

УДК 658.382:613.64:621.8.035

DOI: 10.30838/UJCEA.2312.270425.120.1151

РОЗРОБКА УСТАНОВКИ ФІЗИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ РОЗПОВСЮДЖЕНОСТІ ТЕПЛООВОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ ТА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

БЕЛІКОВ А. С.¹, *докт. техн. наук, проф.*,
СТРЕЖЕКУРОВ Ю. Е.^{2*}, *асп.*

¹ Кафедра охорони праці, цивільної та техногенної безпеки, Український державний університет науки і технологій, ННІ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, тел. +38 (056) 756-34-73, e-mail: belikov@pdaba.edu.ua, ORCID ID: 0000-0001-5822-9682

^{2*} Кафедра охорони праці, цивільної та техногенної безпеки, Український державний університет науки і технологій, ННІ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, тел. +38 (097) 097-51-59, e-mail: staty.mail.ua@gmail.com, ORCID ID: 0009-0002-1791-395X

Анотація. Постановка проблеми. На петургійних, метаталурнійних та склоплавних виробництвах де використовуються високотемпературні технологічні процеси існує проблема перегріву працівників через значне теплове навантаження. При використанні засобів індивідуального захисту виникає необхідність вивчення та перевірка якісних характеристик цих засобів за для зменшення впливу теплового потоку на людину. А отже існує необхідність розробки устаткування ІЧ випромінювання та проведення досліджень в лабораторних умовах наближених до реальної виробничої обстановки, а саме: з урахуванням впливу атмосферних факторів; особливості геометрії приміщення; геометрії первинного та вторинних джерел ІЧ випромінювання; різних видів ЗІЗ. **Мета статті** – постановка експеримента дослідження впливу високотемпературного обладнання на працівника в умовах наближених до реальних. До основних завдань належить: розробка конструкції установки моделювання високотемпературного джерела випромінювання зі змінними характеристиками; розробка функціональної схеми фізичного дослідження опромінювання працівника; розробка алгоритма проведення дослідження термодинамічного навантаження на робочих місцях з урахуванням факторів впливу на розповсюдження ІЧ променів. **Висновок.** Застосування установки для моделювання високотемпературного джерела опромінювання дозволяє провести низку експериментів та досліджень з розповсюдження ІЧ променів і впливу їх на людину змінюючи: геометрію мішені відносно установки; зміна геометрії і властивостей внутрішньої поверхні приміщення та розміщення мішені відносно стін; змінюючи склад та домішок у повітрі дослідити відхилення та накладання ІЧ променів за для подальших ідей в інноваціях.

Ключові слова: *постановка експеримента; високотемпературні джерела випромінювання; установка для моделювання; алгоритм проведення дослідження; термодинамічне навантаження; на родочих місцях; вразування домішок і забрудненості повітря*

DEVELOPMENT OF THE INSTALLATION OF PHYSICAL MODELING OF SPREAD OF HEAT RADIATION AND CONDUCTING RESEARCH

BIELIKOV A.S.¹, *Dr. Sc. (Tech.), Prof.*,
STREZHEKUROV Yu.E.^{2*}, *Postgrad. Stud.*

¹ Department of Labor Protection, Civil and Technogenic Safety, Ukrainian State University of Science and Technologies, ESI “Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture”, 24-a, Architect Oleh Petrov St., Dnipro, 49005, Ukraine, tel. +38 (056) 756-34-73, e-mail: bgd@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0001-5822-9682

^{2*} Department of Labor Protection, Civil and Technogenic Safety, Ukrainian State University of Science and Technologies, ESI “Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture”, 24-a, Architect Oleh Petrov St., Dnipro, 49005, Ukraine, tel. +38 (056) 756-34-73, e-mail: staty.mail.ua@gmail.com, ORCID ID: 0009-0002-1791-395X

Abstract. Problem statement. At metallurgical, metalworking and glass manufacturing enterprises using high-temperature technological processes, workers are at risk of overheating due to significant thermal load. When using personal protective equipment, it is necessary to study and verify the actual characteristics of these means to reduce the impact of heat flux on the human body. Therefore, there is a need to develop infrared radiation equipment and conduct research under laboratory conditions approximating the actual production environment, namely: taking into account the

influence of atmospheric factors; features of room geometry; geometry of primary and secondary infrared radiation sources; various types of personal protective equipment. Therefore, there is a need to develop infrared radiation equipment and conduct research under laboratory conditions approximating the actual production environment, namely: taking into account the influence of atmospheric factors; features of room geometry; geometry of primary and secondary infrared radiation sources; various types of personal protective equipment. **The main objectives include** – The experimental setup is to study the effect of high-temperature equipment on workers under conditions approximating real ones. The main tasks are: development of the design of an installation for modeling a high-temperature radiation source with variable characteristics; development of a functional diagram of the physical study of irradiation of workers; development of the research procedure algorithm taking into account the factors influencing the distribution of infrared rays at workplaces. **Conclusion.** The use of the installation for modeling a high-temperature radiation source allows to conduct a number of experiments and studies on the distribution of infrared rays and their effects on humans by changing: The geometry of the target relative to the installation; Changing the geometry and properties of the inner surface of the room and placement of the target relative to the walls; By changing the composition and concentration in the air, investigate the deviations and overlaps of infrared rays for further innovations.

Keywords: *experimental setup; high-temperature radiation sources; installation for modeling; research procedure algorithm; thermal load; at workplaces; impact of impurities and air contamination*

Постановка проблеми. На сучасних виробництвах металургійної та петургійної галузей, де застосовуються високотемпературні технологічні процеси, для запобігання впливу високотемпературних навантажень, які негативно впливають на стан та працездатність працівників, повинні використовувати засоби індивідуального захисту сертифіковані виробником. Але як показав проведені нами дослідження на підприємствах велика кількість ЗІЗ яка застосовується, моральна застарілі, а інколи і саморобні. В свою чергу ЗІЗ які мають сертифікати від виробника використовують понад їх експлуатаційного терміна через що втрачають свої захисні якості без видимих зовні дефектів.

Тому виникає потреба у випробуваннях та повірки наявних ЗІЗ в умовах наближених до реальних у виробництві.

Аналіз публікацій. Аналіз наукових досліджень показав, що необхідно обґрунтувати та розробити експериментальну установку для оцінки рівнів теплового опромінення на робочих місцях. Як раніше продемонстровано [1–2; 6], існуючі методики розрахунку параметрів джерел теплового опромінення, що ґрунтуються на стандартних графіках та таблицях, мають певні обмеження для точної оцінки умов теплозахисту працівників на конкретному виробництві.

Неточності результатів виникають через усереднені значення окремих параметрів (температура технологічного обладнання, ступінь поглинання випромінювання, характеристики ЗІЗ, відстань до вторинних джерел ІЧ випромінювання тощо), які не враховують специфіки кожного виробництва. Зокрема, не беруться до уваги такі чинники як вплив домішок у повітрі та стан ЗІЗ, що унеможлиблює повну оцінку рівнів опромінення на робочих місцях з використанням номограм та формул.

У той же час, для ефективного теплозахисту працівників необхідні фактичні дані рівнів терморадіаційного навантаження на кожному робочому місці в реальних виробничих умовах з урахуванням реально експлуатованих ЗІЗ.

Мета дослідження – постановка експеримента дослідження впливу високотемпературного обладнання на працівника в умовах наближених до реальних. До основних завдань належить: розробка конструкції установки моделювання високотемпературного джерела випромінювання зі змінними характеристиками; розробка функціональної схеми фізичного дослідження опромінювання працівника; розробка алгоритма проведення дослідження термодинамічного навантаження на робочих місцях з урахуванням факторів впливу на розповсюдження ІЧ променів.

Результати досліджень. Згідно проведеного аналізу методики яка наведена в роботі [3; 5] нами запропоновано

використовувати підхід який ґрунтується на фізичному моделюванні ІЧ випромінювання та враховує явища інтерференції та дифракції.

При цьому, нами вперше запропоновано враховувати основні фактори, які впливають на розповсюдження ІЧ випромінювання, повітряне середовище, рівень аерогелів та аерозолів повітря, розміри площі та об'єму і температурно-вологісний режим у приміщеннях розміри робочих місць, віддзеркалення та поглинання внутрішніх поверхонь цехів [7–8].

Тому виникла потреба розробки єдиного комп'ютерного інструментарію, що дозволить в одному алгоритмі стисло формалізувати усі етапи обчислень на основі вхідних параметрів та одержувати результати в зручному для аналізу вигляді.

Це спростить практичне застосування математичних моделей теплового випромінювання та дозволить ефективніше розв'язувати актуальні інженерні завдання.

Для проведення дослідження нами було розроблена експериментальна установка (рис. 1).

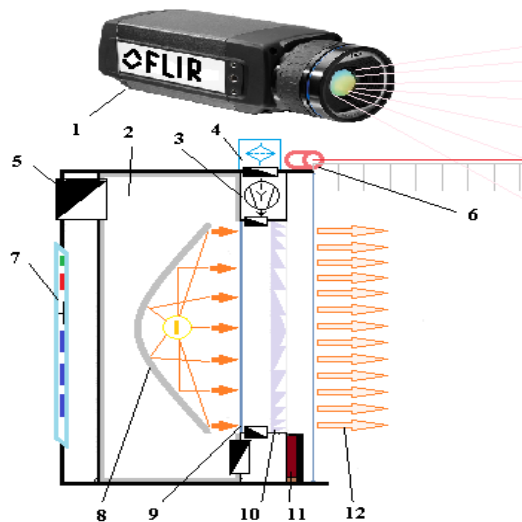


Рис. 1. Функціональна схема установки фізичного дослідження поширення теплової енергії

Склад та технічні характеристики експериментальної установки:

- 1) ІЧ камера FLIR A65sc;
- 2) світлова камера;
- 3) осьовий вентилятор;
- 4) повітряний фільтр;
- 5) вентиляційні отвори між відсіками установки;

6) лазерний дальномір Bosch DLE 50;

7) панель керування для зміни характеристик ІЧ випромінювання;

8) паробалічне дзеркало з лампою розжарювання у фокусі 1 кВт;

9) жароміцні захистні скло;

10) лінза Френеля;

11) рухомі шторки;

12) плоскопаралельні ІЧ випромінювання.

Також для проведення дослідження використано Промисловий міні ПК Gole F7 для моделювання та обробка експериментальних даних. А також Осцилограф Tektronix MDO3000 для реєстрація часових характеристик інтенсивності променя ІЧ випромінювання.

Проведення дослідження на розробленій нами установці рисунок 1 проводились наступними етапами:

- 1) Підготовка установки до досліджу;
- 2) Створення умов відповідно до обраного дослідження;
- 3) Проведення вимірювання та фіксація отриманих даних;
- 4) Перетворення даних у графічне зображення.

Вимірювання та фіксація температури на мішені, що опромінювалась, проводилась за наступними правилами:

- мішені розміщувалась так щоб уникнути впливу на них сонячних променів, нагрівальних чи охолоджуючих пристроїв;
- реєстрацію показників роботи через 5–10 хв. після розміщення;
- температурний режим для дослідження здійснюють у горизонтальному та вертикальному напрямках.

Нами було прийняте рішення використовувати світлове моделювання для оцінки інтенсивності розподілу ІЧ випромінювання на робочих місцях. Так як енергетична та світлова освітленість змінюється за однаковими законами, то в якості джерела ІЧ випромінювання використовується рівномірно освітлений екран. В якості тіла людини використовувалась плоска мішень в натуральну величину середньо статистичної людини, покрити чорною матовою фарбою, що відповідає можливості вимірювання

температури на поверхні робітника в одязі, температура якого фіксувалась ІЧ камерою FLIR A65sc.

Це дозволяє вирішити задачу не тільки дослідження інтенсивності розподілу температурно-динамічного навантаження, а і одночасно прогнозувати температуру поверхні об'єкта не певній відстані.

Для проведення досліджень нами запропонований алгоритм дослідження розповсюдження ІЧ випромінювання в середовищі. На рисунку 2 наведено алгоритм поширення теплової енергії в однорідному повітряному середовищі (без аерогелів та аерозолів).

Проведений нами аналіз показав, що характеристики турбулентності атмосферних аерогелів та аерозолів, впливають на можливості поширення інфрачервоного променя випромінювання [4].



Рис. 2. Алгоритм поширення теплової енергії в однорідному повітряному середовищі (без аерогелів та аерозолів)

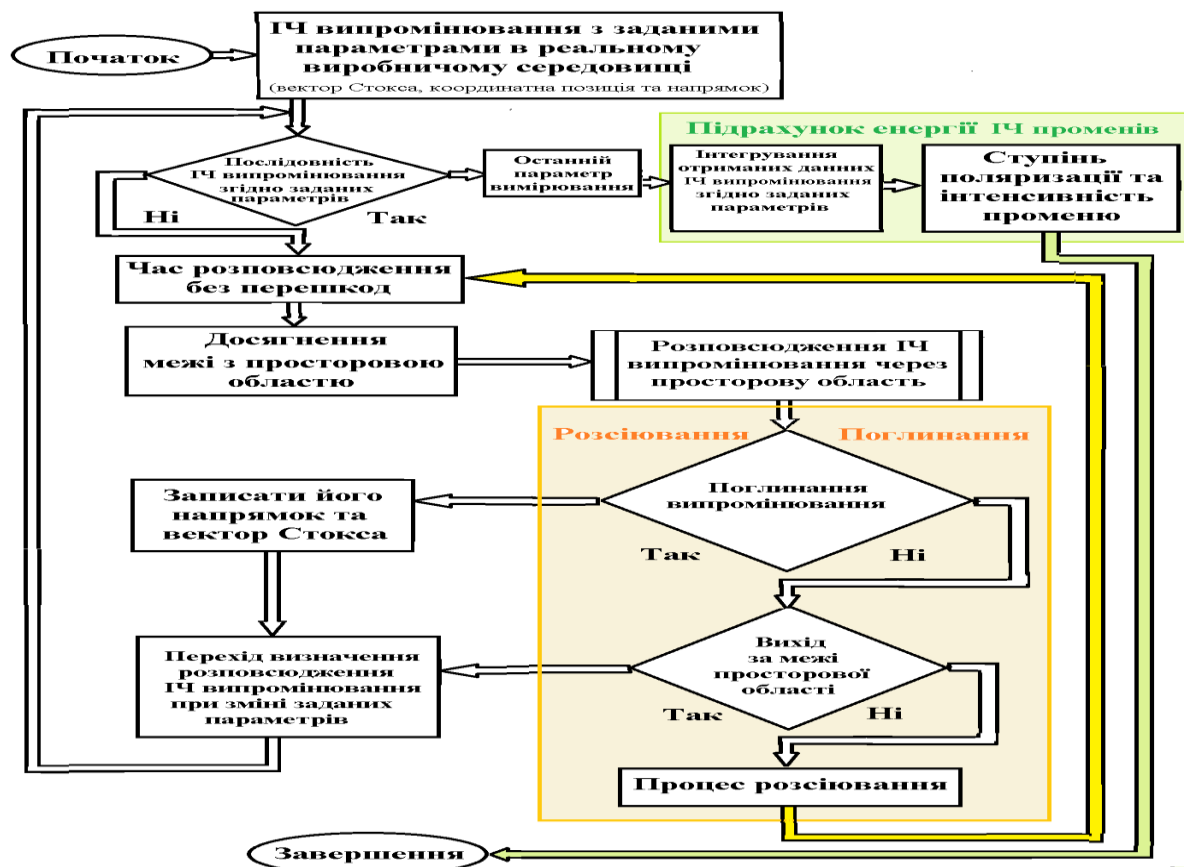


Рис. 3. Алгоритм проведення дослідження термодинамічного навантаження на робочих місцях з урахуванням забрудненості повітряного простору

Тому нами був запропонований алгоритм проведення дослідження, який дозволяє проводити комплексну оцінку теплового впливу на робочих місцях підприємств зі значним забрудненням, з урахуванням поєднання експериментальних та обчислювальних методів отримання даних, забезпечуючи безпеку вимірювань і більшу достовірність (рис. 3). Даний алгоритм призначений для програмування обчислювальної техніки.

Згідно запропонованого підходу оцінки термодинамічного навантаження на працівників до реальних умов, використовувалось в установці рисунок 1 додаткове обладнання:

- Газоаерозольний генератор – для створення середовища з заданою концентрацією та розміром частинок аерозолі. Модель Aerodynamic Particle Sizer Spectrometer TSI 3321 генерує частинки розміром від 0.5 до 20 мкм; контроль концентрації та складу аерозолі; можливість підігріву газу-носія до 1 000 °C.

- Мікроскоп – контроль розміру та форми частинок аерозолі. модель ОПТИКА XSP-16PRO; збільшення 1600×, мінімальне 75×; роздільна здатність до 0,34 мкм при макс. збільшенні дозволяє досліджувати частинки нанометрового розміру; наявність USB, HDMI інтерфейсу.

- Зразкоотбірник для репрезентативного зразка повітря з виробничого середовища. модель Dekati FPS-4000; Розділення частинок за розмірами в діапазоні 0,03–10 мкм.

При цьому необхідно акцентувати увагу, що ця установка дозволяє моделювати і вирішувати відтворення умов наближених до реальних та проведення вимірювань у широкому застосуванні.

На етапі запропонованого підходу інтенсивність випромінювання оцінили розповсюдження теплової енергії в умовах наближених до реальних характеристик повітряного простору на підприємстві з виробництва феросплавів ТОВ «ПромЕнергія».

Висновки

1. Аналіз показав що установка на обертовому столі дозволяє з одного боку проводити вимірювання як при нерухомому джерелі випромінювання в фронтальній площині, так і зробити діаграму розповсюдження на 360 °.

2. При вирішенні поставленої нами задачі, а саме статичне джерело випромінювання в фронтальній площині було визначено похибки:

- середня квадратична похибка джерела складає менш 6–8 % для всієї площини вимірювання до 72 °;

- від 72 ° до 86 ° похибка не більш 19 %;

- у випадку при куті 86–90 ° відносно мішені, яка паралельна площині випромінювання джерела вимірювання втрачають сенс з точки зору величини похибки, і потребують зміни взаєморозтошування джерела та мішені.

3. Результати вимірювання можна застосовувати задовільною точністю для інженерних розрахунків у широкому діапазоні нерівномірно нагрітих поверхонь.

4. Результати експериментального моделювання наближені максимально до реальних умов дозволяють побудувати діаграму енергетичного профілю інтенсивності розподілу температурно-динамічного навантаження в секторі 360 ° по сітці координат через 45 ° у горизонтальній площині на робочих місцях.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Шаленний В. Т., Шаломов В. А., Папірник Р. Б. Напрямки удосконалення сучасних технологій, матеріалів і обладнання із врахуванням енергетичних витрат та умов праці будівельних робітників. *Строительство. Материаловедение. Машиностроение*. 2010. Вип. 52. С. 127–131.

2. Беліков А. С., Шаломов В. А., Рагімов С. Ю., Михайлов М. О. Фізичне моделювання зміни енергетичного впливу на робочі місця з урахуванням високотемпературного випромінювання. *Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури*. 2017. Вип. 4. С. 10–17.

3. Стрежекуров Э. Е. Комплексное решение задач теплозащиты рабочих мест и охраны окружающей среды от теплового загрязнения. *Приборы для экологии-92*. 1992.
4. Біляєв М. М. Математичне моделювання розрахунку параметрів мікроклімату в робочих зонах. *Проблеми математичного моделювання*. 2020. С. 6–8.
5. Стрежекуров Ю. Е. Аналіз впливу негативних та шкідливих факторів на виникнення професійних захворювань. *Безпека життєдіяльності в XXI столітті*. 2024.
6. Стрежекуров Ю. Е. Ukrainian research schools negative thermal factors at workplaces. *Виклики та проблеми сучасної науки*. 2023. С. 598–610.
7. Беліков А. С., Стрежекуров Ю. Е., Шаломов В. А., Рагімов С. Ю. До питання комплексного впливу негативних та шкідливих факторів на виникнення професійних захворювань. *Український журнал будівництва та архітектури*. 2024. Вип. 1. С. 26–32.
8. Беліков А. С., Стрежекуров Ю. Е., Рагімов С. Ю., Харченко В. В. До питання комплексного оцінки впливу теплового випромінювання на робочих місцях з урахуванням забруднення повітряного середовища. *Український журнал будівництва та архітектури*. 2023. Вип. 6. С. 7–15.

REFERENCES

1. Shalennuy V.T., Shalomov V.A. and Papirnyuk R.B. *Napriamki udoskonalennia suchasnykh tekhnologiy, materialiv i obladannia iz vrakhuvanniam energetychnykh vutrat ta umov pratsi budivel'nykh robnyukiv* [Directions for improving modern technologies, materials and equipment, taking into account energy costs and working conditions of construction workers]. *Stroitelstvo. Materialovedenie. Mashinostroenie* [Construction. Materials Science. Mechanical Engineering]. 2010, no. 52, pp. 127–131. (in Ukrainian).
2. Bielikov A.S., Shalomov V.A., Ragimov S.Yu. and Mukhaylov M.O. *Fizychne modeliuвання zminu energetychnogo vplyvu na robochi mista z urakhuvanniam vysokotemperaturnogo vyprominiuvannya* [Physical modeling of changes in energy impact on workplaces taking into account high-temperature radiation]. *Visnyk Prydniprovs'koi derzhpavoi akademii budivnytstva ta arkhitektury* [Bulletin of the Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture]. 2017, no. 4, pp. 10–17. (in Ukrainian).
3. Strezhekurov E.E. *Kompleksnoie reshenie zadach teplozashchity rabochikh mest i okhrany okruzhaiushchei sredy ot teplovogo zagriazaniia* [A comprehensive solution to the problems of thermal protection of workplaces and environmental protection from thermal pollution]. *Priboru dlia ekologii-92* [Devices for Ecology-92]. 1992. (in Russian).
4. Bilaiev M.M. *Matematichne modeliuvanriia rozrachku parametriv mikroklimatu v robochikh zonakh* [Mathematical modeling of the calculation of microclimate parameters in working areas]. *Problemu matematichnogo modeliuвання* [Problems of Mathematical Modeling]. 2020, pp. 6–8. (in Ukrainian).
5. Strezhekurov Yu.E. *Analiz vplyvu negativnih ta shkidlivih faktoriv na viniknennia profesiynih zahvoryuvan* [Analysis of the influence of negative and harmful factors on the emergence of occupational diseases]. *Bezpeka zhitediyalnosti v XXI stoliti* [Life Safety in the XXI Century]. 2024. (in Ukrainian).
6. Strezhekurov Yu.E. [Ukrainian research schools negative thermal factors at workplaces]. *Vikliki ta problemy suchasnoy nauki* [Challenges and Problems of Modern Science]. 2023, pp. 598–610.
7. Bielikov A.S., Strezhekurov Yu.E., Shalomov V.A. and Ragimov S.Yu. *Do pitanya kompleksnogo vplyvu negativnih ta shkidlivih faktorivna viniknennia profesiynih zahvoryuvan* [To the question of the complex impact of negative and harmful factors on the emergence of occupational diseases]. *Ukrayins'kyi zhurnal budivnytstva ta arkhitektury* [Ukrainian Journal of Civil Engineering and Architecture]. 2024, no. 1, pp. 26–32. (in Ukrainian).
8. Bielikov A.S., Strezhekurov Yu.E., Ragimov S.Yu. and Kharchenko V.V. *Do pitanya kompleksnogo ocinki vplyvu teplovogo viprominiuvannya na robochih misyach z urahuvanyam zabrudneniya povitryanogo seredovisha* [To the question of the complex assessment of the impact of heat radiation at workplaces taking into account air pollution]. *Ukrayins'kyi zhurnal budivnytstva ta arkhitektury* [Ukrainian Journal of Civil Engineering and Architecture]. 2023, no. 6, pp. 7–15. (in Ukrainian).

Надійшла до редакції: 01.03.2025.