біологічному очищенні необхідно створити певний температурно-вологісний режим для мікроорганізмів, які є живими істотами і потребують певного середовища і харчування. Якщо одна з умов

(температура, вологість, відповідна живильне середовище) не створено, кількість мікроорганізмів різко зменшується і вони можуть загинути.

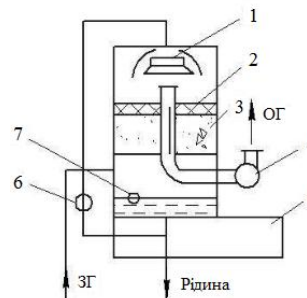


Рис. 6 – Біореактор тонкого очищення з насадкою «Полінет»:

1 – водозливна тарілка; 2 – розподільна плита; 3 – насадка; 4 – вентилятор; 5 – опорна арматура; 6 – насос; 7 – поплавкова водопровідна лінія

Суть методу фотокаталітичного очищення газів полягає в окисненні токсичних домішок на поверхні фотокаталізатора під дією ультрафіолетового випромінювання (рис. 7).

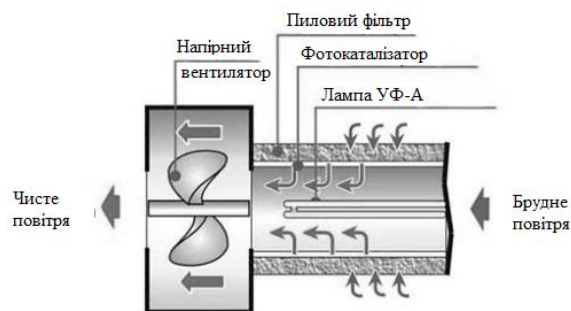


Рис. 7 – Очищення повітря фотокаталітичним методом

Фотокаталітичні процеси, які протікають, дозволяють вирішувати такі проблеми як розкладання токсичних органічних і неорганічних сполук у газових викидах і стічних водах, створення пристроїв нанофотоніки отримання водню та інтенсифікація процесів органічного синтезу [8]. Практичне використання ускладнено внаслідок достатньо невисокої активності фотокаталізатора у видимій області спектра. Ефективним шляхом підвищення спектральної чутливості матеріалу є допірування напівпровідникових наноструктур оксидами перехідних металів у кількості 1–10 мас % [9, 10]. Єдиним недоліком фотокаталізу є утворення пероксидних сполук (наприклад оксидів азоту), які часто зустрічаються серед «осколків», молекул, які не до кінця розклалися. Але вони набагато безпечніше озону, який під час фотокаталізу не утворюється. Фотокаталіз придатний для побутового використання, оскільки може відбуватися за кімнатної температури. Наприклад, термокаталітичний спосіб руйнування шкідливих речовин вимагає попереднього нагрівання повітря до температури вище ніж 200 °С.



### Висновки та перспективи подальшого розвитку даного напрямку.

Розглянувши існуючі методи очищення повітря необхідно зазначити, що найоптимальнішим методом очищення повітря є фотокаталітичне очищення газів, в якому в якості фотокаталізатору використовуються сплави титану, що здатні ефективно знешкоджувати (розкладати) токсини різної природи за високих показників роботоспроможності в широкому інтервалі температур. Тому в подальшому можна розглядати встановлення у фільтрипоглиначі фільтровентиляційних установок на бронетехніку та стаціонарні об'єкти, сітки із оксидних систем сплаву титану для нейтралізації ХНР.

### Список літератури:

1. Галак О. В. Фільтровентиляційні установки (агрегати) стаціонарні та на бронеоб'єктах / О. В. Галак, Г. В. Каракуркчі, Я. В. Грибнінук // *Системи озброєння і військової техніки*. 2016. № 4 (48). С. 5–9.
2. 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.
3. Галак О. В. Фільтровентиляційні установки на бронеоб'єктах іноземних держав світу / О. В. Галак, Г. В. Каракуркчі, М. Д. Сахненко, С. М. Меньшов // *Системи озброєння та військової техніки*. Х.: ХНУПС. 2017. № 1 (49). С. 92–95.
4. Артем'єв С. Р. *Екологічна безпека військ* / [С. Р. Артем'єв, О. М. Блекот, В. В. Марущенко та ін.]. Х.: НТУ «ХПІ», 2012. 308 с.
5. Ратушняк Г. С. *Засоби очищення газових викидів* / Г. С. Ратушняк, О. Г. Лялюк. Вінниця: УНІВЕРСУМ, 2008. 208 с.
6. Кузнецов І. Е. Оборудование для санитарной очистки газов / И. Е. Кузнецов, К. И. Шмат, С. И. Кузнецов. – К.: «Техника», 1989. – 304 с.
7. Кричківська Л. В. *Процеси та апарати біологічної очистки та дезодорації газоповітряних викидів* / Л. В. Кричківська, О. В. Шестопалов, Г. Ю. Бахарєва. Х.: НТУ «ХПІ», 2013. 200 с.
8. Быканова В. В. Синтез і фотокаталітичні властивості покриттів  $Ti/Ti_2O_3/ZrO_2$  / В. В. Быканова, Н. Д. Сахненко, М. В. Ведь // *Вісник НТУ «ХПІ»*. 2014. № 27 (1070). С. 13–20.
9. Сахненко Н. Д. *Конверсионные и композиционные покрытия на сплавах титана: монография* / Н. Д. Сахненко, М. В. Ведь, М. В. Майба. Х.: НТУ «ХПІ», 2015. 176 с.
10. Bykanova V. V. Synthesis and photocatalytic activity of coatings based on the  $Ti_2Zr_2O_7$  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.

### References (transliterated)

1. Halak O.V. Fil'troventylyatsiyni ustanovky (ahrehaty) statsio-narni ta na broneob'yektakh [Filter and ventilation units (units) are stationary and on armored objects] / O.V. Halak, H.V. Karakurkchi, Ya.V. Hrybnyuk // *Systemy ozbroynnyia i viys'kovoyi tekhniky [Arms and military equipment systems]*. 2016. No. 4 (48), pp. 5–9.
2. Halak O. V. Fil'troventylyatsiyni ustanovky suchasnosti na broneob'yekakh typu T-64 [Filter ventilation installations of the present on armored doors of type T-64] / O. V. Halak, H. V. Karakurkchi, Yu. Yu. Koshkarov // *Zbirnyk naukovykh prats' Kharkivs'koho natsional'noho universytetu Povitryanykh Syl [Collection of scientific works of Kharkiv National University of Air Forces]*. 2017. No. 1 (50), pp. 147–150.
3. Halak O. V. Fil'troventylyatsiyni ustanovky na broneob'yektakh inozemnykh derzhav svitu [Filter ventilation units on armored objects of foreign countries of the world] / O. V. Halak, H. V. Karakurkchi, M. D. Sakhnenko, S. M. Men'shov // *Systemy ozbroynnyia ta viys'kova tekhnika [Arms and military equipment systems]*. – Kharkiv: KhNUPS. 2017. № 1 (49), pp. 92–95.
4. Artem'yev S. R. *Ekologichna bezpeka viys'k* / S. R. Artem'yev, O. M. Blekot, V. V. Marushhenko ta in. Kharkiv: NTU «KhPI», 2012. 308 p.
5. Ratushnyak H. S. *Zasoby ochyshchennya hazovykh vykydiv* / H. S. Ratushnyak, O. H. Lyalyuk. Vinnytsya: UNIVERSUM, 2008. 208 p.
6. Kuznecov I. E. *Oborudovanie dlja sanitarnoj ochistki gazov* / I. E. Kuznecov, K. I. Shmat, S. I. Kuznecov. Kiev «Tehnika», 1989. 304 p.
7. Kry'chkov'ska L. V. *Procesy ta aparaty biologichnoyi ochy'stky ta dezodoraciyi gazopovitryany'x vy'ky'div* / L. V. Kry'chkov'ska, O. V. Shestopalov, G. Yu. Baxaryeva. Xarkiv: NTU «KhPI», 2013. 200 p.
8. Bykanova V. V. Sintez i fotokataliticheskie svoystva pokrytij  $Ti/Ti_2O_3/ZrO_2$  / V. V. Bykanova, N. D. Sakhnenko, M. V. Ved' // *Visnyk NTU "KhPI" [Bulletin of the National Technical University "KhPI"]*. Kharkov, NTU "KhPI" Publ. 2014. № 27 (1070), pp. 13–20.
9. Sakhnenko N. D. *Konversionnye i kompozitsionnye pokrytiya na splavakh titana: monografiya* [Conversion and composite coatings on titanium alloys: monograph] / N. D. Sakhnenko, M. V. Ved', M. V. Mayba. Khar'kov: NTU «KhPI», 2015. 176 p.
10. Bykanova V. V. Synthesis and photocatalytic activity of coatings based on the  $Ti_2Zr_2O_7$  system. *Surface Engineering and Applied Electrochemistry* / Bykanova V. V., Sakhnenko N. D., Ved M. V. 2015. vol. 51, No. 3, pp. 276–282. doi: 10.3103/S1068375515030047.

Поступила (received) 05.06.2018

### 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 хімії та бойових токсичних хімічних речовин факультету радіаційного хімічного біологічного захисту та екологічної безпеки, м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-> e-mail: [galak79@gmail.com](mailto: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-> e-mail: [sakhnenko@kpi.kharkov.ua](mailto:sakhnenko@kpi.kharkov.ua).

**Каракуркчі Ганна Володимирівна (Каракуркчи Анна Владимировна, Karakurkchi Ann)** – кандидат технічних наук, Військовий інститут танкових військ Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», начальник навчального відділу, м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-> e-mail: [anutyukukr@gmail.com](mailto:anutyukukr@gmail.com).

**Матикін Олексій Володимирович (Матикин Алексей Владимирович, Matykin Alexey)** – 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-> e-mail – [lelik19798089@gmail.com](mailto:lelik19798089@gmail.com)

**Косарєв Олександр Владиславович (Косарев Александр Владиславович, Kosarev Alexander)** – Військовий інститут танкових військ Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», старший викладач кафедри тактико-спеціальних дисциплін факультету радіаційного хімічного біологічного захисту та екологічної безпеки; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002->; e-mail – [kosarev13@ukr.net](mailto:kosarev13@ukr.net).

**Белоусов Іван Олексійович (Белоусов Иван Алексеевич, Belousov Ivan)** – Військовий інститут танкових військ Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», викладач кафедри хімії та бойових токсичних хімічних речовин факультету радіаційного, хімічного, біологічного захисту та екологічної безпеки; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002->; e-mail – [belousovio@ukr.net](mailto:belousovio@ukr.net).