

УДК 62-1/-9

doi:10.20998/2413-4295.2024.03.04

## РОЗРОБКА ДОСЛІДНОГО СТЕНДУ ДЛЯ АВТОМАТИЧНОГО ВИЗНАЧЕННЯ ШВИДКОСТІ РУХУ, ВИТРАТИ ТА ТЕМПЕРАТУРИ ДИМОВОГО ПОТОКУ

**А. Ю. ДОВГОПОЛОВ<sup>1\*</sup>, В. О. КОЛЕСНИК, В. Г. ЛАНЧИНСЬКИЙ<sup>2</sup>, М. Р. КИРИЛЕНКО<sup>3</sup>,  
В. Ю. ЯРОШ<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Кафедра технології машинобудування верстатів та інструментів, Сумський державний університет, Суми, УКРАЇНА

<sup>2</sup> Кафедра комп'ютеризованих систем управління, Сумський державний університет, Суми, УКРАЇНА

<sup>3</sup> Кафедра комп'ютерної механіки імені Володимира Марцинковського, Сумський державний університет, Суми, УКРАЇНА  
\*e-mail: a.dovhopolov@tmvi.sumdu.edu.ua

**АНОТАЦІЯ** На сьогодні створення нових або вдосконалення існуючих систем димового маскувння автомобільного транспорту є актуальною інженерною задачею, що може забезпечуватися використанням димових шашок різного хімічного складу. Натурне випробування ефективності димових шашок різного складу є вартісною процедурою, що передбачає використання великої кількості шашок для накопичення статистики. Однак у сучасних умовах визначення параметрів розповсюдження димового потоку в залежності від атмосферних умов та складу шашки, може бути виконано методами чисельного чи імітаційного моделювання, для використання яких є достатнім вимірювання обмеженої вибірки зразків на експериментальному стенді для визначення необхідних параметрів димового потоку, з метою використання цих результатів при внесенні граничних умов моделі. Проведені дослідження, пов'язані із розробкою дослідного стенду для визначення швидкості руху, витрати та температури димового потоку. Описані основні етапи створення дослідного стенду та наведені результати проведених вимірювань, отримані значення швидкості димового потоку та його температури. У ході пошукового експерименту було визначено неможливість використання диференційного манометра з трубкою Піто для вимірювання параметрів диму, що привело до необхідності створення програмно-апаратного комплексу, що забезпечив можливість вимірювання швидкості, температури та витрати димового потоку з дискретністю одна секунда впродовж усього часу горіння димової шашки. При створенні апаратної частини експериментального стенду були використані схематехнічні рішення, що дозволили синхронізувати результати вимірювання з датчиків температури та частоти обертання. Таким чином, для вирішення задач дослідження було використано методикку ДСТУ 8725:2017. Отримання даних було забезпечено поєднанням методу штучної термонари та частотний метод вимірювання обертання крильчатки. Запропоноване технологічне рішення дозволило отримати початкові дані про значення швидкості руху, витрати та температуру димового потоку під впливом чадного нагару.

**Ключові слова:** дослідний стенд; потік диму; швидкість руху потоку; витрати диму; температура димового потоку; термонара; частотний метод

## DEVELOPMENT OF A TEST BENCH FOR AUTOMATIC DETERMINATION OF THE SPEED, FLOW RATE AND TEMPERATURE OF THE FLUE STREAM

**A. DOVHOPOLOV<sup>1</sup>, V. KOLESNYK<sup>1</sup>, V. LANCHYNSKYI<sup>2</sup>, M. KYRYLENKO<sup>3</sup>, V. YAROSH<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Department of Manufacturing Engineering, Machines and Tools, Sumy State University, Sumy, UKRAINE

<sup>2</sup> Department of Computerized Control Systems, Sumy State University, Sumy, UKRAINE

<sup>3</sup> Department Computational Mechanics Volodymyr Marcsynkovskyy, Sumy State University, Sumy, UKRAINE

**ABSTRACT** Today, creating new or improving existing systems of smoke masking of road transport is an urgent engineering task, which can be ensured by using smoke bombs of different chemical composition. Field testing the effectiveness of smoke bombs of different compositions is a costly procedure involving the use of many smoke bombs to accumulate statistics. However, in modern conditions, the determination of the smoke flow distribution parameters depending on the atmospheric conditions and the composition of the draft can be performed by numerical or simulation modelling methods, for the use of which it is sufficient to measure a limited sample of samples on an experimental stand to determine the necessary smoke flow parameters, to use these results when the boundary conditions of the model are introduced. The experimental setup was developed to determine the speed of movement, consumption, and temperature of the smoke flow. During the research experiment, it was determined that it was impossible to use a differential manometer with a Pitot tube to measure smoke parameters, which led to the need to create a measuring complex that made it possible to evaluate the speed, temperature, and consumption of the smoke flow with a discreteness of one second throughout the entire time the smoke bomb was burning. Circuit solutions were used when creating the hardware part of the experimental stand, making it possible to synchronise the measurement results from temperature and rotation frequency sensors. Thus, the methodology of DSTU 8725:2017 was used to solve the research problems. Data was obtained by combining the artificial thermocouple method and the frequency method of measuring the rotation of the impeller. The proposed technological solution made it possible to obtain initial data on the value of movement speed, consumption and temperature of the smoke flow under the influence of soot.

**Keywords:** test bench; smoke flow; flow speed; smoke consumption; smoke flow temperature; thermocouple; frequency method

### Вступ

Формування димової завіси є одним з прийомів, що може використовуватися для маскувння

переміщення автомобільного транспорту. Час формування димової завіси, щільність диму, швидкість та температура димового потоку є параметрами, що

залежать від хімічного складу димової шашки та технології її виготовлення.

Дослідження пов'язанні з визначенням основних характеристик димової завіси, проводяться багатьма зарубіжними вченими. У фокусі цих досліджень є визначення основних характеристик димового потоку, таких як температура потоку, швидкість потоку та об'єм диму, що можуть бути використані для подальшого чисельного чи імітаційного моделювання для візуалізації характеру розповсюдження димової завіси.

На сучасному рівні розвитку науки та техніки визначення параметрів димового потоку може відбуватися різними методами. Одним з методів є вимірювання інфрачервоного випромінювання за допомогою тепловізора, що дозволяє визначити такі параметри як, ширину, висоту, площу охоплення та часу розсіювання диму, а також швидкість вертикальної та горизонтальної дифузії [1]. У своєму дослідженні Guo, A., Gao, X. та інші, проводили вимірювання параметрів димової завіси у продовж 112 с. Подальша обробка результатів полягала у опрацюванні накопичених знімків димової завіси у інфрачервоному спектрі за методом різниці п'яти кадрів, що дозволило відслідкувати процес формування та сегментації димової хмари, та розрахувати її площу на різних етапах її формування відстежуючи напрямок її руху. Іншим способом дослідити параметри димової завіси є моделювання у програмному середовищі. Так, Niu, B. [2] досліджували закономірності розповсюдження сльозогінного газу у закритих приміщеннях в залежності від атмосферних умов та перешкод. У результаті моделювання у середовищі програми Fluent Software було визначено, що перешкоди у приміщенні та атмосферний тиск впливають на дифузію сльозогінного газу. Дослідники дійшли висновку, що у хмарні дні хмара сльозогінного газу демонструє тенденцію до розповсюдження у висоту, в той час як у сонячні дні хмара газу розповсюджувалась у горизонтальній площині кімнати.

У роботі [3] описано створення імітаційної моделі для дослідження ефективності екранування інфрачервоного випромінювання димовою завісою. Моделювання здійснювалося на основі обчислювальної гідродинаміки (CFD). В основу моделі було покладено метод Лагранжа, що дозволило змодельовати побудову початкової хмари диму шляхом випадкового генерування частинок. Паралельно зі створенням частинок диму було проаналізовано тепловий ефект від згоряння компонентів димової суміші. У запропонованій авторами моделі параметри розсіювання диму визначалися за часовим та просторовим розподілом масової концентрації диму, шляхом поєднання методу CFD та моделі дискретної фази. Отримані результати дозволили виконати розрахунок поверхневої щільності диму, та визначити ефективну область задимлення. Подальша експериментальна верифікація результатів підтвердила

достовірність моделі Рахтмана для визначення форми, ширини та висоти розповсюдження димової хмари на ранніх стадіях дифузії.

Chen-Youshi Xu та ін. [4,5] розробили модель турбулентності диму та провели чисельне моделювання димоутворення та процесів дифузії диму в обмеженому просторі. Було проаналізовано часові та просторові характеристики розподілу масової концентрації диму, швидкості розповсюдження та температури потоку, що дозволило узагальнити закон руху димового потоку, що визначає дифузією диму у просторі.

Одним з прикладів створення апаратної частини експериментального стенду є патент [6] Bannasch H., та ін. що зокрема пропонує концепцію вимірювальної системи, що складається з датчиків вимірювання щільності та однорідності димової завіси. Вимірювальна сенсорна система пов'язана з блоком оброблення даних, що керується алгоритмами для аналізу ефективності димової завіси. Датчик сили та напрямку вітру і датчик інфрачервоного випромінювання з'єднані з комп'ютерним блоком.

У статті [7] описаний чисельний підхід для обробки даних про інтенсивність інфрачервоного випромінювання диму, що базується на обробці зображень у градієнтах сірого, та розроблена експериментальна установка для польових випробувань. У подальшому отримані зображення були використані для отримання математичних моделей пропускну здатності диму. Алгоритм оброблення зображень використовується для вилучення значень градієнту сірого певних піксельних точок у визначеному розташуванні. Отримані результати були визначені як достатньо точні для застосування при розробці інженерних рішень, що дозволило підвищити ефективність застосування методу.

Wu Xin та ін. [8,9] проаналізували особливості димової завіси у інфрачервоному спектрі випромінювання та представили модель на основі гасіння світла, дисперсії частинок і ослаблення температури, які обчислюються графічним процесором та відображаються на екрані в режимі реального часу. Було проведено порівняння змодельованих результатів із даними вимірювань, щоб перевірити правильність затемнення димової завіси, яка ілюструє ефект її інтерференційної функції в інфрачервоному спектрі.

У дослідженні [10,11] були підготовлені та випробувані різні димові заряди, з метою дослідження ефективності задимлення в статичних і динамічних умовах в залежності від часу. У результаті обробки результатів дослідження було отримано математичну модель для визначення часу задимлення об'єкту в залежності від складу диму. Як наслідок було уточнено обмеження щодо зменшення заряду диму при збереженні достатнього часу формування димової завіси та часу розсіювання. На основі емпіричних даних була отримана математична модель, що оцінює

час задимлення утворених твердих частинок диму (аерозолі) у ході лабораторних експериментів і досліджень у відкритих польових умовах. Згідно з результатами експерименту, для підтримки димової завіси і підтримки щільності аерозолі в атмосфері необхідно утримувати більше гарячих частинок у повітрі.

Наведені дослідження показують, що дослідження характеристик димового потоку є актуальною задачею, що вирішується засобами чисельного та імітаційного моделювання для визначення швидкості, об'єму та температури потоку. Проблематичним залишається аспект експериментального визначення граничних умов потоку для імітаційного моделювання. Використання довідкової інформації у багатьох випадках є наближенням, що негативно впливає на точність результатів моделювання, оскільки залежить від хімічного складу димової шашки. Таким чином, розробка експериментальної методики вимірювання витрати, швидкості та температури потоку диму для різних хімічних складів шашки є актуальною інженерною задачею, що потребує вирішення. Саме тому у поточній статті описано програмно-апаратний стенд вимірювання вищенаведених параметрів. У подальшому отримані на цьому стенді результати можуть бути використані для чисельного чи імітаційного моделювання руху потоків диму.

### Мета роботи

Метою даного дослідження є розробка дослідного стенду проектування та апаратного забезпечення для автоматичного визначення швидкості, витрати та температури димового потоку.

### Викладення основного матеріалу

Проектування стенду для визначення параметрів димового потоку здійснювалося у два етапи. На початковому етапі було виконано пошукове дослідження на основі стандартизованої методики ДСТУ 8725:2017 Якість повітря за допомогою стандартизованого диференційного манометра з трубкою Піто СЕМ DT-8920 (рис. 1). Згідно стандарту, описана в ньому методика дозволяє визначити швидкості та об'ємної витрати газопилових потоків [12]. Принцип роботи пристрою полягає у визначенні величини обсягу диму в одиницю часу. Отримані дані використовуються програмно-апаратною частиною пристрою для обчислення швидкості потоку та об'єму через різницю тисків по обидва боки звуженої ділянки трубопроводу. У якості звужуючого пристрою виступає діафрагма, сопла або напірні трубки (трубки Піто) [13].



Рис. 1 – Дифманометр-вимірювач швидкості та витрати повітря з трубкою Піто моделі СЕМ DT-8920[13]

У ході пошукового експерименту, для реалізації методики ДСТУ 8725:2017, було розроблено та створено дослідний стенд. Дослідний стенд (рис. 2) складається з наступних конструктивних елементів: 1 – металева труба з нержавіючої сталі для розміщення генератора диму (димової шашки); 2 – дифманометр-вимірювач швидкості та витрати повітря з трубкою Піто моделі СЕМ DT-8920; 3 – комп'ютер з спеціалізованим програмним забезпеченням від розробників приладу, для зчитування даних з дифманометра.

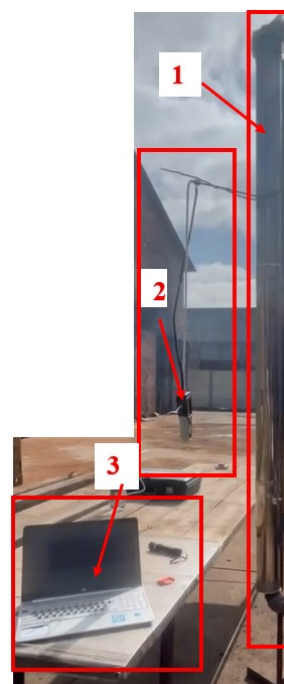


Рис. 2 – Дослідний стенд для визначення основних характеристик димового потоку з використанням дифманометра-вимірювача швидкості та витрати повітря з трубкою Піто СЕМ DT-8920

Спроектований дослідний стенд (рис. 3) дозволяє отримати дані про розподіл швидкості у

димовому потоці та встановити залежність об'ємних втрат від часу та температурні характеристики диму за методикою ДСТУ 8725:2017 [9].

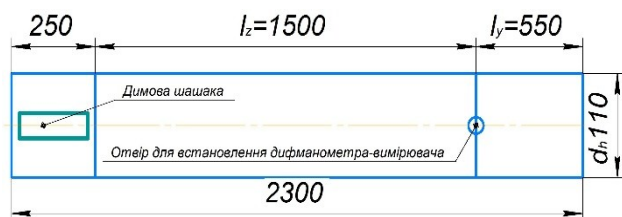


Рис. 3 – Основні розміри металевої труби згідно ДСТУ 8725:2017 для проведення досліджень

Керуючись методичними рекомендаціями стандарту ДСТУ 8725:2017 [12], вимірювальна секція була розташована на прямій ділянці довжиною  $l_z$ , що забезпечили стабільний профіль однорідного потоку без завихрення і зворотних потоків, віддалена від джерела збурення та ділянок, де змінюється напрямок димового потоку, наприклад коліна чи відводи. У випадку описаного у поточній статті дослідження, у якості збурювача виступала димова шашка, що генерувала дим. Згідно рекомендацій стандарту довжина вимірювальної секції ственду складала не менше 10 гідравлічних діаметрів димоходу  $l$ . Довжина вихідної ділянки  $l_z$  дорівнювала п'яти гідравлічних діаметрів, починаючи від верхівки труби, натомість довжина вхідної ділянки  $l_y$ , складала менше п'яти гідравлічних діаметрів труби –  $d_h$ .

Загальні геометричні розміри металевої труби дослідного ственду:  $d_h = 110$  мм,  $l_z = 1500$  мм,  $l_y = 550$  мм. Експериментальна установка була виготовлена з нержавіючої сталі.

При виконанні пошукового експерименту та використанні у якості вимірювального приладу дифманометра з трубкою Піто СЕМ DT-8920, було виявлено, що утворення твердих домішок у процесі горіння димової шашки (рис. 4), призводить до формування чадного нагару на та в середині трубки Піто, що унеможливило отримання достовірних результатів вимірювання параметрів димового потоку. Нагар у утворюється при згоранні димової шашки засмічує чутливі елементи трубки Піто та унеможливило адекватне вимірювання перепаду тиску по обидва боку звужуючого пристрою, та подальші коректні обрахунки швидкість потоку та витрату диму. Супутнім ускладнення для використання параметрів димового потоку було утворення високої температури  $t_{\text{пот.}} = 220\text{-}250$  °С.

З огляду на результати пошукового експерименту було вирішено змінити тип датчика, що був би менш чутливий до впливу нагару та температури потоку диму. У якості альтернативи було визначено наступну архітектуру програмно- апаратної системи: металева крильчатка, давач частоти обертання, дві термопари хромель-алюмель, аналого-цифровий перетворювач, персональний комп'ютер.

#### НАГАР УТВОРЕНИЙ НА ПОВЕРХНІ ТРУБКИ ПІТО



Рис. 4 – Фото нагару утвореного на трубці Піто в процесі проведення експерименту

За основу нового дослідного ственду була взята нержавіюча труба, на верхній частині якої розмістили металева крильчатку, із датчиком зчитування обертів даної крильчатки (рис. 5).



Рис. 5 – Фото верхньої частини труби з розміщеною в ній крильчаткою та датчиком обертів

Дана верхня частина розміщувалась на металевій трубці та дала можливість зчитати швидкість димового потоку, та його витрату шляхом автоматичного перерахунку програмним способом (рис. 6).

Для визначення температури димового потоку, були застосовані дві термопари хромель-алюмель, підключені до аналого-цифрового перетворювача, розміщені у верхній та нижній частині дослідного ственду (рис. 6).

В результаті проведеного дослідження були отримані всі необхідні значення температури димового потоку та його швидкості. Отримані значення швидкості димового потоку та температури в залежності від часу димоутворення показані на рис. 7 та рис. 8, відповідно.

Згідно даного графіку ми бачимо, що максимальна швидкість димового потоку складає  $V_{\text{ном.}} = 5,91$  м/с, що говорить про адекватність даних отриманих в результаті використання запропонованого дослідного ственду.



Рис. 6 – Фото розробленого дослідного стенду для автоматичного визначення швидкості руху, витрати та температури димового потоку: 1- крильчатка з датчиком обертів та місце кріплення термопар у верхній частині труби; 2 – місце кріплення термопар у нижній частині труби; 3 – аналого-цифровий перетворювач

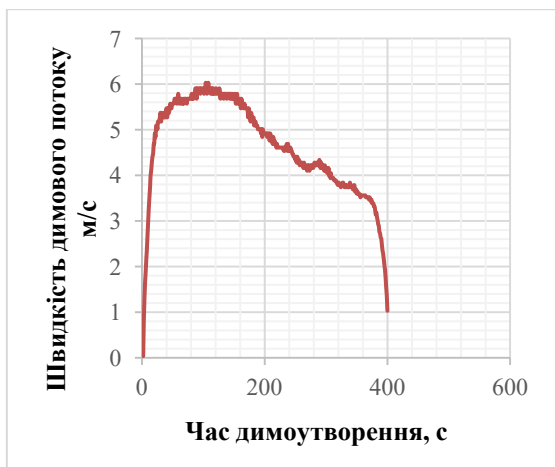
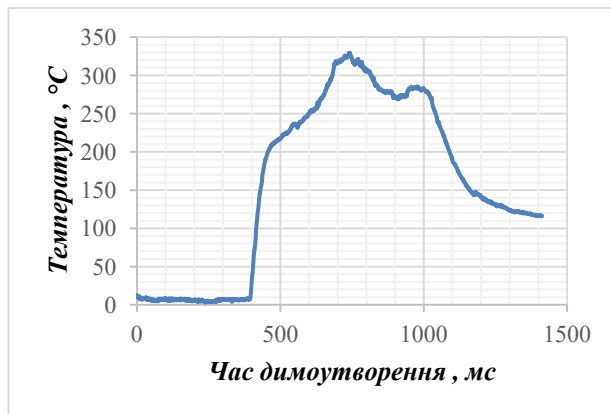


Рис. 7 – Графік залежності швидкості димового потоку в залежності від часу димоутворення

З представлених графіків видно що максимальна температура у верхній частині ( на виході димового потоку) труби складала  $T_{верх} = 330 \text{ }^{\circ}\text{C}$ , у нижній частині (біля місця горіння димової шашки)  $T_{низ} = 160 \text{ }^{\circ}\text{C}$ . Отримані результати показують адекватність вимірів проведених з використанням дослідного стенду. Значення температури біля місця горіння димової шашки є меншим оскільки термопара

знаходилась, біля димової шашки та показувала температуру середовища навколо димової шашки.



а)



б)

Рис. 8 – Графік залежності температури димового потоку в залежності від часу димоутворення: а – у верхній частині труби ( на виході димового потоку), б – в нижній частині труби (біля місця горіння димової шашки)

Розробка даного дослідного стенду та реалізація на ньому всіх зазначених конструктивних особливостей, дозволила провести заміри швидкості, температури та витрати димового потоку синхронізовані за машинним часом персонального комп'ютера.

## Висновки

В роботі проведено дослідження пов'язане з розробкою дослідного стенду для автоматичного визначення швидкості руху, витрати та температури димового потоку. За рахунок комплексного підходу вдалося розробити конструкцію дослідного стенду, на основі даних ДСТУ 8725:2017, та провести випробування роботи даного стенду.

У ході пошукового експерименту було виявлено, що дифманометр з трубкою Піто не забезпечує достовірного вимірювання параметрів димового потоку, через суттєвий негативний вплив чадного нагару від горіння шашки, на чутливі елементи приладу.



У результаті було створено програмно-апаратний комплекс для зчитування результатів вимірювання з давачів частоти обертання крильчатки та двох термопар хромель – алюмель, що дозволило визначити швидкість, температуру та витрату димового потоку у продовж усього періоду горіння шашки.

Подальший розвиток дослідження буде полягати у накопиченні масиву експериментальних даних для проведення побудови імітаційних моделей формування та розповсюдження димової зависи в атмосферному середовищі.

### Подяка

Дослідження виконано в рамках проекту молодих вчених «Розроблення автоматизованого комплексу керування системою димового захисту евакуаційного автотранспорту та мобільних вогневих точок» (ДР № 0124U000538, 2024–2025 рр.), який фінансується Міністерством освіти та науки України.

### Список літератури

- Guo A., Gao X., Li T., Dai J., Li X. Five-frame Difference Method for Extracting Characteristic Parameters from Measured Infrared Smoke Screen Images. *Hanneng Cailiao. Chinese Journal of Energetic Materials*. 2021. 29(12). P. 1144-1151. doi: 10.11943/CJEM2021075.
- Niu B. Studies on the smoke dispersion when tear gas grenades exploded in different spaces. *Highlights in Science, Engineering and Technology*. 2023. 43. P. 410–418. doi: 10.54097/hset.v43i.7459.
- Xu L., Hao X., Xiao K., Song W., Chen C. Simulation Study of Screening Efficiency of Explosive Smoke Bomb. Binggong Xuebao. *Acta Armamentarii*. 2020. 41(7). P. 1299-1306. doi: 10.3969/j.issn.1000-1093.2020.07.006.
- Xu C., Youshi Zha B., Ting Bao, J. Qian Zhang H., Li H. Xia. Analysis of temporal and spatial distribution characteristics of ammonium chloride smoke particles in confined spaces. *Defence Technology*. 2022. 18(7). P. 1269-1280. doi: 10.1016/j.dt.2021.09.017.
- Zhao Y., Zhao H., Miao Z., Ai D., Wang Q. A numerical study on the smoke dispersion and temperature distribution of a ship engine room fire based on OpenFOAM. *Sustainability*. 2023. 15(20). P. 15093. doi: 10.3390/su152015093.
- Smoke screen effectiveness determining device for protecting e.g. military platform, has measuring sensor system connected with data processing unit, and data processing algorithms provided for analysis of effectiveness of smoke screen. *Patent DE102010036026A1 Germany*. Applied on 31.08.2010; published on 01.03.2012. 9 p.
- Tang R., Tonglai Zh., Xuebin W., Zunning Zh. An efficient numerical approach for field infrared smoke transmittance based on grayscale images. *Applied Sciences*. 2018. 8. № 1. P. 40. doi: 10.3390/app8010040.
- Wu X., Zhang J. Q., Huang X., Liu D. L. GPU-accelerated real-time IR smoke screen simulation and assessment of its obscuration. *Infrared Physics and Technology*. 2012. 55 (1). P. 150-155. doi: 10.1016/j.infrared.2011.11.001.
- Zhou H., Cong H., Wang Y., Dou Z. A computer-vision-based deep learning model of smoke diffusion. *Process Safety and Environmental Protection*. 2024. 187. P. 721–735. doi: 10.1016/j.psep.2024.04.123.
- Pulpea B. G., Pulpea D. Trana E., Rotariu T., Gingham R. E., Toader G., Dirloman F. M. design and evaluation of screening smoke compositions based on red phosphorus in open field conditions. *Appl. Sci.* 2022. 12. P. 12893. doi: 10.3390/app122412893.
- Li Q., Kang J., Wang Y., Feng Y. Superheated steam similarity simulation on longitudinal distribution of maximum smoke temperature rise in tunnel fires. *Thermal Science and Engineering Progress*. 2023. 37. P. 101550. doi: 10.1016/j.tsep.2022.101550.
- ДСТУ 8725:2017 Якість повітря. Викиди стаціонарних джерел. Методи визначення швидкості та об'ємної витрати газопилових потоків.
- ТермоЛаб продаж товарів для вимірювання. URL: <https://thermolab.net.ua/ua/p1457521397-difmanometr-izmeritel-skorosti> (дата звернення 04.09.2024).

### References (transliterated):

- Guo A., Gao X., Li T., Dai J., Li X. Five-frame Difference Method for Extracting Characteristic Parameters from Measured Infrared Smoke Screen Images. *Hanneng Cailiao. Chinese Journal of Energetic Materials*, 2021, no. 29(12), pp. 1144-1151, doi: 10.11943/CJEM2021075.
- Niu B. Studies on the smoke dispersion when tear gas grenades exploded in different spaces. *Highlights in Science, Engineering and Technology*, 2023, no. 43, pp. 410–418, doi: 10.54097/hset.v43i.7459.
- Xu L., Hao X., Xiao K., Song W., Chen C. Simulation Study of Screening Efficiency of Explosive Smoke Bomb. Binggong Xuebao. *Acta Armamentarii*, 2020, 41(7), pp. 1299-1306, doi: 10.3969/j.issn.1000-1093.2020.07.006.
- Xu C., Youshi Zha B., Ting Bao, J. Qian Zhang H., Li H. Xia. Analysis of temporal and spatial distribution characteristics of ammonium chloride smoke particles in confined spaces *Defence Technology*, 2022, 18(7), pp. 1269-1280, doi: 10.1016/j.dt.2021.09.017.
- Zhao Y., Zhao H., Miao Z., Ai D., Wang Q. A numerical study on the smoke dispersion and temperature distribution of a ship engine room fire based on OpenFOAM. *Sustainability*, 2023, 15(20), pp. 15093, doi: 10.3390/su152015093.
- Smoke screen effectiveness determining device for protecting e.g. military platform, has measuring sensor system connected with data processing unit, and data processing algorithms provided for analysis of effectiveness of smoke screen. *Patent DE 102010036026A1 Germany*. Applied on 31.08.2010, published on 01.03.2012, 9 p.
- Tang R., Tonglai Zh., Xuebin W., Zunning Zh. An efficient numerical approach for field infrared smoke transmittance based on grayscale images. *Applied Sciences*, 2018, 8, no. 1, pp. 40, doi: 10.3390/app8010040.
- Wu X., Zhang J. Q., Huang X., Liu D. L. GPU-accelerated real-time IR smoke screen simulation and assessment of its obscuration. *Infrared Physics and Technology*, 2012, 55(1), pp. 150-155, doi: 10.1016/j.infrared.2011.11.001.
- Zhou H., Cong H., Wang Y., Dou Z. A computer-vision-based deep learning model of smoke diffusion. *Process Safety and Environmental Protection*, 2024, 187, pp. 721–735, doi: 10.1016/j.psep.2024.04.123.
- Pulpea B. G., Pulpea D. Trana E., Rotariu T., Gingham R. E., Toader G., Dirloman F. M. design and evaluation of screening smoke compositions based on red phosphorus in open field conditions. *Appl. Sci.*, 2022, 12, pp. 12893, doi: 10.3390/app122412893.
- Li Q., Kang J., Wang Y., Feng Y. Superheated steam similarity simulation on longitudinal distribution of

- maximum smoke temperature rise in tunnel fires. *Thermal Science and Engineering Progress*, 2023, 37, pp. 101550, doi: 10.1016/j.tsep.2022.101550.
12. DSTU 8725:2017 Yakist povitria. Vykydy statsionarnykh dzherel. Metody vyznachennia shvydkosti ta obiemnoi vytraty hazopylovykh potokiv [The State Standard of Ukraine (DSTU) 8725:2017 Air Quality. Emissions from Stationary Sources. Methods for Determining the Velocity and Volumetric Flow Rate of Gas-Dust Streams].
13. TermoLab prodazh tovariv dlia vymiriuvannia. Available at: <https://thermolab.net.ua/ua/p1457521397-difmanometr-izmeritel-skorosti> (accessed 04.09.2024).

#### Відомості про авторів (About authors)

**Довгополов Андрій Юрійович** – кандидат технічних наук, старший-викладач, Сумський державний університет, кафедра Технологія машинобудування верстатів та інструменти (ТМБІ), м. Суми, Україна; ORCID: 0000-0002-9094-4923; e-mail: a.dovhopolov@tmvi.sumdu.edu.ua

**Andrii Dovhopolov** – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Senior lecturer, Sumy State University, Department of Manufacturing Engineering, Machines and Tools, Sumy, Ukraine; ORCID: 0000-0002-9094-4923; e-mail: a.dovhopolov@tmvi.sumdu.edu.ua

**Колесник Віталій Олександрович** – кандидат технічних наук, старший викладач, Сумський державний університет, доцент кафедри Технологія машинобудування верстатів та інструменти (ТМБІ), м. Суми, Україна; ORCID: 0000-0002-0417-3801; e-mail: v.kolesnik@tmvi.sumdu.edu.ua

**Vitalii Kolesnyk** – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Senior lecturer, Department of Manufacturing Engineering, Machines and Tools, Sumy, Ukraine; ORCID: 0000-0002-0417-3801; e-mail: v.kolesnik@tmvi.sumdu.edu.ua

**Ланчинський Вадим Григорович** – аспірант, кафедра комп'ютеризованих систем управління, Сумський державний університет, м. Суми, Україна; ORCID: 0009-0001-0777-9980; e-mail: v.lanchynskij@ksu.sumdu.edu.ua

**Lanchynskiy Vadym** – postgraduate student, Department of Computerised Control Systems, Sumy State University, Sumy, Ukraine; ORCID: 0009-0001-0777-9980; e-mail: v.lanchynskij@ksu.sumdu.edu.ua

**Кириленко Максим Русланович** – магістрант, кафедра комп'ютерної механіки імені Володимира Марцинковського, Сумський державний університет, м. Суми, Україна; ORCID: 0009-0003-8066-6100; e-mail: kirilenko.max19@gmail.com

**Kyrylenko Maksym** – master's student, Volodymyr Martsynkovskiy Department of Computer Mechanics, Sumy State University, Sumy, Ukraine; ORCID: 0009-0003-8066-6100; e-mail: kirilenko.max19@gmail.com

**Ярош Віталій Юрійович** – аспірант, кафедри Технологія машинобудування верстатів та інструменти (ТМБІ), Сумський державний університет, м. Суми, Україна; ORCID: 0009-0009-0738-7184; e-mail: v.yarosh@tmvi.sumdu.edu.ua

**Yarosh Vitalii** – postgraduate student, Department of Manufacturing Engineering, Machines and Tools, Sumy State University, Sumy, Ukraine; ORCID: 0009-0009-0738-7184; e-mail: v.yarosh@tmvi.sumdu.edu.ua

*Будь ласка, посилайтесь на цю статтю наступним чином:*

Довгополов А. Ю., Колесник В. О., Ланчинський В. Г., Кириленко М. Р., Ярош В. Ю. Розробка дослідного стенду для автоматичного визначення швидкості руху, витрати та температури димового потоку. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». 2024. № 3 (21). С. 25-31. doi:10.20998/2413-4295.2024.03.04.

*Please cite this article as:*

Dovhopolov A., Kolesnyk V., Lanchynskiy V., Kyrylenko M., Yarosh V. Development of a test bench for automatic determination of the speed, flow rate and temperature of the flue stream. *Bulletin of the National Technical University "KhPI"*. Series: *New solutions in modern technology*. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2024, no. 3(21), pp. 25–31, doi: 10.20998/2413-4295.2024.03.04.

*Надійшла (received) 11.08.2024*

*Прийнята (accepted) 18.09.2024*