

УДК 614.84

DOI: <https://doi.org/10.31731/2524.2636.2023.7.2.266.278>

*Іван ЧОРНОМАЗ, кандидат технічних наук (ORCID: 0000-0001-9742-0201),  
Черкаський інститут пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля  
Національного університету цивільного захисту України*

## **ОСНОВИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗПЕЧНИХ УМОВ РОБОТИ ТА ПРОФІЛАКТИКИ ПРОФЕСІЙНИХ ХВОРОБ ОСОБОВОГО СКЛАДУ ДСНС УКРАЇНИ В ЗОНІ ПОСТІЙНИХ ОБСТРІЛІВ**

Захисний одяг пожежних призначений для захисту їх від небезпечних факторів пожежі, але поруч із цим сам одяг може нести небезпеку здоров'ю та життю вогнеборців. Пов'язано це з тим, що під час експлуатації спеціального одягу, він здатен накопичувати на поверхні небезпечні шкідливі. При тривалому використанні захисного одягу – це може призвести до низки хронічних захворювань та захворювань на рак. Дослідження в цьому напрямку було проведено науковцями Великобританії, Сполучених штатів Америки, Норвегії, тощо.

Метою роботи було провести аналіз вже проведених досліджень, які стосуються звичайного пожежогасіння, забруднення одягу пороховими газами при гасіння пожеж, що виникли внаслідок обстрілів, визначення ефективних способів дезактивації спеціального одягу пожежних. Також метою роботи було звернути увагу на необхідність впровадження досвіду інших країн, щодо дезактивації небезпечних речовин на поверхні спеціального одягу пожежних, перегляд норм його експлуатації, впровадження профілактичних заходів та недопущення забруднення приміщень пожежних депо, запровадження додаткових медичних обстежень та підвищення соціальних гарантій та страхування пожежних.

Було проаналізовано відомі способи визначення забруднення спеціального одягу, рукавиць, приміщень пожежних депо та приміщень для зберігання спеціального одягу. В дослідженнях були використані метод EPA 8270, статистичний пакет Statistica 10.0 з використанням критерію  $\chi^2$ .

Також в роботі звертається увага на додаткове забруднення спеціального одягу пожежних при виконання дій за призначенням в місцях де було здійснено обстріл та утворюються порохові гази та інші небезпечні сполуки, що також здатні відкладатися на одязі та призводити до тяжких хвороб.

Запропоновані заходи, щодо зменшення впливу небезпечних речовин на організм пожежних рятувальників, що відкладаються на спеціальному одязі.

**Ключові слова:** дослідження, спеціальний одяг пожежних, отруйні речовини, професійні захворювання пожежних, дія порохових газів, дезактивація одягу пожежних.

**Постановка проблеми.** Під час гасіння пожеж особовий склад пожежно-рятувальних підрозділів Державної служби України з надзвичайних ситуацій (далі – ДСНС) використовує пожежно-технічне обладнання та засоби захисту [2]. До цих засобів слід віднести спеціальний одяг (комплект – куртка, тани, або плащ, штани), взуття, рукавиці та засоби захисту органів зору та дихання. Під час перебування пожежних в зоні задимлення, їх спеціальний одяг накопичує значну кількість шкідливих речовин, що утворюються під час горіння різноманітних речовин. Небезпечні речовини та їх сполуки можуть утворюватися під час пожеж на промислових об'єктах та у приватному секторі. Накопичені на поверхні та в середині

тканин спеціального одягу речовини несуть небезпеку здоров'ю та життю пожежних-рятувальників через потрапляння їх до організму та можуть спричиняти цілу низку важких захворювань.

Слід також відмітити, що в умовах сьогодення підрозділам ДСНС доводиться долати наслідки ракетних обстрілів та атак безпілотних літальних апаратів, до «стандартних» шкідливих речовин додаються порохові гази, які мають у своєму складі монооксид та оксид вуглецю, оксиди азоту. Ці речовини також можуть призводити до тяжких хронічних та онкологічних захворювань.

На сьогоднішній день в Україні не відомі ефективні способи нейтралізації небезпечних речовин накопичених на спеціальному одязі пожежних-рятувальників, та не ведеться статистика захворюваності на хронічні та онкологічні хвороби у пожежних-рятувальників. Тому розробка сучасних методів та речовин здатних нейтралізувати чи зменшити вплив небезпечних речовин на організм пожежних є актуальним та важливим. Також необхідно переглянути терміни експлуатації спеціального одягу пожежних, вимоги до нього та впровадити в підрозділах додаткову гігієну праці після роботи в задимленому середовищі.

**Аналіз останніх досягнень і публікацій.** На разі, в Україні відсутні у широкому доступі будь-які дані чи інформація щодо аналізу рівня забруднення спеціального одягу під час виконання завдань за призначенням, статистичні дані чи аналіз рівня захворюваності пожежних на професійні хвороби, відповідно відсутні і необхідні для вирішення цих завдань рішення.

Натомість є ряд досліджень проведених науковцями з Європи та Сполучених штатів Америки. Так в дослідженнях Сільвії Марії Кшемінської та Магложати Шевчинської було проведено аналіз впливу деяких небезпечних факторів використання та догляду за спеціальним одягом пожежних-рятувальників під час виконання ними дій за призначенням на забруднення хімічними речовинами. Дослідження проводилося за допомогою анкетування серед пожежних з досвідом роботи до 21 року. Анкетування дало можливість визначити, що видалення забруднення зі спеціального одягу пожежних було важким 83% опитуваних, частіше забрудненню піддавалися поверхні рукавів та штани, а після повернення до пожежного підрозділу спостерігалось відчуття дискомфорту у 90 % опитуваних через вогонь, дим чи залишки горіння [4].

Науковці Гарвардської школи громадської охорони здоров'я імені Чана провели ряд досліджень в пожежних частинах штату Массачусетс. Ними було проведено досліджено пил в різних за призначенням приміщеннях 15 пожежних депо. Під час дослідження відбирались проби пилу в кімнатах відпочинку, зберігання спеціального одягу та спорядження та інших службових приміщеннях. Найбільше токсичних сполук, які називаються перфторалкільними речовинами або PFAS, було виявлено в кімнатах зберігання спеціального одягу пожежних.

PFAS – це штучні хімікати, які відштовхують масло, жир і воду. Відомі як «вічні хімікати», оскільки вони не легко розкладаються в навколишньому середовищі, PFAS використовуються в широкому спектрі продуктів, таких як плямонепроникні килими, пакети для попкорну для мікрохвильових печей, контейнери для їжі на винос, антипригарний посуд, водо- та тепло- стійкий одяг, такий як куртки та інше спорядження, яке носять пожежники. PFAS були пов'язані з проблемами здоров'я, включаючи рак, пригнічення імунної системи, діабет, низьку вагу немовлят при народженні та зниження фертильності [5].

У 2015 році дослідники з Національного інституту безпеки та гігієни праці (NIOSH) опублікували результати багаторічного дослідження зв'язку між пожежниками та раком. У дослідженні взяли участь 30 000 пожежників з трьох пожежних відділів: Чикаго, Філадельфії та Сан-Франциско. У пожежників у цьому

дослідженні було більше випадків раку та смертей, пов'язаних із раком, ніж у загальній популяції. Крім того, було більше випадків деяких видів раку серед молодих пожежників. Це дослідження довело, що пожежники піддаються підвищеному ризику певних типів раку внаслідок професійного впливу [7].

Окрім того проведені дослідження дали змогу з'ясувати, що самі тканини захисного одягу пожежних можуть містити PFAS, це ще більше наражає їх на небезпеку.

Останніми роками все більшого занепокоєння серед професійних пожежних США викликає стрімке зростання захворюваності на рак та смертності від нього. Так, за результатами дослідження Національного інституту безпеки та гігієни праці США виявили, що пожежники мають на 9 відсотків вищий ризик захворіти на рак, ніж інші пересічні громадяни, і на 14 відсотків вищий ризик смерті від цієї хвороби. За даними Міжнародної асоціації пожежників, найбільшої профспілки пожежників США, у період з 2002 по 2019 рік рак став причиною 66 відсотків [6].

У Великобританії також було проведення дослідження стосовно забруднення спеціального одягу пожежних, обладнання та забруднення приміщень пожежного депо. Результати досліджень показали, що близько 84% пожежних знімають спеціальних одяг під час посадки в кабінку пожежного автомобіля після використання його в задимленому середовищі. Але також відмічається негативна тенденція до зменшення проведення обробки одягу після використання пожежними зі збільшенням їх стажу роботи та кількості виїздів. Тобто, чим більше стаж, тим менше проводиться обробка одягу після використання. Дослідження показали, що лише третина пожежних проводила обробку (очищення) свого одягу та обладнання після використання на пожежі. Частина пожежних стикнулася з проблемами подальшої експлуатації спеціального одягу через усадку та підгонку його після обробки, також на час проведення обробки та сушки одягу він не міг бути використаний в разі екстреного виклику і тому виникала потреба в ще одному (резервному) комплекті спеціального одягу.

Також дослідження дало змогу визначити, що приміщення зберігання спеціального одягу пожежних також мали завищені показники параметрів небезпечних речовин, які потрапили туди внаслідок забруднення самого одягу. При чому чистий одяг міг зберігатися із забрудненим. Дослідження дало змогу дізнатися, що близько половини пожежних 57% опитаних, зберігали рукавиці в касках, кишенях штанів та у взутті після використання їх на пожежах, а це в свою чергу значно збільшує ймовірність потрапляння небезпечних речовин до організму пожежного. При цьому слід відзначити, що лише 19% з цих пожежних проводили обробку цих рукавиць, а 20% взагалі ніколи не проводили професійну обробку [9].

Також науковцями США було проведено ряд досліджень на вміст небезпечних речовин у тканинах спеціального захисного одягу пожежних. Дослідження проводилось із використанням на гасінні внутрішньої контрольованої пожеж одягом за відомим методом EPA 8270 на наявність напівлетких забруднювачів, в тому числі 20 поліциклічних ароматичних вуглеводнів (ПАВ) і 6 фталатних дієфірів. Практично на кожному зразку спеціального одягу було виявлено лише ді-(2-етилгексил) фталат (DEHP), пластифікатор, який додають до полівінілхлориду (ПВХ) для збільшення гнучкості [10].

Останнім часом новітні технології все більше наповнюють побут сучасної людини, утворюючи комфортні умови життя, а також створювати умови збереження екології, використовуючи альтернативне джерела енергії (сонячна енергія). Нажаль пожеж трапляються і з такими сучасними розробками, як електромобілі та фотоелектричні модулі для отримання електричної енергії. Горіння акумуляторів

електромобілів та фотоелектричних модулів супроводжується виділенням високої температури та значної кількості шкідливих речовин в навколишнє середовище. Подекуди викиди шкідливих речовин при таких пожежах можуть нести набагато більше шкоди для навколишнього середовища ніж звичайні пожежі. А на гасіння таких пожеж необхідно витратити значно більше вогнегасних речовин, часу та проводити очищення місця події через утворення шкідливих сполук. Що можуть потрапляти у повітря та ґрунт.

Тому в Бельгії, науковцями Евеліною Шмитке, Доротою Бжезінською, Вальдемаром Махновським, Шимоном Кокотом, було проведено окреме дослідження впливу забруднення спеціального одягу пожежних під час гасіння акумуляторів електромобілів і фотоелектричних модулів. Дослідження проводилися окремо з акумуляторами електромобілів та фотоелектричних модулів, при цьому досліди проводилися і в закритих приміщеннях (імітуючи гаражне приміщення), так і на свіжому повітрі. Дослідження дали змогу виявити наявність поліциклічних ароматичних вуглеводнів (ПАВ) і формальдегіду, рівень забруднення перевищив допустимі норми. Так, наприклад рівень кобальту був у 24 рази вищий, за той що вважався безпечним при гасінні пожеж автомобільного акумулятора. [11].

Всі ці дослідження дають змогу зрозуміти, що питання забруднення та обробки (деактивації шкідливих речовин) спеціального одягу пожежних потребує подальшого вивчення.

Необхідно звернути увагу і на те, що наявність шкідливих речовин в тканинах спеціального одягу може призводити до захворювань навіть без використання його на пожежах. Тому в США Міжнародною асоціацією пожежних було ініційовано перегляд стандартів з виготовлення спеціального одягу пожежних, через вміст у ньому самого промислових хімічних речовин, пов'язаних із раком та іншими захворюванням [14].

Необхідно врахувати і той факт, що якість одягу, укомплектування та своєчасна заміна зношеного спеціального одягу пожежних Європи та США налагоджена набагато краще. Тому хоча б за рахунок зменшення терміну експлуатації спеціального одягу, можна знизити ризики впливу на організм пожежних небезпечних речовин, що в ньому накопичилися за роки експлуатації.

В ДСНС України ситуація із забезпеченням і своєчасною заміною спеціального одягу складається на значно нищому рівні. На забезпечення пожежно-рятувальних підрозділів впливає ціла низка факторів, таких як:

- стан економіки в країні;
- керівні документи, що регламентують норми видачі та експлуатації спеціального одягу;
- особливості району обслуговування підрозділів (мегаполіси/сільська місцевість, кількість виїздів та застосування одягу);
- не дотримання виробниками всіх передбачених норма та вимог при виготовленні спеціального одягу пожежних;
- відсутність вимог та обладнання для проведення обробки спеціального одягу пожежних;
- експлуатація спеціального одягу виробників інших країн, переважно вже з вичерпаним терміном експлуатації.

Діючий на даний момент стандарт ДСТУ EN 469:2017 Захисний одяг для пожежників. Вимоги щодо показників якості захисного одягу для пожежників (EN 469:2005; A1:2006; AC:2006, IDT) установлює мінімальний рівень вимог щодо показників якості захисного одягу, призначеного для носіння під час гасіння пожеж та виконання інших видів робіт, пов'язаних з цим, наприклад, рятувальних робіт і надання допомоги під час стихійних лих. Цей стандарт установлює загальні вимоги щодо

будови одягу, мінімальні вимоги щодо використовуваних матеріалів, а також методів випробування, якими потрібно користуватися для визначення показників якості [8].

Також необхідно враховувати, що при встановленні норм експлуатації спеціального одягу в Україні, не було враховано інтенсивність його експлуатації, а відповідно і забруднення тканин небезпечними речовинами, залишками продуктів горіння та вогнегасних речовин, можливістю їх накопичення до концентрацій здатних викликати захворювання різної складності.

В умовах сьогодення роботи пожежних-рятувальників необхідно врахувати і той факт, що їм доводиться виконувати завдання за призначенням в умовах обстрілів або ліквідувати наслідки обстрілів озброєнням різного характеру (ствольна артилерія, ракети, ракетні системи залпового вогню, тощо). За таких умов виникає додаткове навантаження на організм рятувальника через необхідність додаткового захисту і доводиться надягати поверх спеціального одягу бронежилет та додатковий стрес. Також слід відмітити, що роботи проводяться в місцях де на пожежних впливають порохові гази, що можуть викликати гострі отруєння (порохову хворобу), при значних концентраціях. Найбільший негативний вплив в складі порохових газів, мають монооксид та діоксид вуглецю, оксиди азоту. Ураження організму діоксидом вуглецю може спричинити збудження дихального центру, гіперкапнії, наростанням явищ респіраторного ацидозу. У тяжких випадках настає смерть від центрального паралічу дихання [12].

Необхідно відмітити, що з моменту початку повномасштабного нападу країни-агресора, пожежним-рятувальника все частіше доводиться здійснювати гасіння пожеж, виконувати рятувальні та інші невідкладні роботи в умовах дії порохових газів та інших небезпечних речовин після нанесення ракетних ударів чи обстрілів з різного виду озброєння. Більшість обстрілів припадає на об'єкти критичної інфраструктури (об'єкти енергетики, зберігання нафтопродуктів) та цивільні помешкання громадян України. В таких випадках окрім основних небезпечних речовин, що виникають на пожежі, додаються залишки порохових газів, вибухових речовин, ракетного палива, тощо. Всі ці небезпечні речовини накопичуються в тканинах особового складу ДСНС України при виконанні оперативних завдань та несуть ще більшу небезпеку їх життю та здоров'ю.

Окремо слід відзначити, що під час проведення робіт пожежними, після перебування в задимленому середовищі, вони лише знімають засоби захисту органів дихання, не проходять навіть мінімальної обробки (вмивання, полоскання ротової порожнини, обдування повітрям голови та верхньої частини захисного одягу) і продовжують виконувати інші спеціальні роботи на місці події, при цьому можуть пити воду, курити. Це в свою чергу дозволяє ще швидше потрапити небезпечним речовинам та їх сполукам до організму пожежних і відповідно збільшити ймовірність виникнення захворювання.

**Постановка задачі та її розв'язання.** Необхідно розробити комплекс заходів, для зменшення дії небезпечних речовин на організм пожежних та розповсюдження їх по приміщеннях пожежно-рятувального підрозділу під час перебування на місці події і поверненні в підрозділ. Також необхідно переглянути та доопрацювати вимоги до спеціального захисного одягу пожежних, норми видачі, експлуатації та обробки. Провести додаткові дослідження стосовно доступних і безпечних способів та засобів деактивації небезпечних речовин на поверхні спеціального одягу, рукавиць і взутті пожежних. Розробити та встановити в підрозділах ДСНС України пристрої (повітряні шафи), для початкової обробки спеціального одягу. Розробити методи та моделі визначення рівня забруднення спеціального одягу пороховими газами при проведенні невідкладних робіт на територіях (об'єктах), що перебувають під обстрілами

**Виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих результатів.**

Для вирішення поставленої задачі спочатку необхідно розробити ряд обов'язкових до виконання пожежними-рятувальниками правил з дотримання додаткової особистої гігієни на місці події після роботи в задимленому (загазованому) середовищі, а саме:

- після виключення із захисного дихального апарату, здійснювати обдування голови, обличчя та плечей стиснутим повітрям з апарату;
- заборонити тривалий час знаходитися в спеціальному одязі без захисного респіратора (виконання спеціальних робіт, надання допомоги, збирання обладнання, тощо);
- заборонити палити, пити воду та приймати їжу (тільки після миття рук, вмивання, полоскання ротової порожнини та горла);
- під час прямування до місця дислокації, забруднений спеціальний одяг необхідно класти в захисні пилонепроникні чохла та перевозити у відсіках пожежно-рятувального автомобіля, а не в кабіні розрахунку;
- після повернення до пожежного депо, провести поверхневу обробку забрудненого одягу (куртка, штани, рукавиці, підкасник) (в аерокамерах обдути одяг повітрям з надлишковим тиском);
- не допускати зберігання рукавиць поруч із касками, підкасниками чи в карманах спеціального одягу, зберігати окремо;
- після зміни з чергування, до наступної зміни, спеціальний одяг розміщувати за межами основних приміщень пожежного підрозділу у приміщеннях (прибудовах) з штучною або природньою вентиляцією;
- в разі значного забруднення організувати прання спеціального одягу;
- під час проектування та виробництва пожежно-рятувальних автомобілів, передбачити влаштування системи вентиляції та кондиціонування таким чином, щоб обдування відбувалося зверху до низу, а не як у звичайних транспортних засобів знизу.



Рисунок 1. Порядок знімання спеціального одягу після використання його в задимленому середовищі





Рисунок 2. Порядок знімання спеціального одягу після використання його в задимленому середовищі та обдування стиснутим повітрям



Рисунок 3. Порядок перевезення спеціального одягу після його використання в задимленому середовищі

Розробка моделі оцінки забруднення пороховими газами спеціального одягу пожежного може бути складним завданням, що вимагає багато деталей та наукових досліджень. Пропонується виділити основні аспекти, які можна врахувати при розробці такої моделі.

**Визначення порохових газів:** Перш за все, потрібно визначити типи та властивості порохових газів, з якими може зустрічатися пожежний у своїй роботі. Це можуть бути такі гази, як оксид вуглецю (CO), оксид азоту (NO<sub>x</sub>), сірководень (H<sub>2</sub>S), аміак (NH<sub>3</sub>) та інші.

**Вимірювання забруднення:** Для розробки моделі потрібно мати дані про рівні забруднення в повітрі при різних умовах. Це можна зробити шляхом проведення експериментів зі спеціальними засобами вимірювання газів, які фіксують концентрацію речовин в повітрі на різних відстанях та умовах експозиції.

**Фактори впливу:** Важливо врахувати різні фактори, які можуть впливати на забруднення пороховими газами. Наприклад, тип та якість матеріалу одягу, тривалість експозиції, рівень фізичної активності пожежного, температура та вологість навколишнього середовища.

**Оцінка ризику:** На основі зібраних даних можна розробити модель оцінки ризику забруднення пороховими газами для пожежного. Ця модель може враховувати фактори, згадані вище, та встановлювати певні порогові значення концентрації газів, які вважатимуться небезпечними.

**Рекомендації та заходи безпеки:** Модель може також надавати рекомендації щодо заходів безпеки, які пожежний може вжити для зменшення ризику забруднення. Це можуть бути рекомендації щодо використання спеціальних фільтруючих систем, над масок або захисних костюмів, а також обмеження тривалості експозиції та інші заходи.

Важливо зазначити, що розробка такої моделі вимагає спеціалізованих знань, досліджень та експертизи в області пожежної безпеки. Для отримання точних та надійних результатів рекомендується проводити відповідні наукові дослідження та перевіряти модель на практиці.

Пропонується загальний опис процесу розробки моделі оцінки.

**Збір даних:** Перший крок - зібрати відповідні дані про порохові гази, які можуть забруднювати спеціальний одяг пожежного. Ці дані можуть бути засновані на випробуваннях, лабораторних дослідженнях або стандартах безпеки. Важливо мати інформацію про типи газів, їх концентрацію та можливі наслідки забруднення для пожежного.

**Аналіз характеристик одягу:** Другий крок - вивчити характеристики спеціального одягу пожежного, які можуть впливати на його стійкість до порохових газів. Це може включати матеріал, з якого зроблений одяг, конструкцію, особливості захисного шару та будь-які спеціальні покриття, які можуть запобігати проникненню газів.

**Розробка оцінювальної моделі:** Наступний крок - розробити модель, яка враховує зібрані дані про порохові гази та характеристики одягу. Це може бути статистична модель, машинне навчання або комбінація обох. Модель може враховувати такі фактори, як типи газів, їх концентрація, тривалість експозиції та характеристики одягу. Вона може видавати оцінку стійкості одягу до забруднення пороховими газами на основі цих факторів.

**Валідація моделі:** Четвертий крок - перевірити та валідувати розроблену модель. Це може включати порівняння результатів моделі з експериментальними даними або випробуваннями реального спеціального одягу пожежного в контрольованих умовах.



Важливо переконатися, що модель дійсно оцінює ризик забруднення пороховими газами і відповідає реальному світові.

Вдосконалення та оптимізація: Останній крок - вдосконалити модель на основі результатів валідації та забезпечити її оптимальну продуктивність. Це може включати налаштування параметрів моделі, додавання додаткових функцій або врахування нових даних та досліджень.

Оцінка забруднення спеціального одягу пожежного пороховими газами може включати такі критерії:

Візуальна оцінка: Перевірити візуально стан одягу пожежного. Якщо він сильно забруднений або видно наявність нальоту, це може свідчити про забруднення газами.

Запах: Запах порохових газів може бути підказкою наявності забруднення. Пожежник може нюхати одяг і шукати будь-які неприродні або неприємні запахи.

Тест іонів: Використання приладу для вимірювання іонів, такого як іонізаційна камера, може допомогти виявити наявність порошкових газів на одязі пожежного. Цей прилад заряджає іони в повітрі, які прилипають до забруднень і стають видимими.

Хімічний аналіз: Забруднений одяг може бути перевірений спеціалізованими хімічними аналізаторами, які виявлять наявність конкретних газів. Це допоможе встановити, які саме гази присутні на одязі пожежного.

Функціональні тести: Забруднений одяг може піддаватись функціональним тестам, щоб переконатися, що він виконує свої функції належним чином. Наприклад, перевірка герметичності одягу, робота системи вентиляції, адекватна захист від тепла та вогню.

Важливо мати на увазі, що оцінка забруднення спеціального одягу пожежного пороховими газами повинна проводитися кваліфікованим персоналом з дотриманням безпеки та використанням спеціалізованого обладнання, якщо це необхідно.

**Математична модель** для визначення забруднення пороховими шкідливими речовинами газами в спеціальному одязі пожежного може бути складною, оскільки вона повинна враховувати різні фізичні процеси, такі як дифузія газів, хімічні реакції, фільтрацію та інші фактори.

Одним з основних елементів моделі є розподіл речовини в просторі та часі. Для цього можна використовувати рівняння дифузії для газів, яке описує переміщення речовини від області вищої концентрації до області нижчої концентрації. Зазвичай використовують рівняння Фіка або рівняння Нав'є-Стокса для моделювання дифузії газів.

Також слід враховувати хімічні реакції, які можуть відбуватися між газами та матеріалами, з яких виготовлений одяг пожежного. Це може включати абсорбцію, фізичну або хімічну адсорбцію, розпад речовини та інші процеси. Для моделювання таких реакцій можна використовувати рівняння хімічної кінетики або рівняння балансу маси.

Крім того, треба враховувати фільтрацію газів через матеріал спеціального одягу пожежного. Це може включати різні механізми фільтрації, такі як сорбція, дифузія через пори та інші процеси. Можна використовувати моделі фільтрації для опису таких процесів.

Для визначення забруднення пороховими шкідливими речовинами газами спеціального одягу пожежного можна використати математичну модель, яка базується на рівняннях розповсюдження речовин у середовищі та концентрації забруднюючих речовин.

Одне з можливих рівнянь, що описує розповсюдження газу у середовищі, - це рівняння дифузії. Для простоти, будемо вважати, що газ розповсюджується в однорідному середовищі.

Рівняння дифузії має вигляд:

$$\partial C / \partial t = D \nabla^2 C, \quad (1)$$

де  $C$  - концентрація забруднюючої речовини в одиницях об'єму,  $t$  - час,  $D$  - коефіцієнт дифузії,  $\nabla^2$  - оператор Лапласа, що визначає дивергенцію градієнта концентрації.

Це рівняння описує зміну концентрації забруднюючої речовини відносно часу та її розподіл у просторі.

Для вирішення рівняння дифузії потрібно задати початкові та граничні умови. Початкова умова визначає початкову концентрацію речовини, а граничні умови встановлюються для меж спеціального одягу пожежного, де відбувається взаємодія з зовнішнім середовищем.

Крім того, в модель можуть бути включені інші фактори, такі як швидкість руху пожежного, об'єм та вентиляція спеціального одягу, властивості газів, тощо. Ці фактори впливають на значення коефіцієнта дифузії та інші параметри моделі.

Ще один з можливих підходів до моделювання забруднення порохом газом спеціального одягу пожежного може базуватися на масобалансових рівняннях. Для спрощення припустимо, що спеціальний одяг пожежного може бути описаний як однорідний матеріал з площею поверхні  $S$ .

Припустимо також, що газ порохи знаходяться у формі дисперсної фази з розміром часток  $d$  і концентрацією  $C$  (кількість часток на одиницю об'єму).

Одне з можливих спрощень полягає в припущенні, що забруднення пов'язане з адсорбцією газів на поверхні одягу, і різниця концентрацій газу на поверхні та всередині одягу визначається за допомогою закону Фіка:

$$dC/dt = (1/S) * (D * d^2C/dx^2 - V * (C - C_s)) \quad (2)$$

де:

$C$  - концентрація газу всередині одягу;

$C_s$  - концентрація газу на поверхні одягу;

$t$  - час;

$x$  - відстань всередині одягу;

$D$  - коефіцієнт дифузії;

$V$  - швидкість вітру (або швидкість руху пожежного).

Ця модель описує перенесення газів всередині одягу через дифузію та конвекцію. Члени  $d^2C/dx^2$  і  $C - C_s$  відповідають дифузійному процесу, тоді як член  $V * (C - C_s)$  враховує конвекційний потік газу.

Ця модель може бути складнішою і включати додаткові фактори, такі як реакції між газами та матеріалом одягу, додаткові джерела забруднення, а також враховувати градієнт концентрації по висоті та ширині одягу.

Важливо враховувати, що ця модель є загальною концепцією, і конкретні параметри (такі як коефіцієнт дифузії, концентрація газів, геометрія одягу тощо) повинні бути визначені експериментально або за допомогою додаткових математичних моделей, що враховують конкретні умови і параметри системи.

Загалом, моделювання забруднення порохом газом спеціального одягу пожежного є складним процесом, який вимагає детального врахування фізичних властивостей газів, середовища та параметрів самого одягу.

**Висновки.** Подальше дослідження наявності небезпечних речовин, що опинилися на спеціальному одязі пожежних, у місцях його зберігання, в інших приміщеннях пожежно-рятувальних підрозділів та в кабіні оперативного розрахунку, потребує ще більшого і досконалішого вивчення. Окрім цього необхідно розглянути можливість введення обов'язкових до виконання правил гігієни на місці проведення оперативних дій. За результатами даної роботи встановлено наступне:

1. Проведені дослідження дозволяють побачити наскільки небезпечним може бути спеціальних захисний одяг після використання у задимленому середовищі.

2. Запропоновані заходи дозволять зменшити інтенсивність потрапляння шкідливих речовин з поверхні спеціального одягу до салону пожежно-рятувального автомобіля, в приміщення пожежно-рятувального підрозділу та саме головне до організму пожежних-рятувальників.

3. Розробка сучасних і ефективних способів та засобів дезактивації (обробки) спеціального одягу після використання, потребує ще глибшого вивчення й дослідження.

4. Необхідно провести дослідження на наявність небезпечних (шкідливих) речовин в тканинах спеціального одягу пожежних з урахуванням використання їх і в умовах пожежі, і в умовах постійних обстрілів.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Кодекс цивільного захисту України від 02.10.2012 р. № 540.
2. Наказ МНС України від 07.05.2007 р. № 312 «Правила безпеки праці в органах і підрозділах ДСНС України».
3. Статут дій у надзвичайних ситуаціях органів управління та підрозділів Оперативно-рятувальної служби цивільного захисту та Статут дій органів управління та підрозділів Оперативно-рятувальної служби цивільного захисту під час гасіння пожеж. Затверджений наказом МВС України від 26.04.2018 № 340.
4. Krzemińska, SM, Szewczyńska, M. (2022). Небезпека забруднення хімічними речовинами захисного одягу для пожежників – огляд використання та обслуговування. Міжнародний журнал медицини праці та охорони навколишнього середовища, 35 (2), 235-248. <https://doi.org/10.13075/ijomeh.1896.01868>.
5. Янг, А. С., Спарер-Файн, Е. Х., Пікард, Х. М. та ін. Пер- та поліфторалкільні речовини (PFAS) і загальний фтор у пилу пожежних станцій. J Expo Sci Environ Epidemiol 31, 930–942 (2021). <https://doi.org/10.1038/s41370-021-00288-7>.
6. [https://www.bostonglobe.com/globe-today/?p1=BGHeader\\_MainNav](https://www.bostonglobe.com/globe-today/?p1=BGHeader_MainNav) [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: INTERNATIONAL ASSOCIATION OF FIRE FIGHTERS [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.iaff.org/pfas/>.
7. МІЖНАРОДНА АСОЦІАЦІЯ ПОЖЕЖНИКІВ [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.iaff.org/news/taking-action-against-occupational-cancer/>.
8. ДСТУ EN 469:2017 Захисний одяг для пожежників. Вимоги щодо показників якості захисного одягу для пожежників (EN 469:2005; A1:2006; AC:2006, IDT).
9. Wolffe, TAM, Clinton, A., Robinson, A. та ін. Зараження засобів індивідуального захисту та робочих місць пожежників Великобританії. Sci Rep 13, 65 (2023). <https://doi.org/10.1038/s41598-022-25741-x>.
10. Lacey S, Alexander BM, Baxter CS. Plasticizer contamination of firefighter personal protective clothing--a potential factor in increased health risks in firefighters. J Occup Environ Hyg. 2014;11(5):D43-8. doi: 10.1080/15459624.2013.877142. PMID: 24467725.

11. Szmytke E, Brzezińska D, Machnowski W, Kokot S. Firefighters' Clothing Contamination in Fires of Electric Vehicle Batteries and Photovoltaic Modules-Literature Review and Pilot Tests Results. *Int J Environ Res Public Health*. 2022 Sep 29;19(19):12442. doi: 10.3390/ijerph191912442. PMID: 36231742; PMCID: PMC9566750.
12. Ткачишин В.С., Фоменко К.С. Вплив порохових газів на організм людини. Журнал "Медицина невідкладних станів" 6 (77) 2016.
13. МІЖНАРОДНА АСОЦІАЦІЯ ПОЖЕЖНИКІВ [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.iaff.org/pfas/>.

## REFERENCES

1. Civil Protection Code of Ukraine dated October 2, 2012 No. 540.
2. Order of the Ministry of Emergency Situations of Ukraine dated May 7, 2007 No. 312 "Labor safety rules in bodies and units of the State Emergency Service of Ukraine."
3. Statute of actions in emergency situations of management bodies and units of the Operational Rescue Service of Civil Protection and Statute of Actions of management bodies and units of the Operational Rescue Service of Civil Protection during firefighting. Approved by Order No. 340 of the Ministry of Internal Affairs of Ukraine dated April 26, 2018.
4. Krzemińska, SM, Szewczyńska, M. (2022). Hazards of chemical contamination of protective clothing for firefighters - a review of use and maintenance. *International Journal of Occupational and Environmental Medicine*, 35 (2), 235-248. <https://doi.org/10.13075/ijomeh.1896.01868>.
5. Young, A. S., Sparer-Fine, E. H., Pickard, H. M., et al. Per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) and total fluorine in fire station dust. *J Expo Sci Environ Epidemiol* 31, 930–942 (2021). <https://doi.org/10.1038/s41370-021-00288-7>.
6. [https://www.bostonglobe.com/globe-today/?p1=BGHeader\\_MainNav](https://www.bostonglobe.com/globe-today/?p1=BGHeader_MainNav) [Electronic resource] - Resource access mode: INTERNATIONAL ASSOCIATION OF FIRE FIGHTERS [Electronic resource] - Resource access mode: <https://www.iaff.org/pfas/>.
7. INTERNATIONAL ASSOCIATION OF FIREFIGHTERS [Electronic resource] - Resource access mode: <https://www.iaff.org/news/taking-action-against-occupational-cancer/>.
8. DSTU EN 469:2017 Protective clothing for firefighters. Requirements for quality indicators of protective clothing for firefighters (EN 469:2005; A1:2006; AC:2006, IDT).
9. Wolffe, TAM, Clinton, A., Robinson, A. etc. Contamination of personal protective equipment and workplaces of UK firefighters. *Sci Rep* 13, 65 (2023). <https://doi.org/10.1038/s41598-022-25741-x>.
10. Lacey S, Alexander BM, Baxter CS. Plasticizer contamination of firefighter personal protective clothing--a potential factor in increased health risks in firefighters. *J Occup Environ Hyg*. 2014;11(5):D43-8. doi: 10.1080/15459624.2013.877142. PMID: 24467725.
11. Szmytke E, Brzezińska D, Machnowski W, Kokot S. Firefighters' Clothing Contamination in Fires of Electric Vehicle Batteries and Photovoltaic Modules-Literature Review and Pilot Tests Results. *Int J Environ Res Public Health*. 2022 Sep 29;19(19):12442. doi: 10.3390/ijerph191912442. PMID: 36231742; PMCID: PMC9566750.
12. Tkachyshyn V.S., Fomenko K.S. The effect of powder gases on the human body. *Journal "Emergency medicine"* 6 (77) 2016.
13. INTERNATIONAL ASSOCIATION OF FIREFIGHTERS [Electronic resource] - Resource access mode: <https://www.iaff.org/pfas/>.



*Ivan CHORNOMAZ, candidate of technical sciences (ORCID ID: 0000-0001-9742-0201),  
Cherkasy Institute of Fire Safety named after Heroes of Chernobyl  
of the National University of Civil Defense of Ukraine*

## **FUNDAMENTALS OF PROVIDING SAFE WORKING CONDITIONS AND PREVENTION OF OCCUPATIONAL DISEASES FOR PERSONNEL OF THE SNES OF UKRAINE IN A ZONE OF PERMANENT BOMBARDMENT**

Firefighters' protective clothing is designed to protect them from dangerous fire factors, but at the same time, the clothing itself can pose a danger to the health and life of firefighters.

This is due to the fact that during the operation of special clothing, it is able to accumulate dangerous harmful substances on the surface. With long-term use of protective clothing, it can lead to a number of chronic diseases and cancer. Research in this direction was carried out by scientists from Great Britain, the United States of America, Norway, etc.

The purpose of the work was to conduct an analysis of already conducted research related to conventional firefighting, contamination of clothing with powder gases when extinguishing fires that occurred as a result of shelling, and determination of effective methods of decontamination of firefighter's special clothing. Also, the purpose of the work was to draw attention to the need to implement the experience of other countries regarding the decontamination of hazardous substances on the surface of the special clothing of firefighters, review the norms of its operation, implement preventive measures and prevent contamination of fire station premises, introduce additional medical examinations and increase social guarantees and insurance for firefighters.

Known methods of determining the contamination of special clothing, gloves, fire station premises and special clothing storage facilities were analyzed. The studies used the EPA 8270 method, the Statistica 10.0 statistical package using the  $\chi^2$  test.

The work also draws attention to the additional contamination of the special clothing of firemen during the performance of designated actions in places where shelling was carried out and powder gases and other dangerous compounds are formed, which can also be deposited on clothing and lead to serious diseases.

Proposed measures to reduce the impact of hazardous substances on the body of firefighters deposited on special clothing.

**Key words:** research, special clothing of firemen, poisonous substances, occupational diseases of firemen, effect of powder gases, decontamination of firemen's clothing.