

## **ВІГУК**

### **рецензента на дисертаційну роботу**

**Клімова Данііла Геннадійовича на тему «Підвищення ефективності фільтрувальних засобів індивідуального захисту для умов надзвичайних ситуацій», що представлена на здобуття ступеня доктора філософії з галузі знань 26 – цивільна безпека за спеціальністю 263 – цивільна безпека**

Відгук складено на основі вивчення дисертації, опублікованих здобувачем наукових праць, а також документів, що свідчать про реалізацію та впровадження результатів наукових досліджень.

### **1.Актуальність обраної теми досліджень**

З кожним роком зростають вимоги до засобів ідивідуальног захисту органів дихання (ЗІЗОД) користувачів на різного роду підприємствах, в організаціях, закладах або в місцях перебування значної кількості людей, особливо у надзвичайних ситуаціях, часто пов'язаних з пожежами, що обумовлює необхідність посилення контролю за захисними властивостями таких засобів під час їх використання. Значною мірою це стосується сучасних фільтрувальних респіраторів з примусовою подачею повітря. Складна конструкція таких респіраторів потребує постійного моніторингу за роботою нагнітаючого вентилятора, через значний та мінливих опір потоку повітря, що суттєво впливає на ефективність фільтрації. Тому вважаю обрану здобувачем тему дисертаційної роботи цілком актуальною.

### **2.Зв'язок дисертаційної роботи з науковими програмами, планами і темами**

До дисертаційної роботи увійшли результати досліджень, що виконані згідно з тематичними планами науково-дослідних робіт НТУ «Дніпровська політехніка» та Фізико-хімічного інституту захисту навколишнього середовища і людини за темами: «Ресурсозберігаюча геотехнологічна і гідродинамічна параметризація видобутку малопотужних запасів мінеральної сировини у техногенно навантаженому середовищі» (№ ДР 0117U006753, 2017 р.); «Розробка універсальних засобів індивідуального захисту пролонгованої дії подвійного призначення» (№ ДР 0117U000376, 2017-2018 рр.) у яких автор брав участь як виконавець.

### **3. Ступень обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації, їх достовірність та наукова новизна**

Вважаю, що наукові положення, які виносяться на захист здобувачем, повною мірою відображають отримані наукові результати, мають достатню обґрунтованість, котру забезпечено коректністю постановки і вирішення задач та використанням достовірних даних, що отримані за результатами теоретичних і експериментальних досліджень; використанням сучасного, апробованого математичного апарату; обґрунтованим коректним вибором

використаних загальних показників і критеріїв математичних моделей; допустимою розбіжністю результатів теоретичних і експериментальних досліджень, обумовленої певною невизначеністю вимірювань, яка не перевищує 15 %; результатами дослідно-конструктивних розробок півмасок та фільтрувальних коробок до них; досвідом практичної реалізації пропозицій щодо удосконалення конструкцій півмасок; результатами експериментальних випробувань модернізованих та нових респіраторів, що пропонуються; наявністю зрозумілого фізичного трактування отриманих наукових і практичних результатів досліджень та їх впровадженням.

**Наукові положення і результати, що виносяться на захист,** сформульовані автором (з незначними правленнями мною під час рецензування) виглядають наступним чином.

**удосконалено:**

- методичні підходи до розробки моторованих респіраторів на основі моделювання руху повітря через блок очищення, що дозволяє виявляти і контролювати заданий об'єм повітряного потоку, який потрапляє у підмасковий простір до органів дихання користувача, на основі лінійної залежності від частоти обертання крильчатки вентилятора, яка забезпечується у діапазоні тисків від 1 до 7-7,5 мбар (гПа);

- науково-методичний інструментарій для розробки конструктивних параметрів фільтруючої коробки з гранульованим активованим вугіллям, на основі забезпечення рівномірного розподілу маси сорбенту з урахуванням вологості повітря і швидкості фільтрування;

- імітаційну модель для розрахунку терміну захисної дії протигазових фільтрів від аміаку та уникнення, як отруєнь працівників через потраплення шкідливих аерозолів у підмасковий простір маски, так і збільшення опору диханню через накопичення зайвої вологи у фільтрі, з урахуванням концентрації шкідливої речовини й температури навколишнього середовища.

**набув подальшого розвитку:**

- підхід до розробки та проектування нових конструкцій фільтрувальних моторованих респіраторів на основі обґрунтування вибору їх складових частин: маски, яка забезпечує відповідну щільність прилягання до обличчя користувача та характеризується відповідним рівнем безпечності і комфорту; вентилятора для забезпечення подачі необхідної кількості повітря у підмасковий простір з урахуванням опору фільтрів та ємності електричного акумулятора живлення для підтримки працездатності системи заданий термін експлуатації.

**Наукова новизна отриманих результатів:**

Новизна наукової роботи полягає у забезпеченні захисту органів дихання працівників при евакуації із небезпечних зон при виникненні надзвичайних ситуацій, пов'язаних з викидом значної кількості аміаку, шляхом удосконаленого методичного підходу до розробки та проектування нової конструкції та складових частин моторованого фільтрувального респіратора, а саме: маски, яка забезпечує задану щільність прилягання до обличчя користувача та характеризується відповідним рівнем безпечності і комфорту; вентилятора для забезпечення подачі необхідної кількості повітря у

підмасковий простір, з урахуванням опору фільтрів та ємності акумулятора живлення для підтримки працездатності системи у заданий термін експлуатації, основною відмінністю якого від відомих конструкцій є введення включеного між блоком управління та, через стабілізатор напруги, блоком живлення, блоку контролю параметрів повітряного потоку і багатофункціональної системи датчиків, встановлених в корпусі респіратора, з можливістю регулювання основних параметрів повітряного потоку в підмасковому просторі, а також отримані результати, що відрізняються від відомих, сутність яких наведена нижче.

1. Визначено, що до основних недоліків моторованих фільтрувальних засобів індивідуального захисту органів дихання відносять: низьку ефективність вентилятора через значний опір потоку повітря, який виникає у повітропроводі через незначні розміри повітряних каналів; неефективну роботу системи управління, яка у випадках різкого підвищення витрати повітря (більше 300 л/хв.) при виконанні важкої роботи, вмикає вентилятор із запізненням; низьку всмоктувальну спроможність відцентрованого вентилятора, що не дозволяє його використання в атмосфері забрудненій декількома різними шкідливими речовинами, зокрема пил.

2. Доведено, що досягнення заданих показників коефіцієнта захисту фільтрувальних ЗІЗОД (респіраторів) забезпечується за рахунок додавання до відомого алгоритму з їх проектування двох кроків, які дозволять проводити контроль захисних властивостей макетів респіраторів на етапі їх розробки з подальшим виконанням коригувальних дій при їх відхиленні від запланованих технічним завданням показників.

3. Встановлено, що коефіцієнт ізолювання масок покращується за рахунок збільшення притискних зусиль обтюратора маски до обличчя користувача, що досягається не тільки за рахунок рівномірного розподілу притискних зусиль та підвищення еластичності матеріалу обтюратора, а й додаванням спеціальної роздільної смуги на обтюраторі, яка враховуватиме особливості антропометричної будови обличчя.

4. Встановлено, що у відповідному програмному середовищі, найбільший вплив на кількість уловлювання небезпечних аерозолів залежить від швидкості фільтрування та нерівномірності завантаження адсорберу за площею фільтра через різницю у вхідному і вихідному отворах, що пропонується зменшити шляхом застосування різних конструкцій решіток, які розміщуються відразу після вхідного отвору.

5. Розроблена оригінальна конструкція фільтрувального респіратора з примусовою подачею повітря, в якому введений новий елемент - блок контролю параметрів повітряного потоку (об'єм, швидкість, температура, вологість), який надходить у підмасковий простір для забезпечення необхідного об'єму повітря у підмасковий простір фільтрувального респіратора за рахунок управління кількістю обертів вентилятора у заданому діапазоні, з урахуванням частоти та глибини дихання користувача в залежності від фізичного навантаження.

6. Обґрунтовано процедуру вибору складових частин респіратора: маски, яка забезпечує відповідну щільність прилягання до обличчя користувача

та характеризується відповідним рівнем безпечності і комфорту; вентилятора для забезпечення подачі необхідної кількості повітря у підмасковий простір, з урахуванням опору фільтрів та ємності акумулятору, для підтримки працездатності системи на протязі заданого терміну у відповідності до четвертого кроку алгоритму розробки засобів індивідуального захисту органів дихання - контролю захисних властивостей елементів конструкції респіратора на етапі розробки макету.

7. У результаті моделювання руху повітря через блок очищення респіратора встановлено, що об'ємом повітряного потоку, який потрапляє у підмасковий простір до органів дихання користувача лінійно залежність від частоти обертання крильчатки вентилятора, однак при досягненні опору повітряному потоку через фільтри більше 7-7,5 мбар (гПа) залежність стає нелінійною, що пов'язано зі зміною характеру фізичного навантаження.

8. Визначено, що витрата повітря підтримується для чистих фільтрів на рівні 165 і 215 дм<sup>3</sup>/хв. для режимів роботи «Норма» і «Турбо» відповідно, та для забруднених – 131 і 185 дм<sup>3</sup>/хв. Встановлено, що надлишковий тиск в підмасковому просторі не перевищує 2,5 мбар (гПа), що цілком відповідає вимогам ДСТУ EN 12941:2004.

9. Показано, що збільшення площі фільтра, при однакових розмірах вихідного отвору фільтрувальної коробки з клапаном видиху призводить до нерівномірного розподілу швидкості фільтрації і відпрацювання ділянок фільтра. Найбільше навантаження по сорбції шкідливих газів припадає на ділянку фільтра, розміщену навпроти вихідного отвору. Чим більше діаметр фільтра зіставний з діаметром вихідного отвору, тим більше час захисної дії при одній і тій же товщині сорбенту. За умови рівномірної швидкості фільтрації визначити час захисної дії фільтра з гранулами активованого вугілля запропоновано виконувати за отриманим за участю автора рівнянням, що дозволяє проектувати респіратори, які відповідають конкретним вимогам.

**Вважаю**, що робота суттєво удосконалює та оновлює відомі методики досліджень і випробувань ЗІЗОД, а також пропонує оригінальні способи створення вискоелективних протигазових моторованих ЗІЗОД, про що свідчать наведені вище результати з 9 позицій, публікації автора та патенти.

#### **4. Оцінка змісту роботи та повнота викладення положень, висновків та рекомендацій в опублікованих працях**

Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел (146) на 151 сторінці. Загальний обсяг дисертації – 178 сторінок, у тому числі 53 рисунки та 35 таблиць.

**Вважаю**, що характер змісту дисертаційної роботи відповідає обраній темі і назві. Текст дисертації викладено логічно, грамотною технічною мовою. Робота супроводжується достатньою кількістю пояснювальних рисунків та таблиць, додатками, що вказує на її цілісність та завершеність.

**Розділ 1** присвячений аналіз стану досліджуваного проблемного питання. Виконано аналіз літературних джерел щодо кількості потенційно небезпечних об'єктів в Україні, небезпечних факторів для здоров'я людини при настанні надзвичайних ситуацій, наведені дані щодо джерел ураження цивільного

населення та відомих засобів індивідуального захисту їх розробки, освоєння виробництва, впровадження та особливості експлуатації фільтрувальних респіраторів, які використовуються при евакуації людей із зон надзвичайних ситуацій. Показано основні недоліки існуючих моторованих фільтрувальних ЗІЗОД, що не дозволяє їх використання в атмосфері, забрудненій різними шкідливими речовинами, включаючи, зокрема, пил.

За результатами виконаного аналізу значної кількості інформаційних джерел (наведено 49 посилань) та виявлених недоліків моторованих ЗІЗОД зроблено відповідні висновки та сформульовано задачі подальшого дослідження за обраною темою дисертації.

**Розділ 2** присвячено удосконаленню теоретичних засад розробки та проектування фільтрувальних ЗІЗОД, в тому числі протигазових. Так, досягнення заданих показників коефіцієнта захисту фільтрувальних респіраторів забезпечується за рахунок додавання до відомого алгоритму з їх проектування двох кроків, які дозволять проводити контроль захисних властивостей макетів на етапі їх розробки з подальшим виконанням коригувальних дій при їх відхиленні від запланованих показників технічним завданням. Встановлено, що коефіцієнт ізолювання масок покращується за рахунок збільшення притискних зусиль обтюратора маски до обличчя користувача, що досягається додаванням спеціальної роздільної смуги на обтюраторі, яка враховує особливості антропометричної будови обличчя. Це в свою чергу дозволяє обґрунтувати відповідний термін захисної дії протигазових і протипилових фільтрів та уникнути, як отруєнь користувачів через потрапляння шкідливих аерозолів у підмасковий простір, так і надмірного фізичного виснаження через зростання перепаду тиску понад нормовані об'єми речовини за рахунок оснащення фільтрів індикаторами забруднення повітря та перепаду тиску. Для підвищення надійності захисту фільтрувальні респіратори оснащені засобами оперативного контролю опору диханню, наголів'ям для контролю виникнення зазорів за смугою обтюрації під час та засобами встановлення реального терміну захисної дії фільтрів.

В результаті імітаційного моделювання впливу вологості повітря на термін захисної дії протигазових фільтрів встановлено, що найбільший вплив на кількість уловлювання небезпечних аерозолів здійснює швидкість фільтрування та нерівномірність завантаження адсорберу за площею фільтра через різницю у вхідному і вихідному отворах, яку пропонується зменшити завдяки застосуванню різного виду конструкцій решіток, які розміщуються відразу після вхідного отвору.

Подано 35 посилань на літературні джерела.

**Розділ 3** присвячений розробці інноваційної конструкції респіратора з примусовою подачею повітря. На основі запропонованих теоретичних засад проектування респіраторів розроблена нова конструкція фільтрувального респіратора з примусовою подачею повітря, в якому введений новий елемент - блок контролю параметрів повітряного потоку (об'єм, швидкість, температура, вологість), який надходить у підмасковий простір респіратора для забезпечення необхідного об'єму повітря за рахунок управління кількістю обертів

вентилятора у заданому діапазоні з урахуванням частоти та глибини дихання користувача в залежності від фізичного навантаження.

Основою розробки конструкції моторованого респіратора стало обґрунтування вибору його складових частин: маски, яка забезпечує відповідну щільність прилягання до обличчя користувача та характеризується відповідним рівнем безпечності і комфорту; вентилятора для забезпечення подачі необхідної кількості повітря у підмасковий простір з урахуванням опору фільтрів та ємності акумулятора живлення для підтримки працездатності системи заданий термін у відповідності до четвертого кроку алгоритму розробки ЗІЗОД - контролю захисних властивостей елементів конструкції респіратора на етапі розробки макету. У результаті ж моделювання руху повітря через блок очищення респіратора встановлено, що об'ємом повітряного потоку, який потрапляє у підмасковий простір до органів дихання користувача лінійно залежність від частоти обертання крильчатки вентилятора, але при досягненні опору повітряному потоку через фільтри більше 7-7,5 мбар (гПа) залежність стає нелінійною, що пов'язано зі зміною характеру фізичного навантаження.

Зроблено висновки та подано 43 посилання на літературні джерела.

**Розділ 4** містить результати лабораторних досліджень експлуатаційних властивостей респіратора з примусовою подачею повітря. Під час випробувань з визначення захисної ефективності фільтрувальних респіраторів з примусовою подачею повітря на випробувачах встановлено, що осереднений результат коефіцієнта захисту зразків коливався в межах від 99,93 до 99,97, що відповідає вимогам діючого стандарту. Визначено, що витрата повітря підтримується для чистих фільтрів на рівні 165 і 215 дм<sup>3</sup>/хв. для режимів роботи «Норма» і «Турбо», відповідно, та для забруднених – 131 і 185 дм<sup>3</sup>/хв. Встановлено, що надлишковий тиск в підмасковому просторі не перевищує 2,5 мбар, що відповідає вимогам ДСТУ EN 12941:2004. Визначено, що стабільність технічних показників респіратора підтримується в заданому діапазоні при заряді акумуляторної батареї марки «Dinogy Li-Pol 11000mAh 14.8V 4S 25C» не нижче 12 В для забезпечення величини струму не нижче 1,6 А.

Досліджено також вплив конструктивних параметрів фільтруючого коробки на опір диханню і час захисної дії протигазового фільтра заповненого гранульованим активованим вугіллям, котре дозволило встановити той факт, що при постійній масі сорбенту збільшення площі фільтра істотно знижує опір диханню, проте зменшення товщини сорбенту призводить до зниження часу захисної дії фільтра. Показано, що збільшення площі фільтра, при однакових розмірах вихідного отвору фільтрувальної коробки з клапаном видиху призводить до нерівномірного розподілу швидкості фільтрації та відпрацювання ділянок фільтра. Найбільше навантаження по сорбції шкідливих газів припадає на ділянку фільтра, розміщену навпроти вихідного отвору коробки. За умови рівномірної швидкості фільтрації визначити час захисної дії фільтра з гранулами активованого вугілля запропоновано за отриманим автором рівнянням, що дозволяє проектувати респіратори, які відповідають заданим вимогам.

У загальних висновках дисертації наведені основні отримані автором наукові і практичні результати з 9 позицій.

За результатами досліджень автором опубліковано 14 робіт з них: 1 у міжнародному журналі з високим індексом цитування, 1 – у міжнародному журналі та 4 у фахових журналах, 2 – деклараційних патенти України, 4 у тезах наукових конференцій і 2 у інших виданнях. Основні положення та результати дисертації в достатній мірі апробовані на наукових семінарах і конференціях.

## **5. Значення роботи для науки, практики та суспільства**

**1. Наукове значення** результатів дисертаційної роботи полягає у вдосконаленні теоретичних та методичних підходів до розробки інноваційних моторованих респіраторів на основі моделювання руху повітря, який потрапляє у підмасковий простір до органів дихання користувача через блок очищення, моделі у вигляді рівняння для визначення терміну захисної дії протигазових фільтрів з урахуванням впливу вологості повітря, залежно від його витрати, а також удосконалення супутнього методичного забезпечення оцінки якості фільтрувальних газових респіраторів, включаючи ті, що адсорбують аміак.

**Практичне значення одержаних результатів** полягає в тому, що удосконалені теоретичні й методичні положення дисертації дозволили розробити інноваційну конструкцію фільтрувального респіратора з примусовою подачею повітря, оснащеною засобами контролю параметрів повітряного потоку з багатофункціональною системою датчиків, що забезпечують автоматичне регулювання основних параметрів повітряного потоку в підмасковому просторі; удосконалено алгоритм проектування ЗІЗОД, за рахунок додавання додаткового кроку контролю захисних властивостей елементів конструкції респіратора на етапі розробки макету; відпрацьовано режими роботи моторованого респіратора, які дозволяють контролювати об'єм і якість очищеного повітря, що вдихається, з урахуванням частоти і глибини дихання користувача при виконанні фізичного навантаження, а також визначені захисні властивості фільтрувальних елементів респіратора.

## **6. Відсутність (наявність) порушення академічної доброчесності**

За результатами аналізу використаних джерел та посилань на них у тексті дисертації, порушень академічної доброчесності та її принципів не виявлено. Результати роботи мають достатній рівень новизни та є оригінальними.

## **7. Дискусійні положення**

1. У розділі 2 автор удосконалює методичні підходи до розробки моторованих респіраторів на основі моделювання примусового руху повітря крізь нього. Між тим, органи дихання людини теж утворюють рух повітря, зіставний за інтенсивністю з рухом, що утворює вентилятор. Але дихальний рух має циклічний характер, який накладатиметься на моторований. Отже, для забезпечення автоматичного регулювання указанного руху повітря в зазначеному респіраторі потрібна відповідна математична модель.

2. Перепади тиску у запропонованому респіраторі під час процесу дихання призведуть до локальних змін швидкості, а значить і температури повітря, яка змінюватиме випар вологи, що циклічно змінить баланс молекул води і адсорбенту в очищувачі. Отже не ясно, як це вплине на очистку повітря.

3. Застосування в розробленому респіраторі локальної автоматичної системи контролю якості очищення вдихуваного повітря та керування його динамічними параметрами (об'ємом, швидкістю, температурою, вологістю) з сигналізацією виходу за нормативні рівні, на мій погляд, потребує оцінки комплексної безпекової ефективності або економічної доцільності впровадження такої системи, яка потребує кваліфікованого регулярного технічного обслуговування з зарядженням чи заміною акумуляторів живлення, що в сукупності представляється витратним, зокрема для використання лише під час надзвичайних ситуацій, які не є дуже частими та прогнозованими.

4. Як зауваження варто також зазначити, що в роботі зустрічаються терміни «сорбент», «адсорбент» і «адсорбуюча речовина» без пояснення різниці, а також значення тиску у «мілібарах, мбар», які треба змінити на «гектопаскалі, гПа», що передбачені в системі СИ.

### **8. Загальний висновок щодо дисертаційної роботи**

Дисертаційна робота написана грамотною технічною мовою та логічно побудована. Отримані в ході досліджень наукові результати мають достатній рівень новизни та є оригінальними.

Наведені дискусійні положення не носять принципового характеру та не впливають на позитивну оцінку дисертації, яка в цілому представляє самостійне, завершене наукове дослідження, а її основні положення і результати є науково обґрунтованими, достовірними й корисними, як у науковому, так і в практичному аспектах.

Вважаю, що дисертаційна робота **Клімова Данііла Геннадійовича** на тему «Підвищення ефективності фільтрувальних засобів індивідуального захисту для умов надзвичайних ситуацій», задовольняє вимогам, що передбачені наказом Міністерства освіти та науки від 12.07.2017 р. № 40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертації» та постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44 «Про затвердження порядку присудження ступеня доктора філософії...» (пункти 5, 6, 8).

За вирішення актуальної науково-прикладної задачі забезпечення захисту органів дихання працівників при евакуації із небезпечних зон при виникненні надзвичайних ситуацій, пов'язаних з викидом значної кількості забруднювачів, шляхом удосконаленого методичного підходу до розробки та проектування нової конструкції та складових частин моторованого фільтрувального респіратора, **Клімов Д. Г.** заслуговує присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 263 – цивільна безпека, галузь знань 26 – цивільна безпека.

Доктор технічних наук за спеціальністю  
05.26.01 – охорона праці, професор,  
професор кафедри екології та технологій  
захисту навколишнього середовища  
НТУ «Дніпровська політехніка»

В.Є. Колесник