

А.В. Писарев¹, І.О. Радченко¹, С.А. Тузіков², А.Ф. Лазутський³, С.А. Писарев³

¹ Національна академія Національної гвардії України, Харків

² Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

³ Інститут танкових військ НТУ «ХПИ», Харків

АНАЛІЗ БЕЗРІДИННИХ СПОСОБІВ ДЕЗАКТИВАЦІЇ ЗРАЗКІВ ОЗБРОЄННЯ, ВІЙСЬКОВОЇ ТЕХНІКИ ТА ВІЙСЬКОВИХ ОБ'ЄКТІВ

У даній статті розглянуті проблеми безрідинних способів дезактивації, проведено детальний аналіз даних способів дезактивації зразків озброєння, військової техніки та військових об'єктів. Проаналізовано характерні особливості безрідинної дезактивації зразків озброєння, військової техніки та військових об'єктів як дезактивація струменем газу (повітря), абразивний обдув, дезактивація пиловідсмоктуванням. На основі проведеного дослідження пропонується виділити наступне: при дезактивації струменем газу (повітря) - перша стадія процесу в разі видалення структурованих РА забруднень, друга стадія процесу дезактивація пов'язана з видаленням РА забруднень, які втратили зв'язок з по-поверхнею об'єкта, і запобіганням можливого вторинного РА забруднення; при абразивному охолодженні - можливість підвищення ефективності обробки заснована на використанні повітряного струменя після введення в неї порошку, що володіє абразивною дією і здатного зняти верхній забруднений шар; при дезактивації пиловідсмоктуванням - здійснюється дезактивація на основі замкнутого циклу.

Ключові слова: дезактивація, адгезія, радіоактивне забруднення, критерії Рейнольдса, аеродинамічна сила, інгібіруюча сила.

Вступ

Постановка проблеми. Використання безрідинних способів дезактивації зразків озброєння та військової техніки (ОВТ) і військових об'єктів виникає за певних умов.

Ці способи набувають актуальності дезактивації у випадках відновлення боєздатності підрозділів після ведення бойових дій із застосуванням противником зброї масового ураження для дезактивації радіоелектронної апаратури та електричних пристроїв, а також у разі відсутності необхідних для проведення дезактивації водних ресурсів.

В статті детально проаналізовано основні способи дезактивації ОВТ без використання рідини. Що в деяких випадках є необхідним.

Аналіз основних досліджень і публікацій. В деяких останніх публікаціях питання дезактивації були розкриті досить детально [1–6; 13–14], але розробка способів дезактивації проводились з використанням рідини, тому в даній статті автори спираються в першу чергу на способи, що придатні для дезактивації радіоелектронної апаратури та електричних пристроїв ОВТ, а також у разі відсутності необхідних для проведення дезактивації водних ресурсів.

Мета статті. В статті пропонується можливість застосування способів дезактивації струменем газу (повітря), абразивного обдуву та пиловідсмоктуванням для дезактивації радіоелектронної і електричної апаратури зразків озброєння та військової техніки і військових об'єктів під час проведення відновлення боєготовності частин і підрозділів за умов відсутності або дефіциту водних ресурсів.

Виклад основного матеріалу

Дезактивація ОВТ і військових об'єктів струменем газу (повітря). Механізм видалення частинок, в тому числі і носіїв активності даного способу детально розглянуто раніше [2–3], а деякі його деталі уточнені у [4].

Схематично процес впливу газового потоку на прилипли частинки представлений на рис. 1.

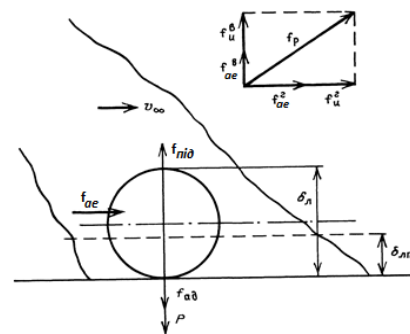


Рис. 1. Схема впливу газового (повітряного) потоку на прилипли РА частинки (пояснення у тексті)

Під дією цього потоку виникає аеродинамічна сила $f_{ае}$ і підйомна сила $f_{під}$. З урахуванням ваги частинок P і сили адгезії здійснення першої стадії процесу дезактивації [2] можна представити у вигляді:

$$f_{ае} \geq \mu(f_{ад} + P - f_{під}), \quad (1)$$

де μ – коефіцієнт зовнішнього тертя.

Для частинок невеликого розміру, коли $f_{ад} \gg P$ умову (1) можна представити у спрощеному вигляді:

$$f_{ае} \geq \mu(f_{ад}).$$

У разі видалення структурованих радіоактивних (РА) забруднень (рис. 1), коли адгезія визначається в розрахунку на одиницю площі контакту S_k , то умова (1) трансформується наступним чином:

$$F_{ae} \geq \mu \left(\frac{F_{ад}}{S_k} + P - f_{плд} \right).$$

Друга стадія процесу дезактивація пов'язана з видаленням РА забруднень, що втратили зв'язок з поверхнею об'єкту, і запобіганням можливого вторинного РА забруднення.

Наведені умови характеризують процес дезактивації струменем газу в загальному вигляді. Реалізація цих умов залежить від структури приграничного шару у забрудненій поверхні та ймовірності здійснення двох основних стадій процесу дезактивації.

Для визначення аеродинамічної сили можна скористатися наступною формулою:

$$f_{ae} \geq C_x \rho S v_{ч}^2 / 2, \tag{2}$$

де C_x – коефіцієнт опору перешкоди, в даному випадку РА частинки; ρ – щільність газу або повітря, з якого формується потік або струмінь; S – так зване миделевий (максимальний) перетин частинок; $v_{ч}$ – швидкість потоку, під дією якого виникає аеродинамічна сила і відбувається відрив прилиплих часток.

Коефіцієнт опору C_x є функцією критерію Рейнольдса R_e який щодо оброблюваної поверхні дорівнює $R_e = v_{ч} L / \nu$, де L – лінійний розмір поверхні, що дезактивується, ν – кінематична в'язкість газу або повітря.

Згідно з умовою (2) аеродинамічна сила залежить безпосередньо від швидкості газового потоку і побічно – через коефіцієнт опору, який визначається числом Рейнольдса і залежить від швидкості потоку [3; 5].

Фактичні значення швидкості потоку, які визначають аеродинамічну силу f_{ae} , а разом з тим і здійснення першої стадії процесу дезактивації, обумовлено структурою приграничного шару. При обтіканні забрудненої поверхні вільним газовим потоком, що має швидкість v_{∞} , на поверхні утворюється приграничний шар товщиною δ_n (рис. 1) [2]. Залежно від швидкості потоку, розмірів обтічної поверхні, місця зустрічі потоку з поверхнею та інших чинників ламінарний приграничний шар може перейти у турбулентний, що має ламінарний підшар товщиною $\delta_{пл}$. У ламінарному приграничному шарі і ламінарному підшарі має місце лінійний розподіл швидкості газового потоку від нуля у обтічній поверхні до максимального значення на зовнішній його границі. По мірі збільшення товщини турбулентного приграничного шару швидкість потоку зростає вже по експоненті.

Аеродинамічна сила визначається швидкістю потоку, який безпосередньо впливає на РА частинки.

На рис. 2 представлена еюра фактичного розподілу швидкості потоку у обтічній поверхні для частинок діаметром 1 мкм і сила аеродинамічного впливу повітряного потоку [4].

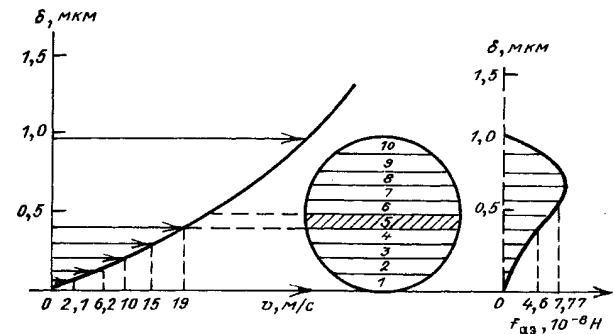


Рис. 2. Розподіл швидкості повітряного потоку V і аеродинамічної сили f_{ae} по висоті частинки діаметром 1 мкм, коли швидкість незбуреного повітряного потоку складає 93,4 м/с

На рис. 2 приведені розподіли швидкості потоку і аеродинамічної сили для окремого випадку, який характеризується певним розміром частинок і швидкістю незбуреного потоку. Фактично в міру зміни швидкості потоку відбувається зміна структури прикордонного шару, а отже і вплив потоку на відрив прилиплих часток змінюється.

Початкова швидкість незбуреного потоку становить 93,4 м/с, а швидкість на висоті центру частки (сектор 5 на рис. 2) буде дорівнювати 19 м/с.

В роботі [4] наведені відомості щодо структури турбулентного прикордонного шару в залежності від швидкості вільного потоку, який регулюється у джерела, що його створює. Отримані наступні результати (табл. 1):

Таблиця 1

Структура турбулентного прикордонного шару в залежності від швидкості вільного потоку

Швидкість вільного потоку, м/с	2,95	9,34	29,5	93,4	295
Товщина, мкм турбулентного пограничного шару	2000	630	200	63	20
Товщина, мкм ламінарного підшарку	16	5,2	1,6	0,52	0,16

Чим більша швидкість газового потоку, тим менша товщина ламінарного підшарку і велика ймовірність видалення відносно дрібних РА частинок. Швидкість на рівні центру частинок змінна навіть для одного і того ж об'єкта і однієї і тієї ж швидкості незбуреного потоку.

Залежно від розмірів РА частинок і їх положення в приграничному шарі можна скористатися наступними напівемпіричними формулами для визначення аеродинамічної сили [3; 5]:

– при знаходженні частинок в ламінарному шарі або в ламінарному підшарку

$$f_{ae}^1 = 0,94\rho d^2 v_\infty (v/L)^{0,5}, \quad (3)$$

- в разі турбулентного приграничного шару

$$f_{ae} = 19,8\rho v_{06}^{1,36} d^{1,44} v^{0,54} / L^{0,14}, \quad (4)$$

де ρ – щільність газового або повітряного потоку; L – лінійні розміри поверхні, що обробляється.

Таким чином, на підставі відомої швидкості незбуреного потоку представляється можливим розрахувати аеродинамічну силу, тобто ліву частину умови $f_{відр} > f_{ад}$ [2], що визначає першу стадію процесу дезактивації. Значення коефіцієнтів тертя визначається експериментально для частинок різного розміру і форми. Зазвичай коефіцієнт зовнішнього тертя менший одиниці. Якщо з урахуванням деякого запаса прийняти, що $\mu = 1$, то аеродинамічній силі протистоїть сила адгезії частинок.

Співвідношення між аеродинамічною силою і силою адгезії представлені на рис. 3 [2].

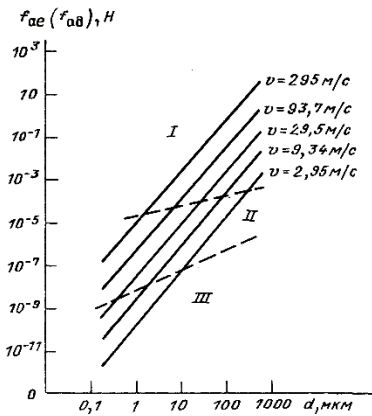


Рис. 3. Зміни аеродинамічної сили f_{ae} (суцільні криві) і сили адгезії (штрихові) в залежності від розмірів частинок: I – зона повного видалення РА частинок; II – зона часткового видалення РА частинок; III – в зоні дезактивація неможлива при різних швидкостях повітряного потоку

Суцільні криві, що характеризують зміни аеродинамічної сили, запозичені з роботи [4], а штрихові, що показують зміну сил адгезії в розрахунку на 1 частинку різної форми (нижня сферичної і верхня неправильної), отримані експериментально в [3]. Нижня штрихова крива визначається мінімальними силами адгезії, а верхня – максимальними з урахуванням розподілу сил адгезії частинок на основі нормально-логарифмічного закону [2, §4. 2]. На підставі співвідношення між аеродинамічною силою і силою адгезії і відповідно до умовою $f_{відр} > f_{ад}$ [2] можна визначити умови здійснення першої стадії дезактивації газовим або повітряним потоком.

В I зоні аеродинамічна сила превалює над силою адгезії і перша стадія процесу дезактивації здійсненна в строго обмежених умовах, а саме, для відносно ве-

ликих частинок, в даному випадку понад 1 мкм і при значній швидкості повітряного потоку, що досягає біля виходу джерела генерації струменя 295 м/с. Реалізація подібної швидкості вимагає значної витрати газу або повітря, створення спеціальної установки для дезактивації крупногабаритних об'єктів. Слід мати на увазі, що швидкість повітряного потоку у оброблюваної поверхні значно менше в порівнянні з тією швидкістю, яка реалізується при виході з сопла робочого агрегату. У II зоні сила адгезії порівнянна з аеродинамічною силою, в III зоні – перевищує її. Це означає, що здійснення дезактивації в II зоні утруднено, а в III взагалі неможливо.

Співвідношення між аеродинамічною силою і силою адгезії на рис. 3 ілюструє обмежені можливості здійснення першої стадії дезактивації навіть в разі поверхневого забруднення у вигляді прилиплих РА частинок. Видалення повітряним потоком РА забруднень, які знаходяться в рідкому середовищі та проникають в щілини і пори або утворюють структуровані системи, ще в більшій мірі утруднено порівняно з видаленням РА частинок з рівних поверхонь.

З урахуванням розподілу частинок по силах адгезії, яка апроксимується нормально-логарифмічним законом, ймовірність першої стадії процесу дезактивації можна представити у вигляді:

$$P_0 = 1 - \left\{ \Phi_1 \left[\frac{(\lg d_{\max} - \lg \bar{d})}{\sigma} \right] - \Phi_2 \left[\frac{(\lg d_{\min} - \lg \bar{d})}{\sigma} \right] \right\},$$

де Φ_1 і Φ_2 – табліровані інтеграли ймовірності; d_{\max} , d_{\min} , \bar{d} – максимальний, мінімальний і медіанний діаметр частинок відповідно до нормально-логарифмічному закону розподілу; σ – середньоквадратичне відхилення.

При впливі повітряного потоку, коли аеродинамічна сила в розрахунку на одиницю маси частинок дорівнює 2g, ймовірність відриву частинок і коефіцієнт дезактивації (КД) з урахуванням розподілу частинок за розмірами (в чисельнику для сферичних, в знаменнику для частинок неправильної форми) набувають значення, які наведені в табл. 2.

Наведені дані показують, що навіть при видаленні відносно крупних частинок КД і відповідно ймовірність відриву незначні, особливо для частинок неправильної форми.

Таблиця 2

Ймовірність відриву частинок і коефіцієнт дезактивації (КД) з урахуванням розподілу частинок за розмірами

Медіанний діаметр частинок, мкм	50	100	200	250
Ймовірність відриву частинок	0,25/ 0,11	0,53/ 0,25	0,85/ 0,83	0,92/ 0,72
КД	1,4/1,1	2,1/2,0	6,7/4,0	12,5/5,0

Друга стадія процесу дезактивації пов'язана з видаленням частинок від оброблюваного об'єкта, коли ці частинки знаходяться у зваженому або аерозольному стані. Сили, що зумовлюють здійснення другої стадії процесу, представлені у верхній частині рис. 1. По відношенню до зважених часток аеродинамічна сила містить горизонтальну і вертикальну складові f_{ac}^{Γ} , f_{ac}^B . Горизонтальна складова змушує частинки рухатися у напрямку потоку газу або повітря. Вертикальна складова створює підйомну силу, що перешкоджає осіданню частинок і вторинному РА забрудненню за рахунок цього процесу.

Аерозольні РА частинки, гнані газовим або повітряним потоком, набувають здатність рухатися за інерцією. Інерційні сили змушують РА частинки відхилитися від напрямку повітряного потоку, коли він сам змінює свій напрямок. Таким чином з'являється горизонтальна і вертикальна інерційні складові f_{in}^{Γ} , f_{in}^B . Крім сил, зображених у верхній частині рис. 1, діють й інші сили [7]. В умовах дезактивації поверхонь об'єктів газовим або повітряним потоком ними можна знехтувати.

В результаті дії вертикальних і горизонтальних компонент виникає результуюча сила f_p , яка і визначає другу стадію процесу дезактивації.

Зазвичай при дезактивації газовим або повітряним потоком, що лімітує, є перша стадія процесу. Під час другої стадії РА забруднення розпорошуються поблизу оброблюваного об'єкта. Якщо не вжити заходів з уловлювання цих частинок, то залишиться їх осідання або осадження не на самому об'єкті, а поблизу його – дезактивація зведеться до перерозподілу РА забруднень.

Практично для дезактивації об'єктів використовується газовий струмінь, який виривається із сопла реактивного двигуна. Швидкість газового струменя на виході з авіаційного двигуна зазвичай становить 150–200 м/с, а у поверхні, що обробляється, вона знижується до 90–110 м/с. Така швидкість (рис. 3) дозволяє видаляти досить великі РА частинки діаметром понад 15 мкм. Після РА забруднення частинками, що утворюються в результаті наземного ядерного вибуху, КД досягає лише 5.

В умовах Чорнобиля цей спосіб стосовно транспортних засобів виявився не ефективним [8].

Це не означає відмову від використання повітряного потоку з метою дезактивації. Низька ефективність, однак, спонукала застосовувати інші способи дезактивації з використанням повітряного потоку.

У стаціонарних умовах повітряний потік застосовувався для дезактивації поверхонь приміщень. З цією метою в стінах змонтовані шліцьові отвори, через які зі швидкістю від 10 до 30 м/с подається повітря [9]. Шліці розташовані таким чином, щоб повітря утворював вихрові потоки, а самі шліці до-

зволяли змінювати напрямок повітря від тангенціального до радіального. Відпрацьоване повітря, що утримує РА забруднення, видалається з приміщення через рециркуляційні трубки, забезпечуючи тим самим замкнутий цикл дезактивації.

Іншим шляхом підвищення ефективності дезактивації струменем повітря можна досягти за рахунок застосування абразивного обдуву. Абразивний порошок подається в повітряне середовище і під його впливом набуває необхідну швидкість за рахунок аеродинамічної і інерційної сил (рис. 1). Потім порошок разом з повітряним потоком подається на оброблювану поверхню. Як абразивний матеріал може бути використаний пісок, карборунд, металеві та інші порошки.

Дезактивація в основному здійснюється за рахунок впливу абразивного порошку, а повітряний струмінь, в даному випадку, виконує допоміжні функції: розпил порошку, надання абразивним частинкам певної швидкості, спрямування їх на оброблювану поверхню і видалення відпрацьованих частинок разом з РА забрудненнями з поверхні об'єкта.

Якщо як абразив використовується пісок, то така обробка називається піскоструминною; обробку сталевими кульками і дробом називають дрібоструминною. Крім того застосовують різні порошки, такі як B_2O_3 , інгібіруючої дії й інші.

У всіх варіантах використання абразивного препарату і зняття забрудненого шару відбувається впровадження абразиву (піску, дробу, металевих і інших частинок) в оброблювану поверхню, скіл або зріз частини цієї поверхні. Продуктивність абразивної обробки порівняно невелика; так в разі піскоструминної і дрібоструминної дезактивації вона може досягати для легованих сталевих конструкцій близько $5 \text{ м}^2/\text{год.}$, а для забарвлених виробів шляхом зняття шару фарби – $25 \text{ м}^2/\text{год.}$ За іншими даними [12], при видаленні поверхневого шару бетону глибиною до 7 мм продуктивність складає $11 \text{ м}^2/\text{год.}$, а для очищення від фарби металевих виробів – до $33 \text{ м}^2/\text{год.}$

Існує певна швидкість частинок, яка характеризує їх абразивну дію; одночасно здійснюються відскоки частинок від оброблюваної поверхні і абразивна дія. Абразивна дія спостерігалася для різних поверхонь в залежності від швидкості скляних кулястих частинок. Ця залежність наступна (табл. 3).

Таблиця 3

Абразивна дія для різних поверхонь в залежності від швидкості скляних кулястих частинок

Матеріал поверхні	Дюралюміній	Дюралюміній пофарбований	Текстоліт	Сталь-3
Швидкість абразивного впливу, м/с	29	18	36	43

Наведені значення швидкостей абразивного впливу слід розглядати як мінімальні і усереднені. Фактично можуть бути відхилення від цих значень, які пов'язані з пружними властивостями абразивного порошку, розмірами частинок цього порошку та іншими факторами, зокрема, кута зустрічі потоку абразивних частинок з оброблюваною поверхнею.

Абразивні частинки рухаються повільніше, ніж сам потік. Вони отримують певну швидкість не тільки за рахунок повітряного потоку, що має велику швидкість по відношенню частинок, але і в результаті розпилю порошку, який може здійснюватися при тиску повітря 5-9 МПа [10].

Абразивну дію, коли відбувається видалення верхнього шару оброблюваної поверхні разом з розташованими в цьому шарі РА забрудненнями, є перша стадія дезактивації. Умови (1) і (2), які характеризують цю стадію, в даному випадку можна представити в наступному вигляді:

$$F_{аб} > F_{ког} \quad (5)$$

Умова (5) означає, що сила, викликана абразивним дією $F_{аб}$, перевершує когезійну силу $F_{ког}$, яка визначає міцність самого оброблюваного матеріалу. Абразивний обдув - універсальний і досить ефективний спосіб дезактивації. Його можна використовувати для дезактивації металів і пористих матеріалів, наприклад, бетону. Однак цей спосіб не позбавлений недоліків і досить суттєвих. Основними з них є необхідність використання абразивного порошку, витрата якого складає в межах 7,5-45 г/с, труднощі його регенерації після дезактивації, виникнення суміші РА забруднень з відпрацьованим абразивним порошком.

Після зняття забрудненого шару оброблювана поверхня несе сліди абразивного впливу: утворюються нерівності, виникає небезпека значною локальної ерозії поверхні, відбувається втрата захисних і механічних властивостей оброблених поверхонь. У процесі другої стадії абразивні частинки спільно з РА забрудненнями, гнані повітряним потоком, розпорошуються навколо оброблюваного об'єкта. Ця обставина призводить до аерозольного вторинного забруднення навколишнього середовища, яке посилюється ще і небезпечним впливом на організм людини самого абразивного порошку (можливість захворювання на силікоз та інші небажані наслідки). Для запобігання негативного впливу відпрацьованого порошку і видалених РА забруднень здійснюються низку заходів. До їх числа відноситься використання абразивного обдування лише для дезактивації внутрішніх поверхонь резервуарів, трубопроводів та інших об'єктів, перехід від "сухого" розпилю повітрям на варіант "мокрого" розпилю за допомогою водного потоку. Один з варіантів комбінації сухого і мокрого розпилю полягає в охолодженні поверхонь повітряним потоком, що містить крижані крихти [11], які виконують роль абразивного матеріалу в

першій стадії процесу дезактивації. Потім після контакту з оброблюваною поверхнею і вичерпання своїх абразивних властивостей з крижинок утворюється плівка води; ця плівка під дією повітряного потоку стікає, захоплюючи за собою РА забруднення. Подібним чином проводилася дезактивація трубопроводів і клапанів арматури АЕС. Коефіцієнт дезактивації склав приблизно 10.

Обробка крижаною крихтою пов'язана з невеликою витратою своєрідного абразивного матеріалу, який до того ж не викликає пошкоджень оброблюваної поверхні, хоча коефіцієнт зниження потужності дози досягає 1000.

При використанні в якості абразиву частинок з твердої вуглекислоти відбувається природна сепарація РА забруднень від абразиву, десублімації вуглекислого газу (перехід з твердої в газоподібну фазу) відпрацьованого абразивного порошку.

У деяких умовах для дезактивації передбачений вакуумний відсмоктувач відпрацьованого абразивного порошку в суміші з роздробленим матеріалом верхнього забрудненого шару [12], що виключає можливість вторинного РА забруднення. Коефіцієнт дезактивації досягає 100.

Дезактивація абразивним порошком на основі замкнутого циклу з наступною регенерацією і повторним використанням абразивного матеріалу дозволяє уникнути багатьох недоліків цього способу.

Дезактивація пиловідсмоктуванням. На відміну від попереднього способу дезактивації повітряним струменем потік повітря спрямований не на оброблювану поверхню, а від неї.

Це відбувається під дією вакууму, що створюється в повітряному тракті приладу (рис. 4) [2]. Вакуум і певний витрата повітря є характерними параметрами дезактивації способом пиловідсмоктування.

У першій стадії дезактивації видаленню адгезійно-пов'язаних РА забруднень відповідно до умов (1) і (2) сприяє крім вакууму механічний вплив щітки. Повітряний потік підхоплює радіоактивне забруднення, видаляє їх з забрудненої поверхні і тим самим здійснює другу стадію процесу дезактивації.

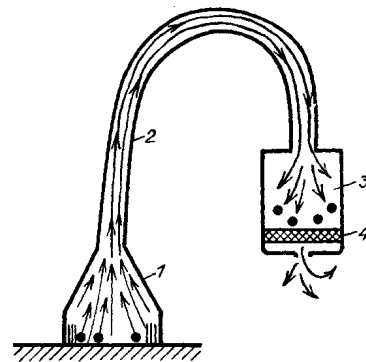


Рис. 4. Схема процесу дезактивації пиловідсмоктуванням: 1 – сопло-щітка; 2 – повітряний тракт; 3 – пиловідсмоктувач; 4 – фільтр

Сукупний вплив повітряного потоку і щітки створює можливість значно знизити витрати електроенергії і швидкість повітряного потоку, який в соплі пілососа становить 12–15 м/с, тобто значно менше, ніж при дезактивації обдуванням струменем повітря (рис. 2 і 3).

У процесі здійснення другої стадії повітряний потік, укладений в повітропровід, позбавлений можливості поширювати РА забруднення в навколишнє середовище. Фільтрація забрудненого потоку дозволяє вловлювати РА забруднення що видаляються і здійснити дезактивацію на основі замкнутого циклу. Швидкість повітряного потоку для транспортування РА забруднень в повітроводі повинна бути не менше 20 м/с.

Рух повітряного потоку спільно з РА забрудненнями на рис. 4. показано у вигляді ліній струму, які характеризуються однаковими значеннями скалярної величини вектору швидкості. Сімейства ліній струму дозволяють характеризувати особливості переміщення повітря, а разом з ним і РА забруднень, в соплі і в повітряному тракті пілососа.

Промислові пілососи здатні обробити близько 300 м² забруднених поверхонь за 1 год. Можливості цих пілососів по відношенню до кубатури приміщень становить 150–250 м³/год., а при використанні побутових пілососів вона скорочується до 60–70 м³/год.

У той же час дезактивація пиловідсмоктуванням має і свої недоліки. Пиловідсмоктуванням, як і при охолодженні струменем повітря, видаляється лише адгезійні РА забруднення. Адсорбційно-пов'язані РА забруднення, а тим більш глибинні не піддаються видаленню. Навіть в разі сухої поверхні у найсприятливіших умовах, коли забруднення обумовлені РА частинками діаметром понад 20 мкм, Коефіцієнт дезактивації не перевищує 20, тобто дезактивацію можна визнати доброю. У процесі дезактивації об'єктів в Чорнобилі КД ледь досягав 2.

В процесі роботи пілососа забруднюються внутрішні поверхні повітряного тракту і особливо мішок і фільтр. Подібні забруднення становлять не-

безпеку для персоналу, що проводить обробку, а сама дезактивація пілососа трудомістка і вимагає дотримання особливих заходів безпеки.

Підвищені труднощі виникають в процесі очищення забрудненого повітря за допомогою фільтра 4 (рис. 4). Для пілососів лінійна швидкість фільтрації становить 16–18 м/с. При цьому коефіцієнт проскакування, досить значний і становить 5–20 % [2]; для пілососів використовуваних з метою дезактивації аналогічний показник проскоку – неприпустимий.

Всі ці обставини спонукають розробляти спеціальну технологію дезактивації за допомогою пілососів, а також розробляти пілососи, в яких би враховувалася особливість їх використання для дезактивації.

Висновки

1. Дезактивація струменем газу (повітря). При дезактивації струменем газу (повітря) з поверхні видаляються забруднення у вигляді РА частинок 1, крапель рідини 2, а також структурованих мас 3 (рис. 1 [1]). Газовий потік в змозі подолати лише поверхневі РА забруднення адгезійної природи.

2. Одна з можливостей підвищення ефективності обробки заснована на використанні повітряного струменя після введення в неї порошку, що володіє абразивною дією і здатного зняти верхній забруднений шар. Дезактивація відбувається в результаті абразивного обдування, при цьому видаляються як поверхневі, так і глибинні РА забруднення. Коефіцієнт дезактивації може досягати 200–300 [10–11], що гарантує відмінну якість обробки.

3. Таким чином, в промислових і побутових пілососах, що реалізують дезактивацію на основі пиловідсмоктування, на відміну від обдування повітряним потоком здійснюється дезактивація на основі замкнутого циклу; в цьому перевага пиловідсмоктування від дезактивації струменем повітря. Крім того для роботи пілососів потрібні менші швидкості повітряного потоку, а отже і менш потужні генератори для створення подібних потоків.

Список літератури

1. Лазутський А.Ф. Щодо питання визначення фізико-хімічних процесів поверхневого радіоактивного забруднення / А.Ф. Лазутський, А.В. Писарев, В.О. Табуненко // Вісник Національного технічного університету “ХПІ”. Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х.: НТУ “ХПІ”. – 2010. – № 17. – С. 31–35.
2. Зимон А.Д. Дезактивація / А.Д. Зимон. – М.: Атомиздат, 1975. – 280 с.
3. Зимон А.Д. Адгезія пилы и порошков. / А.Д. Зимон. – 2-е изд. Перераб. и доп. – М.: Химия, 1976, Что такое адгезия. – М.: Наука, 1983. – 432 с.
4. Musseiman, R. and Yarbrongh J. J. Environ. Sci. – 1987. – Vol. 80, No. 1. – Pp. 51–56.
5. Zimon A. Adhesion of Dust and Power N.Y. – London: Plenum Press, 1982.
6. Лазутский А.Ф. Щодо питання визначення фізико-хімічних процесів глибинного радіоактивного забруднення / А.Ф. Лазутський, А.В. Писарев, В.О. Табуненко // Вісник Національного технічного університету “ХПІ”. Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х.: НТУ “ХПІ” – 2009. – № 16. – С. 13–17.
7. Зимон А.Д. Аэрозоли / А.Д. Зимон. – М.: Химия, 1993. – 208 с.

8. Кавунов В.С. Чернобыльская катастрофа: причины и последствия / В.С. Кавунов, Г.С. Сакулин, Л.Н. Шадрин, А.Д. Зимон. – Ч.1. – Минск: Тест, 1993. – С. 199-214.
9. Пат ФРГ № Р 3604422.9 Устройство для очистки загрязненной поверхности потоком воздуха / В.Дейсер // Оpubл. 20.08.1987. РЖ Ядерные реакторы. 1988, Т2, № 50.147П.
10. Полуэктова Г.Б. Атомная техника за рубежом / Г.Б. Полуэктова, О.В. Ковальчук. – 1990. – № 8. – С. 9-13.
11. Kimuro H. Eng. Rev. – 1987. – Vol. 27. – № 2. – pp. 90-93.
12. Хашин М. Тр. Амер. об-ва инженеров-механиков / М. Хашин, Д. Эчерт. – Сер.Б., 1990. – С. 93-99.
13. Писарев А.В. Особливості дезактивації продуктів харчування при забрудненні радіоактивними речовинами при аваріях на радіаційно-небезпечних об'єктах / А.В. Писарев, А.Ф., Лазутський С.А. Тузіков // Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба. – Х.: ХНУПС 2017. – Вип. 1 (50). – С. 143-146.
14. Писарев А.В. Методика оцінки ступеня і повноти дезактивації об'єктів, забруднених радіоактивними речовинами / А.В. Писарев, І.О. Радченко, С.А. Тузіков, С.А. Писарев, А.Ф. Лазутський // Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба. – Х.: ХНУПС 2017. – Вип. 2 (51). – С. 170-174.

References

1. Lazutskiy, A.F., Pysaryev, A.V. and Tabunenکو, V.O. (2010), “Shchodo pytannya vyznachennya fizyko-khimichnykh protsesiv poverkhevoho radioaktyvnoho zabrudnennya” [Concerning the determination of the physical and chemical processes of surface radioactive contamination], *New solutions in modern technologies*, No. 17, pp. 31-35.
2. Zimon, A.D. (1975), “Dezaktivatsiya” [*Deactivation*], Atomizdat, Moscow, 280 p.
3. Zimon, A.D. (1983), “Adgeziya pyli i poroshkov” [*Adhesion of dust and powders*], Nauka, Moscow, 432 p.
4. Musseiman, R. and Yarbrongh, J. (1987), *J. Environ. Sci.* Vol 80, No. 1, pp. 51-56.
5. Zimon, A.D. (1982), *Adhesion of Dust and Power* N.Y., Plenum Press, London.
6. Lazutskiy, A.F., Pysaryev, A.V. and Tabunenکو, V.O. (2009), “Shchodo pytannya vyznachennya fizyko-khimichnykh protsesiv hlybinnogo radioaktyvnoho zabrudnennya” [Concerning the definition of the physical and chemical processes of deep radioactive contamination], *New solutions in modern technologies*, No. 16, pp 13-17.
7. Zymon, A.D. (1993), “Aerozoli” [*Aerosols*], Chemistry, Moscow, 208 p.
8. Kavunov, V.S., Sakulin, G.S., Shadrin, P.N. and Zimon, A.D. (1993), “Chernobyl'skaya katastrofa: prichiny i posledstviya” [*Chernobyl Catastrophe: causes and consequences*], Part 1, Test, Minsk, pp. 119-214.
9. Deytser, V. Pat. (1987), “Ustroystvo dlya ochistki zagryaznennoy poverkhnosti potokom vozdukha” [*Device for cleaning the contaminated surface with a stream of air*] West Germany, №. P 3604422.9.
10. Poluektova, G.B., Koval'chuk, O.V. (1990), “Atomnaya tekhnika za rubezhom” [*Atomic engineering abroad*], No. 8, pp. 9-13.
11. Kimuro, H. (1987), *Eng. Rev.* Vol. 27, №. 2, pp. 90-93.
12. Khashin, M. and Echert, D. (1990), “Tr. Amer. ob-va inzhenerov-mekhanikov” [Tr. Amer. Society of Mechanical Engineers], *series B*, No. 5, pp. 93-99.
13. Pysaryev, A.V., Lazutskiy, A.F. and Tuzikov, S.A. (2017), “Osoblivosti dezaktivatsii produktiya kharchuvannya pri zabrudnenii radioaktivnimi rehovinami pri avariyaх na radiatsiyno-nebezpechnikh ob'ektakh” [Features of decontamination of food products when contaminated with radioactive substances during accidents on radiation-hazardous objects], *Scientific Works of Kharkiv National Air Force University*, No. 1 (50), pp.143-146.
14. Pysaryev, A.V., Radchenko, I.O., Tuzikov, S.A., Pysaryev, S.A. and Lazutskiy, A.F. (2017), “Metodyka otsinky stupenya i povnoty dezaktivatsiyi obyektiv, zabrudnennykh radio-aktyvnymy rehovynamy” [Method of evaluation of degree and completeness of decontamination of objects contaminated with radioactive substances], *Scientific Works of Kharkiv National Air Force University*, No. 2(51), pp. 170-174.

Надійшла до редколегії 21.03.2018
Схвалена до друку 15.05.2018

Відомості про авторів:

Писарев Анатолій Васильович
кандидат військових наук доцент
доцент кафедри
Національна академія Національної
гвардії України,
Харків, Україна
<https://orcid.org/0000-0003-4527-0410>

Information about authors:

Anatolii Pisarev
Candidate of Military Sciences Associate Professor
Assistant Professor
National academy National
Guard of Ukraine,
Kharkiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0003-4527-0410>

Радченко Ігор Олександрович

кандидат військових наук доцент
завідувач кафедри
Національна академія Національної
гвардії України,
Харків, Україна
<https://orcid.org/0000-0003-2023-1568>

Igor Radchenko

Candidate of Military Sciences Associate Professor
Head of the Department
National academy National
Guard of Ukraine,
Kharkiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0003-2023-1568>

Тузіков Сергій Анатолійович

кандидат технічних наук, доцент
доцент кафедри
Харківський національний
університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба,
Харків, Україна
<https://orcid.org/0000-0001-5919-1137>

Sergei Tuzikov

Candidate of Technical Sciences Associate Professor
Assistant Professor,
Ivan Kozhedub Kharkiv
National Air Force University,
Kharkiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0001-5919-1137>

Лазутський Анатолій Федорович

кандидат військових наук доцент
професор
Інститут танкових військ НТУ «ХПІ»,
Харків, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-9203-6638>

Anatolii Lazutsky

Candidate of Military Sciences Associate Professor
Professor
Institute of Tank Armies NTU"KhPI" ,
Kharkiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-9203-6638>

Писарєв Сергій Анатолійович

старший викладач
Інститут танкових військ НТУ «ХПІ»,
Харків, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-7547-8629>

Sergei Pisarev

Senior Instructor
Institute of Tank Armies NTU"KhPI",
Kharkiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-7547-8629>

**АНАЛИЗ БЕЗЖИДКОСТНЫХ СПОСОБОВ ДЕЗАКТИВАЦИИ
ОБРАЗЦОВ ВООРУЖЕНИЯ, ВОЕННОЙ ТЕХНИКИ И ВОЕННЫХ ОБЪЕКТОВ**

А.В. Писарев, И.А. Радченко, С.А. Тузиков, А.Ф. Лазутский, С.А. Писарев

В данной статье рассмотрены проблемы безжидкостных способов дезактивации, проведен подробный анализ данных способов дезактивации образцов вооружения, военной техники и военных объектов. Проанализированы характерные особенности безжидкостной дезактивации образцов вооружения, военной техники и военных объектов как дезактивация струей газа (воздуха), абразивный обдув, дезактивация пылеотсасыванием. На основе проведенного исследования предлагается выделить следующее: при дезактивации струей газа (воздуха) – первая стадия процесса в случае удаления структурированных РА загрязнений, вторая стадия процесса дезактивация связана с удалением РА загрязнений, потерявших связь с поверхностью объекта, и предотвращением возможного вторичного РА загрязнения; при абразивном обдуве - возможность повышения эффективности обработки основана на использовании воздушной струи после введения в нее порошка, обладающего абразивным действием и способного снять верхний загрязненный слой; при дезактивации пылеотсасыванием – осуществляется дезактивация на основе замкнутого цикла.

Ключевые слова: дезактивация, адгезия, радиоактивное загрязнение, критерий Рейнольдса, аэродинамическая сила, ингибирующая сила.

**ANALYSIS OF THE NON-LIQUID METHODS OF DESACTATION
OF THE SAMPLES OF ARMAMENTS, MILITARY EQUIPMENT AND MILITARY OBJECTS**

A. Pisarev, I. Radchenko, S. Tuzikov, A. Lazutsky, S. Pisarev

This article deals with the problems of non-liquid methods of decontamination, detailed analysis of these methods of decontamination of weapons, military equipment and military objects. Characteristic features of the liquid-free decontamination of weapons, military equipment and military objects as deactivation by a gas (air) jet are analyzed. abrasive blasting, deactivation by dust extraction. On the basis of the study, the following is suggested: when decontaminating stool gas (air) - the first stage of the process in the event of the removal of structured RA contamination, the second stage of the decontamination process is associated with the removal of RA contaminations that have lost contact with the surface of the object and prevention of possible secondary RA contamination ; when abrasive blasting - the possibility of improving the efficiency of the treatment is based on the use of an air jet after the introduction of a powder having an abrasive action and capable of removing the upper contaminated layer, while deactivation by dust extraction - deactivation based on a closed cycle. The necessity of using these methods of non-liquid decontamination in the cases of the restoration of combat capability of units.

Keywords: decontamination, adhesion, radioactive contamination, Reynolds criterion, aerodynamic force, inhibitory force, adhesion.