УДК 697.1:621.178:697.34
DOI: 10.30838/J.BPSACEA.2312.140723.7.948

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ УМОВ МІКРОКЛІМАТУ З УРАХУВАННЯМ КОНСТРУКТИВНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ БУДІВЕЛЬ ТА СПОРУД У РАЗІ АВАРІЙНИХ ВІДКЛЮЧЕНЬ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ

БЄЛІКОВ А. С.[1], *докт. техн. наук, проф.,*
КОЛЕСНИК І. О.[2], *канд. техн. наук, доц.,*
ЖЕЛЕЗНЯКОВ Є. О.[3*], *асп.,*
КЛИМЕНКО Г. О.[4], *канд. техн. наук, доц.*

[1] Кафедра безпеки життєдіяльності, Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, тел. +38 (056) 756-34-73, e-mail: bgd@mail.pdaba.edu.ua, ORCID ID: 0000-0001-5822-9682
[2] Кафедра опалення, вентиляції, кондиціювання та теплогазопостачання, Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, e-mail: kolesnik.inna@pdaba.edu.ua, ORCID ID: 0000-0002-5852-2392
[3*] Кафедра безпеки життєдіяльності, Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, тел. +38 (050) 045-51-22, e-mail: e.zheleznyakov1996@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-6124-201X
[4] Кафедра безпеки життєдіяльності, Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, тел. +38 (096) 763-76-17, e-mail: annochka@i.ua, ORCID ID: 0000-0002-6885-3144

Анотація. Швидке та дешеве зведення сучасних будівель та споруд забезпечується завдяки впровадженню новітніх технологій. В той же час великий вплив на сучасну будівельну галузь України створює проблема значного старіння інфраструктури систем теплопостачання, яка ускладнюється бойовими діями на території країни. Це спричинює виникнення критичних умов мікроклімату. Для визначення критичних умов мікроклімату приміщень у разі порушень системи теплопостачання одним з актуальних завдань стало дослідження динаміки зміни температури внутрішнього повітря приміщень. ***Мета статті*** − дослідження динаміки зміни температури внутрішнього повітря приміщень із метою визначення критичних умов мікроклімату та забезпечення безпеки експлуатації систем теплопостачання за аварійних відключень. ***Висновок.*** 1. На основі проведених досліджень установлено динаміку зміни температури внутрішнього повітря приміщень залежно від конструктивних особливостей будівель та споруд та впливу зовнішніх кліматичних факторів (температура навколишнього середовища, вплив сонячної радіації, вітровий вплив). 2. На основі моделювання впливу зовнішніх кліматичних факторів за аварійних відключень систем теплопостачання визначено критичний час досягнення граничних умов мікроклімату та підтримання безпеки експлуатації систем теплопостачання.

Ключові слова: *аварійні відключення; мікроклімат; зовнішні кліматичні умови; конструктивні особливості*

PROVIDING MICROCLIMATE CONDITIONS, CONSIDERING THE CONSTRUCTION FEATURES OF THE BUILDINGS AND STRUCTURES DURING EMERGENCY SHUTDOWNS OF THE HEAT SUPPLY

BELIKOV A.S.[1], *Dr. Sc. (Tech.), Prof.,*
KOLESNYK I.O.[2], *Cand. Sc. (Tech.), Assoc. Prof.,*
ZHELEZNYAKOV Ye.O.[3*], *Postgraduate Stud.,*
KLYMENKO H.O.[4], *Cand. Sc. (Tech.), Assoc. Prof.*

[1] Department of Life Safety, Prydniprovska 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.pdaba.edu.ua, ORCID ID: 0000-0001-5822-9682
[2] Department of Heating, Ventilation, Air Conditioning and Heat and Gas Supply, Prydniprovska State Academy of Civil Engineering and Architecture, 24-a, Architect Oleh Petrov St., Dnipro, 49005, Ukraine, e-mail: kolesnik.inna@pdaba.edu.ua, ORCID ID: 0000-0002-5852-2392

[3*] Department of Life Safety, Prydniprovska State Academy of Civil Engineering and Architecture, 24-a, Architect Oleh Petrov St., Dnipro, 49005, Ukraine, tel. +38 (050) 045-51-22, e-mail: e.zheleznyakov1996@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-6124-201X
[4] Department of Life Safety, Prydniprovska State Academy of Civil Engineering and Architecture, 24-a, Architect Oleh Petrov St., Dnipro, 49005, Ukraine, tel. +38 (096) 763-76-17, e-mail: annochka@i.ua, ORCID ID: 0000-0002-6885-3144

Abstract. Rapid and low-cost construction of modern buildings and structures is provided through the introduction of the latest technologies. At the same time, a significant impact on the modern construction industry of Ukraine is caused by the problem of significantly ageing infrastructure of heat supply systems, which is complicated by the hostilities in the country. This leads to the emergence of critical microclimate conditions. To determine the critical conditions of the microclimate of the premises in case of disturbances in the heat supply system, one of the topical tasks is to investigate the dynamics of indoor air temperature changes in the premises. ***The purpose of the article.*** Investigation of the dynamics of indoor air temperature change in order to determine critical microclimate conditions and to provide safe operation of heat supply systems during emergency shutdowns of heat supply systems. ***Conclusions***. 1. On the basis of the conducted research, the dynamics of indoor air temperature changes depending on the construction features of buildings and structures and the influence of external climatic factors (environmental temperature, solar radiation, wind influence) is establish. 2. Based on the conducted modeling of the impact of external climatic factors during emergency shutdowns of heat supply systems the critical time of reaching the boundary conditions of microclimate and maintaining safe operation of heat supply systems are detetmined.

Keywords: *emergency shutdown; microclimate; external climatic conditions; construction features*

Актуальність. Забезпечення безпеки життєдіяльності людини в будівлях та спорудах неможливе без додержання оптимальних/допустимих умов мікроклімату. Новітні технології, що впроваджуються у сучасну будівельну галузь, значно впливають на мікрокліматичні умови приміщень будівель і споруд, прискорюючи та здешевлюючи їх зведення [1; 5−7; 9]. Однак, на жаль, в той же час в Україні спостерігається ігнорування проблеми старіння інфраструктури систем теплопостачання.

Ця проблема додатково ускладнюється через пошкодження, завдані війною та введенням режимів регулювання подачі електроенергії. Як наслідок трапляються аварійні ситуації та значні порушення теплового режиму в приміщеннях і будівлях, котрі на невизначений час погіршують умови мікроклімату, аж до досягнення його параметрами екстремальних, небезпечних для життєдіяльності людини значень.

Дослідження [2; 3; 11] встановили, що за умови забезпечення нормативного значення повітрообміну приміщень за рахунок зовнішнього повітря в будівлях підтримуються такі рухливість внутрішнього повітря та вологість, котрі не змінюють визначального впливу температурних показників на теплові умови. Отже, у розрахунках забезпеченості теплового режиму особливо важливо брати до уваги температурний фактор мікроклімату.

Таким чином, актуальним постає дослідження динаміки зміни температури внутрішнього повітря приміщень сучасних будівель та споруд за аварійних відключень систем теплопостачання з метою визначення критичних умов мікроклімату та забезпечення безпеки експлуатації систем теплопостачання.

Постановка проблеми. Дослідження динаміки зміни умов мікроклімату приміщень потребує одночасного врахування впливу комплексу зовнішніх кліматичних факторів, котрі через огороджувальні конструкції забезпечують взаємодію між замкнутим простором приміщення та навколишнім середовищем, архітектурно-планувальних рішень і призначення приміщень.

Згідно з експлуатаційною практикою приміщення із кутовим розташуванням, так само як і приміщення, котрі мають велику площу зовнішніх огороджувальних конструкцій, відрізняються значними температурними коливаннями на внутрішній поверхні огороджувальних конструкцій та внутрішнього повітря. Значні температурні коливання створюють несприятливий вплив на самопочуття людей [16−19]. Виникає потреба у проведенні досліджень та визначенні коливань $\tau, ℃$

температури внутрішньої поверхні огороджувальних конструкцій і $t_в, ℃$ температури внутрішнього повітряного середовища [1−3].

Мета статті – дослідження динаміки зміни температури внутрішнього повітря приміщень для визначення критичних умов мікроклімату та забезпечення безпеки експлуатації систем теплопостачання у разі аварійних відключень систем теплопостачання.

Результати досліджень. Такий стан внутрішнього середовища певного обмеженого простору, що впливає на здоров'я, відчуття комфорту та продуктивність людини, може бути охарактеризований із використанням температури повітря та огороджувальних конструкцій, вологості і рухливості повітря, називають мікрокліматом приміщення [13−15].

Залежно від впливу теплофізичних характеристик огороджувальних конструкцій, зовнішніх кліматичних факторів та особливостей просторового розташування протягом періоду експлуатації приміщення параметри мікроклімату можуть сягати оптимальних, допустимих та критичних значень.

У процесі дослідження впливу зовнішніх кліматичних факторів на замкнутий простір приміщень і будівель ми виділили чотири можливі ситуації:

1. Б-випадок: виключний вплив фактора температури навколишнього середовища;
2. С-випадок: сумісний вплив фактора температури навколишнього середовища та фактора впливу сонячної радіації;
3. В-випадок: сумісний вплив фактора температури навколишнього середовища та фактора вітрового впливу;
4. СВ-випадок: сумісний вплив фактора температури навколишнього середовища, фактора впливу сонячної радіації та фактора вітрового впливу.

У тому випадку, коли параметри зовнішнього середовища та теплоакумулювальна здатність огороджувальних конструкцій відомі, виникає можливість оптимізувати кількість і якість теплової енергії, необхідної для підтримки всередині будівлі оптимальних параметрів мікроклімату [4−6].

В той же час за підтримання нормативного значення повітрообміну приміщень за рахунок зовнішнього повітря будівлі та споруди мають такі значення вологості та рухливості внутрішнього повітря, що не змінюють визначального впливу температурних показників на теплові умови. Тому для розрахунків забезпеченості теплового режиму можна брати до уваги тільки температурний фактор мікроклімату.

У разі повного припинення опалення та відсутності внутрішніх тепловиділень очікувану температуру внутрішнього повітря, яка встановиться в приміщенні через час Z після порушення нормального теплового режиму, визначають за формулою [5]:

$$t_в(Z) = t_{зс} + (t_в - t_{зс}) * e^{-Z/\beta}, \quad (1)$$

де:

$t_{зс}$ – температура зовнішнього середовища, ℃;

$t_в$ – температура внутрішнього повітря до моменту порушення нормального теплового режиму;

Z – кількість часу, що минув з моменту порушення нормального теплового режиму, год;

β – коефіцієнт акумуляції теплової енергії, год.

При цьому під час проведення розрахунків за формулою (1) зроблено допущення:

- для Б-випадку температура зовнішнього середовища приймається рівною середній місячній температурі опалювального періоду ($t_{зс} = t_з^{міс}$);
- для СВ-випадку температура зовнішнього середовища визначається як $t_{зс} = t_з^{міс} + \Delta t_{рад}^{міс} - \Delta t_{вітер}^{міс}$ ($\Delta t_{рад}^{міс}$ – середньомісячна добавка тепла за рахунок сонячної радіації; $\Delta t_{вітер}^{міс}$ – середньомісячна втрата тепла від вітру);
- для С-випадку температура зовнішнього середовища визначається як $t_{зс} = t_з^{міс} + \Delta t_{рад}^{міс}$;

- для В-випадку температура зовнішнього середовища визначається як $t_{зс} = t_з^{міс} - \Delta t_{вітер}^{міс}$.

Таблиця 1

Можливі матеріали огороджувальної конструкції та їх теплотехнічні характеристики

Матеріал	σ, м²	ρ, $\frac{кг}{м^3}$	с, $\frac{Дж}{кг * °C}$	λ, $\frac{Вт}{м * °C}$
Газобетон	0,3	500	0,84	0,5
Залізобетон	0,18	2500	0,84	2,04
Бетон ніздрюватий	0,3	700	0,84	0,18

Таблиця 2

Фактори впливу зовнішнього середовища

Місяць	Фактор		
	$t_з^{міс}$, °C	$\Delta t_{рад}^{міс}$, °C	$\Delta t_{вітер}^{міс}$, °C
Січень	-4,7	4	2

Таблиця 3

Коефіцієнт акумуляції теплової енергії, год

Матеріал	β. год
Газобетон	69,21
Залізобетон	195
Бетон ніздрюватий	102,3

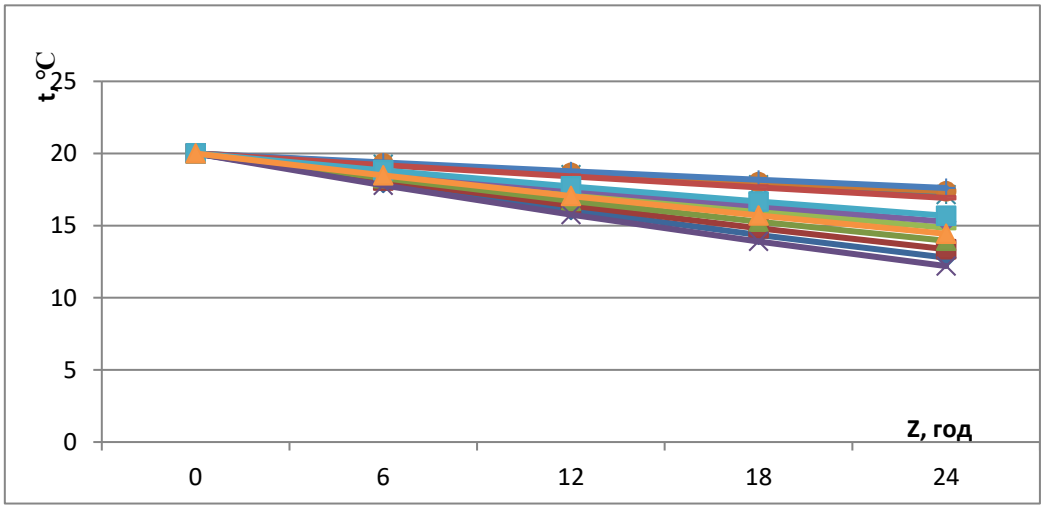

Рис. Добова динаміка зміни температури внутрішнього повітря приміщення для трьох типів огороджувальних конструкцій у разі аварійного відключення системи теплопостачання у всіх чотирьох випадках впливу зовнішніх кліматичних факторів для січня

Ми провели оціночний розрахунок динаміки зміни температури внутрішнього повітря приміщення з урахуванням трьох поширених варіантів будівельного матеріалу огороджувальних конструкцій у всіх чотирьох ситуаціях впливу зовнішніх кліматичних факторів для місяця січня. Вихідні дані для розрахунку наведені в таблицях 1–3.

У результаті розрахунку отримано дані добової динаміки зміни температури внутрішнього повітря приміщень для трьох типів огороджувальних конструкцій за аварійного відключення системи теплопостачання у всіх чотирьох випадках впливу зовнішніх кліматичних факторів для січня (рис.).

Висновки

1. На основі проведених досліджень установлено динаміку зміни температури внутрішнього повітря приміщень залежно від конструктивних особливостей будівель та споруд та впливу зовнішніх кліматичних факторів (температура навколишнього середовища, вплив сонячної радіації, вітровий вплив).

2. На основі проведеного моделювання впливу зовнішніх кліматичних факторів за аварійних відключень систем теплопостачання визначено критичний час досягнення граничних умов мікроклімату та підтримання безпеки експлуатації систем теплопостачання.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Беликов А. С., Кожушко А. П., Сафонов В. В. Охрана труда на предприятиях строительной индустрии. Днепропетровск : ЧП Федоренко А. А., 2010. 528 с.
2. Грудзинский М. М., Ливчак В. Н., Поз М. Я. Отопительно-вентиляционные системы зданий повышенной этажности. Москва : Стройиздат, 1982. 256 с.
3. Губернский Е. Д., Кореневская Е. И. Гигиенические основы кондиционирования микроклимата жилых и общественных зданий. Москва : Медицина, 1978. 192 с.
4. Дуганов Г. В., Чистяков В. Л., Стрежекуров Э. Е. Новые приборы, применяемые для измерения теплофизических характеристик горных пород. *Приборостроение*. Киев, 1972. Вып.12. С. 3–5.
5. Данилов М. П., Ветвицкий И. Л., Чесанов Л. Г., Колесник И. А. Теплоустойчивость зданий в экосистеме «Окружающая середа – здание − человек» (аварийно-дефицитные теплове режимы, гелио- и ветровые аспекты) : монография. Днепропетровск : «Поліграфіст», 2005. 263 с.
6. Ветвицкий И. Л., Каспийцева В. Ю., Колесник И. А., Шевченко А. А. Исследование влияния теплопроводных включений на параметры микроклимата помещений при отключении системы отопления. *Строительство, материаловедение, машиностроение*. 2013. Вып. 70. С. 65–69.
7. Беликов А. С., Колесник И. А., Рагимов С. Ю., Маладыка И. Г., Вовк Д. В. Исследование влияния теплопроводных включений на микроклимат помещений при аварийных ситуациях в системах теплоснабжения. *Строительство, материаловедение, машиностроение.* Днипро, 2017. Вып. 98. С. 20–24.
8. Стрежекуров Э. Е., Гашко С. В. Исследование терморадиационной напряженности в горячих цехах металлургического производства. *Гигиена и санитария*. 1980. Вып. 9. С. 62–64.
9. Табунщиков Ю. А. Строительные концепции зданий XXI века в области теплоснабжения и климатизации. *АВОК*. 2005. № 4. С. 4–7.
10. Борхерт Р., Юбиц В.Техника инфракрасного нагрева. Ленинград : Госэнергоиздат, 1963. 278 с.
11. Шкловер А. М., Васильев В. Ф., Ушаков Ф. В. Основы строительной теплотехники жилых и общественных зданий. Москва : Стройиздат, 1982. 256 с.
12. ГОСТ 12.1.005-88. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны. Общие требования : стандарт. Система стандартов безопасности труда. Введ. 01.01.89. Ч. 1. С. 165–239. Москва, 1996. Изм. 1 (ИУС. 2000. № 9).
13. ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування. Вид. офіц. Київ : Мінрегіон України, 2013. (Державні будівельні норми України). URL: https://dbn.co.ua/load/normativy/dbn/1-1-0-1018
14. ДСТУ Б EN ISO 7730. Ергономіка теплового середовища. Аналітичне визначення та інтерпретація теплового комфорту на основі розрахунків показників PMV і PPD і критеріїв локального теплового комфорту. Вид. офіц. Київ : Мінрегіон України, 2012. (Державні будівельні норми України). URL: http://online.budstandart.com/ru/catalog/doc-page?id_doc=28002
15. ДСТУ Б EN 15251. Розрахункові параметри мікроклімату приміщень для проектування та оцінки енергетичних характеристик будівель по відношенні до якості повітря, теплового комфорту, освітлення та акустики. Вид. офіц. Київ : Мінрегіон України, 2012. (Державні будівельні норми України). URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=28004
16. Кононович Ю. В. Тепловой режим зданий массовой застройки. Москва : Стройиздат, 1986. 158 с.
17. Castaldo Veronica Lucia Pigliautile, Ilaria, Rosso Federica, Pisello Anna Laura, Cotana Franco Investigation of the impact of subjective and physical parameters on the indoor comfort of occupants: a case study in central Italy. ScienceDirect: web-site. URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610217336184 (Accessed: 01 September 2020).
18. GobakisKostantinos, Kolokotsa Dionysia. Coupling building energy simulation software with microclimatic simulation for the evaluation of the impact of urban outdoor conditions on the energy consumption and indoor environmental quality. ScienceDirect: web-site. URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378778817304735 (Accessed: 01 September 2020).
19. Beker Braian M., Cervellera Camila, De Vito Antonella, Musso Carlos G. Human Physiology in Extreme Heat and Cold. ClinMed International Library: web-site. URL: https://clinmedjournals.org/articles/iacph/international-archives-of-clinical-physiology-iacph-1-001.php

REFERENCES

1. Belikov A.S., Kozhushko A.P. and Safonov V.V. *Okhrana truda na predpriyatiyakh strtoitelnoy industriyi* [Protection of labour on the enterprises of build industry]. Dnipropetrovsk : PE Fedorenko A.A. Publ., 2010, 528 p. (in Russian).
2. Grudzynsky M.M., Livchak V.N. and Poz M.Ya *Otopstelvo-ventilyatsionniye sistemy zdaniy povyshennoy etazhnosti* [Heating-ventilation systems of buildings of the promoted floor]. Moscow : Stroyizdat Publ., 1982, 256 p. (in Russian).

3. Gubernsky Ye.D. and Korenevskaya Ye.I. *Gigiyenicheskiye osnovy konditsionirovaniya mikroklimata zhilykh i obshchestvennykh zdaniy* [Hygienic bases of conditioning of microclimate of dwelling and public buildings]. Moscow : Medicine Publ., 1978, 192 p. (in Russian).

4. Duganov G.V., Chistyakov V.L and Strezhekurov T.Ye. *Novyye pribory, primenyayemyye dlya izmereniya teplofizicheskikh kharakteristik gornykh porod* [New devices applied for measuring of heating - physical descriptions of mine breeds]. *Pryborostroenye* [Instrumentation]. 1972, no. 12, pp 3–5. (in Russian).

5. Danilov M.P., Vetvitskiy I.L., Chesanov L.G. and Kolesnik I.A. *Teplovaya ustoychivost' zdaniy v ekosisteme "Sreda – zdaniye − chelovek" (avariyno-defitsitnyye teplovyye rezhimy, solnechnyy i vetrovoy aspekty)* [Thermal stability of buildings in the ecosystem "Environment – building − man" (emergency-deficient thermal regimes, solar and wind aspects)]. Dnipro ЖPoligrafist Publ., 2005, 263 pp. (in Russian).

6. Vetvitskiy I.L., Kaspiytseva V.Yu., Kolesnik I.A. and Shevchenko A.A. *Issledovanie vliyaniya teploprovodnykh vklyuchenii na parametry mikroklimata pomeshchenii pri otklyuchenii sistemy otopleniya* [Investigation of the influence of heat-conducting inclusions on the parameters of the microclimate of premises when the heating system is turned off]. *Stroitel'stvo, materialovedeniye, mashinostroyeniye* [Construction, Materials Science, Mechanical Engineering]. 2013, iss. 70 pp. 65–69. (in Russian).

7. Belikov A.S., Kolesnik I.A., Ragimov S.Yu., Maladyka I.G. and Vovk D.V. *Issledovaniye vliyaniya teploprovodnykh vklyucheniy na mikroklimat pomeshcheniy pri avariynykh situatsiyakh v sistemakh teplosnabzheniya* [Study of the influence of heat-conducting inclusions on the microclimate of premises in emergency situations in heat supply systems.]. *Stroitel'stvo, materialovedeniye, mashinostroyeniye* [Construction, Materials Science, Mechanical Engineering]. 2017, iss. 98 pp. 20–24. (in Russian).

8. Strezhekurov E.Ye. and Gashko S.V. *Issledovaniye termoradiatsionnoy napryazhennosti v goryachikh tsekhakh metallurgicheskogo proizvodstva* [Investigation of thermo-radiation stress in hot shops of metallurgical production]. *Gigiyena i sanitariya* [Hygiene and Sanitation]. 1980, iss. 9 pp. 62–64. (in Russian).

9. Tabunshchikov Yu.A. *Stroitel'nyye kontseptsii zdaniy KHKHÍ veka v oblasti teplosnabzheniya i klimatizatsii* [Construction concepts for buildings of the XXI century in the field of heat supply and air conditioning]. *AVOK* [AVOK]. 2005, iss. 4 pp. 4–7. (in Russian).

10. Borkhert R. and Yubits V. *Tekhnika infrakrasnogo nagreva* [Infrared heating technique]. Moscow : Gosenergoizdat Publ., 1963, 278 p. (in Russian).

11. Shklover A.M., Vasil'yev V.F. and Ushakov F.V. *Osnovy stroitel'noy teplotekhniki zhilykh i obshchestvennykh zdaniy* [Fundamentals of building heat engineering for residential and public buildings]. Moscow : Stroyizdat Publ., 1982, 256 p. (in Russian).

12. GOST 12.1.005-88. *Obshchiye sanitarno-gigiyenicheskiye trebovaniya k vozdukhu rabochey zony* [GOST 12.1.005-88. General sanitary and hygienic requirements for the air in the working area]. Valid from 1989-01-01. Official edition. Moscow, 1996, part 1, pp. 165–239. Ghanged 1 (IUS 2000, no. 9). (in Russian).

13. DBN V.2.5-67:2013. *Opalennya, ventylyatsiya ta kondytsionuvannya* [SCN V.2.5-67:2013. Heating, ventilation, air conditioning]. Valid from 2013-01-01. Official edition. Kyiv : Ministry of Regional Construction of Ukraine, 2013. State Building Codes of Ukraine. URL: https://dbn.co.ua/load/normativy/dbn/1-1-0-1018 (in Ukrainian).

14. DSTU B EN ISO 7730. *Erhonomika teplovoho seredovyshcha. Analitychne vyznachennya ta interpretatsiya teplovoho komfortu na osnovi rozrakhunkiv pokaznykiv PMV i PPD i kryteriyiv lokal'noho teplovoho komfortu* [DSTU B EN ISO 7730. Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria]. Valid from 2012-01-01. Official edition. Kyiv : Ministry of Regional Construction of Ukraine, 2012. State Building Codes of Ukraine. URL: http://online.budstandart.com/ru/catalog/doc-page?id_doc=28002 (in Ukrainian).

15. DSTU B EN 15251. *Rozrakhunkovi parametry mikroklimatu prymishchen' dlya proektuvannya ta otsinky enerhetychnykh kharakterystyk budivel' po vidnoshenni do yakosti povitrya, teplovoho komfortu, osvitlennya ta akustyky* [DSTU B EN 15251. Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics]. Valid from 2012-01-01. Official edition. Kyiv : Ministry of Regional Construction of Ukraine, 2012. State Building Codes of Ukraine. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=28004 (in Ukrainian).

16. Kononovich Yu.V. *Teplovoy rezhim zdaniy massovoy zastroyki* [Infrared heating technique]. Moscow : Stroyizdat Publ., 1986, 158 p. (in Russian).

17. Castaldo Veronica Lucia, Pigliautile Ilaria, Rosso Federica, Pisello Anna Laura and Cotana Franco. Investigation of the impact of subjective and physical parameters on the indoor comfort of occupants : a case study in central Italy. ScienceDirect : web-site. URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610217336184 (Accessed : 01 September 2020).

18. Gobakis Kostantinos and Kolokotsa Dionysia. Coupling building energy simulation software with microclimatic simulation for the evaluation of the impact of urban outdoor conditions on the energy consumption and indoor environmental quality. ScienceDirect : web-site. URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378778817304735 (Accessed : 01 September 2020).

19. Beker Braian M., Cervellera Camila, De Vito Antonella and Musso Carlos G. Human Physiology in Extreme Heat and Cold. ClinMed International Library : web-site. URL : https://clinmedjournals.org/articles/iacph/international-archives-of-clinical-physiology-iacph-1-001.php

Надійшла до редакції: 03.05.2023.

УДК 519.6:504.054
DOI: 10.30838/J.BPSACEA.2312.140723.13.949

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ НЕСТАЦІОНАРНОГО ПРОЦЕСУ ЗАБРУДНЕННЯ ПОВІТРЯ

БІЛЯЄВ М. М.[1], *докт. техн. наук, проф.,*
БІЛЯЄВА В. В.[2], *докт. техн. наук, доц.*
БЕРЛОВ О. В.[3*], *канд. техн. наук, доц.,*
КОЗАЧИНА В. А.[4], *канд. техн. наук, доц.,*
ЯКУБОВСЬКА З. М.[5], *канд. техн. наук, доц.*

[1] Кафедра гідравліки, водопостачання та фізики, Український державний університет науки і технологій, вул. Лазаряна, 2, 49010, Дніпро, Україна, тел. +38 (056) 373-15-09, e-mail: biliaiev.m@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-1531-7882
[2] Кафедра аерогідромеханіки та енергомасопереносу, Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, пр. Гагаріна, 72, 49000, Дніпро, Україна, тел. +38 (056) 374 98 22, e-mail: water.supply.treatment@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-2399-3124
[3*] Кафедра безпеки життєдіяльності, Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, тел. +38 (056) 247-16-01, e-mail: berlov.oleksandr@pdaba.edu.ua, ORCID ID: 0000-0002-7442-0548
[4] Кафедра гідравліки, водопостачання та фізики, Український державний університет науки і технологій, вул. Лазаряна 2, 49010, Дніпро, Україна, тел. +38 (056) 273-15-09, e-mail: water.supply.treatment@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-6894-5532
[5] Кафедра енергетики, Український державний хіміко-технологічний університет, пр. Гагаріна, 8, 49005, Дніпро, Україна, тел. +38 (056) 753-56-38, e-mail: zinaidaya25@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-9893-3479

Анотація. ***Постановка проблеми.*** Розглядається задача визначення динаміки забруднення повітря в робочому приміщенні під час затікання в нього повітря, що містить хімічно небезпечну речовину. Особливість даної задачі полягає в тому, що на формування областей забруднення в приміщенні впливають багато факторів, особливо внутрішня геометрія (наявність технологічного обладнання в приміщенні, меблі тощо). Тому потрібно мати спеціалізовані математичні моделі, що дозволяють прогнозувати рівень хімічного забруднення повітря в приміщенні за даного типу забруднення. ***Мета*** – розроблення тривимірної чисельної моделі аеродинаміки повітряного потоку в приміщенні та масопереносу хімічно небезпечної речовини, що потрапляє в приміщення крізь систему вентиляції, для прогнозування ризику токсичного ураження працівників. ***Методика.*** Для моделювання процесу поширення хімічно небезпечної речовини в повітрі робочого приміщення використовується тривимірне рівняння конвективно-дифузійного переносу хімічно небезпечної речовини. Поле швидкості повітряного потоку в робочому приміщенні розраховується на базі моделі потенціального руху нестислої рідини. Для чисельного інтегрування рівняння Лапласа для потенціалу швидкості використовуються дві скінченнорізницеві схеми. Для чисельного інтегрування тривимірного рівняння масопереносу домішки застосовуються метод розщеплення та скінченнорізницеві схеми. На кожному кроці розщеплення невідоме значення концентрації домішки обчислюється за явною формулою. Для проведення обчислювальних експериментів на базі розробленої чисельної моделі створено комп'ютерний код. ***Наукова новизна.*** Розроблено тривимірну чисельну модель для аналізу динаміки формування областей хімічного забруднення повітря в робочих приміщеннях у разі потрапляння домішки в приміщення скрізь систему вентиляції. Особливість моделі – врахування основних фізичних факторів, що впливають на формування областей забруднення та швидкість розрахунку. ***Практична значущість.*** Чисельна модель та комп'ютерний код, розроблений на її основі, дозволяють розв'язувати специфічні задачі, що виникають під час оцінювання ризику токсичного ураження працівників на хімічно небезпечних об'єктах. ***Висновки.*** Створено ефективну тривимірну чисельну модель та комп'ютерний код, що дозволяють прогнозувати рівень хімічного забруднення робочих приміщень за потрапляння токсичної речовини в приміщення крізь систему вентиляції. Наведено результати обчислювального експерименту.