

ВІДГУК ОФІЦІЙНОГО ОПОНЕНТА

доктора технічних наук, професора,
завідувача кафедри комп'ютеризованих систем
та програмних технологій

ПОЛОЖАЄНКА Сергія Анатолійовича

на дисертаційну роботу

СЛАВІНСЬКОГО Дмитра В'ячеславовича на тему:

**«АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ КЕРУВАННЯ МОТОРИЗОВАНИМ
РЕСПІРАТОРОМ НА ОСНОВІ РЕГУЛЮВАННЯ ЦИКЛІЧНИХ ПОТОКІВ»**

представлену на здобуття наукового ступеня

кандидата технічних наук за спеціальністю

05.13.07 – автоматизація процесів керування

Актуальність теми дисертаційної роботи

У низці галузей промисловості України присутня значна кількість технологічних процесів, виконання яких відбувається в умовах підвищеної концентрації пилу в повітрі робочої зони. Інтенсивне щоденне фізичне навантаження в подібних умовах викликає збільшення частоти та глибини дихання працівників та значно підвищує ризик професійних захворювань органів дихання. Стандартні засоби індивідуального захисту органів дихання (ЗІЗОД) мають одну неприємну ваду – опір фільтрувального матеріалу під час дихання може зростати та викликати втому. Для подолання цієї вади застосовуються моторизовані респіратори, в яких використано принцип примусової подачі повітря. Це дозволяє зменшити опір диханню та зменшити ймовірність потрапляння забрудненого повітря під маску, завдяки постійному надмірному тиску повітря. Однак, повна відсутність або недостатня функціональність наявних систем керування параметрами повітряного потоку в моторизованих респіраторах не дозволяють ефективно використовувати можливості цих пристроїв.

У дисертаційній роботі автор вирішив актуальну науково-технічну задачу, пов'язану з розробкою системи керування тиском повітря в масці моторизованого респіратора, що враховує зміну режиму дихання користувача респіратора при зміні фізичного навантаження. Вирішення цієї задачі дозволило покращити ефективність захисту працюючих від потрапляння пилу до органів дихання та зменшує ризик професійних захворювань.

Тема дисертації повністю відповідає її змісту.

За своїм спрямуванням та фактичним змістом, представлена дисертаційна робота є **актуальною** і **відповідає** паспорту спеціальності 05.13.07 – автоматизація процесів керування.

Отримано 05.06.2024

Вчений секретар

сфери 209.052.03



Тиханський М.П.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами

Роботу виконано відповідно до енергетичної стратегії України на період до 2035 року «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність», затвердженої розпорядженням Кабінету міністрів України від 18 серпня 2017 року № 605-р.

Дисертація виконувалась в рамках науково-дослідної роботи у Національному технічному університеті «Дніпровська політехніка» за темою: «Інтелектуальні технології керування процесами гірничого виробництва в задачах енергозбереження та енергоефективності» (держ. реєст. №0113U000402), в якій автор брав участь в якості співвиконавця. Результати досліджень по цій темі, отримані автором особисто, представлені в розглянутій роботі.

Структура та стислий зміст роботи

Представлену дисертацію викладено на 204 сторінках загального тексту зі вступом, чотирма розділами, висновками, списком використаних джерел, що містить 132 найменування, та додатками.

У вступі автором обґрунтовано актуальність теми дисертації; сформульовано мету та задачі дослідження, представлено зв'язок з науковими програмами, планами, темами; визначено об'єкт, предмет та методи дослідження; висвітлено основні результати, що містять наукову новизну та практичну значимість; наведено відомості про публікації, дані щодо особистого внеску здобувача в наукових працях, опублікованих у співавторстві.

Слід зазначити, що при формулюванні актуальності бажано було б ще навести відповідні числові показники відповідно до сфери використання обраного об'єкта дослідження (наприклад, коефіцієнти захисту використовуваних ЗІЗОД).

У першому розділі розглянуто стан питання професійних захворювань органів дихання людини та їх захисту від потрапляння забрудненого повітря. Показано, що застосування моторизованих респіраторів дозволяє виключити один з основних недоліків фільтрувальних засобів захисту – значний опір диханню при експлуатації. Описано конструкція та принцип функціонування моторизованого респіратора, як об'єкту автоматизації.

Зважаючи на подібність процесу транспортування повітря в моторизованому респіраторі до об'єктів з інших галузей промисловості, автором було проаналізовано методи математичного опису процесів транспортування газоподібних речовин. Зауважено на можливість представлення дихання людини у вигляді гармонічного сигналу.

Автор також вказав на наявність недоліків існуючих систем керування параметрами повітряного потоку в моторизованих респіраторах.

На основі виконаного аналізу сформульовано мету і задачі дослідження.

Разом із цим слід зазначити, що в розділі іноді зустрічається загальновідома та необов'язкова інформація стосовно головних понять з математичного моделювання процесів транспортування газоподібних речовин.

Другий розділ дисертаційної роботи присвячено розробці математичної моделі процесів, що мають місце в моторизованому респіраторі.

Для підтвердження адекватності отриманої математичної моделі автором було створено фізичну модель моторизованого респіатора, виконано експериментальні дослідження на реальному об'єкті та проведено ідентифікацію цієї фізичної моделі. Відповідність результатів моделювання аналітичної моделі респіатора та його фізичної моделі становить 81,6%.

Автором також було отримано дані про дихання людини в респіраторі та розраховані параметри гармонічного сигналу для математичної моделі дихання користувача.

Підсумовуючи все вищезазначене, слід звернути увагу на те, що у тексті розділу дещо забагато розрахунків статистичних показників для експериментальних даних. Окремі висновки до розділу сформульовано у вигляді простих анотацій.

У третьому розділі виконано розробку системи керування тиском повітря в масці моторизованого респіатора.

Визначено критерії якості, що висуваються до системи. Автором налаштовано і порівняно роботу декількох типів регуляторів та вибрано для системи керування тиском повітря ПІ-регулятор.

Використовуючи алгебраїчний критерій Гурвіца здобувач показав, що система керування стійка, а за критерієм Найквіста встановив, що система має запас по фазі 38,1 град.

Особливу цікавість викликають дослідження автора, щодо впливу значення уставки на коливання тиску при різних режимах дихання. Було встановлено залежності відхилення тиску від уставки при зміні значення самої уставки на різних режимах дихання користувача та розроблено відповідний алгоритм корегування уставки. Також, для наближення досліджень імітаційної моделі до реальних умов функціонування моторизованого респіатора, автором було додано блок формування додаткового опору на фільтрах, за рахунок накопичення шару пилового осаду.

Загалом зроблені автором висновки до розділу достатньо повно відбивають отримані результати.

У четвертому розділі представлено розробку діючого зразка моторизованого респіатора.

Автором представлено структурну та принципову схеми, опис комплексу сучасних технічних засобів для реалізації системи контролю та керування

роботою моторизованого респіратора. Представлено схеми алгоритмів роботи системи контролю та керування моторизованого респіратора.

Проведено експериментальні дослідження діючого зразка моторизованого респіратора. Отримані результати показали цілком задовільне функціонування системи керування тиском повітря з урахуванням корекції уставки.

Також, на підставі розрахунку оцінки економічної доцільності розробки, автор показав можливість зменшення суспільного збитку через зменшення соціальних виплат в разі запобігання виникненню професійних захворювань.

У загальних **висновках** наведено наукові та практичні результати, отримані дисертантом. Додатки містять матеріали, що розкривають та доповнюють основний зміст розділів, а також копії актів впровадження.

Загалом дисертацію можна вважати закінченою науковою працею, яка повністю розкриває основні наукові положення та практичні результати, що отримані автором.

Наукова новизна основних висновків і результатів дисертації

Основними значущими і новими результатами в дисертаційній роботі є такі досягнення:

Наукові положення.

1. Врахування при розробці системи керування прямопропорційної залежності значення відхилення тиску повітря у масці моторизованого респіратора від уставки та амплітуди дихання працівника, забезпечує підвищення коефіцієнта захисту респіратора та дозволяє зменшити зусилля, які необхідні для дихання.

2. Визначення часу захисної дії моторизованого респіратора забезпечується шляхом врахування при розробці системи керування залежностей величини та швидкості зростання додаткового опору шару пилу на фільтрувальній поверхні, що прямо пропорційні витраті повітря до маски.

Наукові результати:

1. Вперше отримано імітаційну модель динаміки тиску повітря в масці моторизованого респіратора, що дало можливість розробити систему керування тиском повітря, в якій враховано вплив циклічних потоків від дихання людини при змінному фізичному навантаженні.

Імітаційну модель було отримано на основі математичної моделі зміни тиску повітря у масці респіратора від швидкості обертання крилатки вентилятора, у вигляді передаточної функції 3-го порядку.

2. Вперше запропоновано метод регулювання тиску повітря в масці моторизованого респіратора шляхом керування швидкістю обертання ротора

електродвигуна вентилятора для збільшення ступеня компенсації коливань тиску від дихання при інтенсифікації фізичного навантаження.

Основою метода стало визначення необхідної уставки для системи керування тиском повітря в залежності від поточного значення відхилення тиску повітря в масці респіратора від уставки.

3. Удосконалено імітаційну модель системи керування тиском повітря в масці моторизованого респіратора шляхом впровадження програмного модуля формування додаткового опору на фільтрувальній поверхні, який впливає на час захисної дії, що дозволило скорегувати метод визначення уставки тиску повітря відповідно до реальних умов експлуатації респіратора.

Відмінність полягає у тому, що у модулі визначення уставки тиску було зменшено часовий проміжок очікування змін значення відхилень від уставки, для зменшення значення самої уставки.

4. Набув подальшого розвитку метод еквівалентного заміщення «опір/ємність» для систем транспортування газоподібних речовин, що дозволило отримати математичну модель зміни тиску повітря в масці моторизованого респіратора, в залежності від швидкості обертання крилатки на роторі електродвигуна вентилятора, із врахуванням зміни опору повітряному потоку.

Відмінність полягає у тому, що у розрахунках враховується залежність, яка описує закономірність збільшення опору потоку повітря, що проходить крізь фільтрувальні елементи, трубу та клапани вдиху/видиху в залежності від витрати повітря, що обумовлено швидкістю обертання крилатки вентилятора.

Обґрунтованість та достовірність наукових положень і результатів дисертації

Дослідження, які проведено в межах дисертаційної роботи, мають належний ступінь обґрунтованості. Підстави і положення, на яких ґрунтується побудова запропонованих методів, є достатньо зваженими та коректними.

Для вирішення поставленої задачі використовувалися методи математичної статистики при аналізі даних експериментальних досліджень та впливу режимів дихання на роботу моторизованого респіратора, методу теорії транспортування газоподібних речовин при аналітичному описі руху повітряного потоку в моторизованому респіраторі, планування експерименту для визначення параметрів фізичної моделі моторизованого респіратора, метод найменших квадратів для отримання коефіцієнтів апроксимованих функцій, методи теорії автоматичного керування для розробки та моделювання системи керування тиском повітря в масці моторизованого респіратора.

В рамках лабораторних досліджень у ТОВ НВП «Стандарт» (м. Дніпро), на базі випробувальної лабораторії технічної експертизи засобів колективного та

індивідуального захисту органів дихання працюючих, за участі випробувачів було визначено захисну ефективність фільтрувальних респіраторів з примусовою подачею повітря та встановлено, що осереднений результат коефіцієнта захисту зразків, на яких виконувались випробування, коливався в межах 99,93÷99,97%.

Практичне значення одержаних результатів дисертаційної роботи

Практичне значення одержаних результатів полягає в тому, що здобувачем отримано математичну модель зміни тиску повітря в масці моторизованого респіратора, яка надає можливість налаштування параметрів для різних конструкцій моторизованих респіраторів. Запропоновано метод керування тиском повітря у масці моторизованого респіратора з урахуванням залежності циклічності повітряних потоків від дихання та змін інтенсивності фізичного навантаження працівника з розробкою відповідного програмного забезпечення функціонування системи керування як окремо, так і у складі системи керування роботою моторизованого респіратора.

Для практичного використання науково-виробничому підприємству «Стандарт» (м. Дніпро) передано науково-технічні рішення та експериментальні дані, статистичні дані коливань тиску повітря від дихання користувача при виконанні робіт різної категорії важкості; результати імітаційного моделювання роботи моторизованого респіратора в умовах зміни опору фільтрувальних елементів від накопичення шару пилу на їх поверхні; структурну, принципову схеми та схему алгоритму роботи системи контролю і керування моторизованим респіратором.

Практичне використання результатів підтверджується актом впровадження.

Повнота викладення наукових положень, висновків і рекомендацій в опублікованих працях та їх апробація.

Ознайомлення з дисертацією та авторефератом дає змогу зробити висновок про необхідну повноту опублікування наукових результатів досліджень. Основні результати дисертації викладено в 16 працях, а саме: у 7 статтях у наукових фахових виданнях України, з яких 4 — у виданнях, включених до міжнародних наукометричних баз **Web of Science** та **Scopus**; 6 публікаціях у збірниках наукових праць і матеріалах конференцій, 3 патентах України на корисну модель. Публікації дають повне уявлення про зміст та суть досліджень, їхню новизну та практичну цінність, що вказує на достатньо повну апробацію дисертаційної роботи.

Оцінка змісту дисертації, її завершеності та оформлення

Матеріали дисертації викладено послідовно, на високому професійному рівні. Основні результати і положення є змістовними і вносять вагомий вклад у галузь автоматизації процесів керування.

Рукопис дисертації та автореферат оформлено згідно до діючих вимог.

Автореферат дисертації достатньо повно розкриває суть дисертації, її наукові положення, результати та висновки. Висновки підтверджують, що робота має важливе значення для науки і практики.

Зміст дисертації відповідає її назві, а зміст автореферату – основному змісту дисертації.

Зауваження по суті дисертаційної роботи

Аналіз змісту та наповнення роботи показав наявність певних недоліків та зауважень, а саме:

До автореферату

1. Не розшифровано змінні у формулі (5).
2. На рис. 6, 7 не вистачає пояснення умовних позначень.

До дисертації

1. У першому розділі, при огляді існуючих методів побудови математичних моделей, автор здебільшого розглядає подібні та споріднені об'єкти. Огляд систем керування майже повністю базується на аналізі патентних рішень, що не є достатньо інформативним з погляду реально існуючих систем.

2. У розділі 2 математична модель у вигляді передаточної функції має 3-й порядок (стор. 72), а перевірку стійкості (стор. 110) виконано для моделі 2-го порядку.

3. Необґрунтовано нижню межу регулювання обертів вентилятора 2200 об/хв (стор. 84).

4. В розділі 3 вказано, що початкове значення уставки тиску 170 Па (стор. 103), а на (стор. 118) за початкове значення взято 150 Па.

5. На рис. 3.19 об'ємну витрату вказана в $\text{м}^3/\text{с}$, а в посиланні на цей рисунок одиниці вимірювання вказані в л/хв. Варто було використати один тип одиниць. Також доцільно було представити на цьому графіку коливання концентрації пилу.

6. Їмність акумуляторної батареї (стор. 129) вибрано з розрахунку на двоступеневу зміну уставки керування. Варто було розрахувати ємність також для випадку автоматичного керування.

7. Висновки окремих розділів мають вигляд простих анотацій. Наприклад, розділ 2 (1-й висновок), розділ 4 (1-й висновок).

Загалом наведені недоліки та зауваження **не впливають на загальну позитивні характеристики та оцінку** дисертаційної роботи, а також не зменшують актуальність, наукову новизну і практичну значущість виконаних дисертаційних досліджень.

Висновки

Дисертація СЛАВІНСЬКОГО Дмитра В'ячеславовича «Автоматизація процесу керування моторизованим респіратором на основі регулювання циклічних потоків» є цілісною та завершеною науково-дослідною працею, у якій узагальнено виконані дослідження, отримані нові, науково обґрунтовані результати, що, в сукупності, вирішують актуальну науково-технічну задачу дослідження і розробки системи керування тиском повітря в масці моторизованого респіратора, що враховує можливість зміни режиму дихання при зміні фізичного навантаження працівника, за відповідних обмежень.

Зміст автореферату відповідає основному змісту дисертації. Всі теоретичні результати, висунуті на захист, отримано автором самостійно та повністю відповідають паспорту спеціальності 05.13.07 – автоматизація процесів керування, зокрема, за такими напрямками досліджень:

- методи створення АСК процесами та комплексами різного призначення (пункт 1);
- моделювання об'єктів та систем керування (статичні та динамічні, стохастичні та імітаційні, логіко-динамічні тощо моделі) (пункт 3);
- ідентифікація та контроль параметрів об'єктів керування в різних галузях народного господарства (пункт 5).

Вважаю, що дисертаційна робота СЛАВІНСЬКОГО Дмитра В'ячеславовича, згідно з отриманими важливими теоретичними і практичними результатами, в цілому відповідає вимогам п.п. 9, 11, 12.2, які встановлює «Порядок присудження наукових ступенів», затверджений Постановою Кабінету Міністрів України № 576 від 24.07.2013 р., а її автор — заслуговує на присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю – 05.13.07 – автоматизація процесів керування.

Офіційний опонент:

завідувач кафедри комп'ютеризованих систем
та програмних технологій,
Національного університету
«Одеська політехніка»
доктор технічних наук, професор

Сергій ПОЛОЖАЄНКО

Підпис професора ПОЛОЖАЄНКА С. А. позвідчую:
Вчений секретар ради Національного університету
«Одеська політехніка», д.ф.н., професор

Лада ПРОКОПОВИЧ

