

А. С. Беліков, Є. О. Железняков

Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, Дніпро, Україна

## ВИЗНАЧЕННЯ КРИТИЧНИХ УМОВ МІКРОКЛІМАТУ ТА БЕЗПЕКИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ СИСТЕМ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ ПРИ АВАРІЙНИХ ВІДКЛЮЧЕННЯХ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ

**Анотація.** **Мета.** Дослідження ризику досягнення критичних умов експлуатації систем теплопостачання при аварійних ситуаціях із урахуванням конструктивних особливостей будівель та забезпечення необхідних умов мікроклімату. **Методика.** Теоретичні та експериментальні дослідження на основі фундаментальних знань у галузі теплових процесів та методик вирішення завдань теплообміну, методів математичної статистики та прогнозу, моделювання зміну температурного режиму приміщень при відключеннях систем теплопостачання. **Результати.** Проведені дослідження та визначені закономірності критичних умов мікроклімату одержані при натурних дослідженнях та теоретико-експериментальних дозволяють зробити висновок, що одержані результати досліджень в повній мірі відповідають визначенню реальних умов мікроклімату в приміщеннях при аварійних відключеннях систем теплопостачання. При цьому різниця визначених значень прогнозу теоретичних досліджень і натурних не перевищує 5%, що допустимо в інженерних дослідженнях. Проведенні дослідно-промислові випробування дозволили при дефіцитах теплової енергії теплопостачальним організаціям підвищити надійність забезпечення встановленої мінімально допустимої температури внутрішнього повітря в приміщеннях, а також не допустити досягнення критичних температур та збільшити час живучості систем теплопостачання, за рахунок впровадження комплексної системи автоматизованого контролю та управління параметрами мікроклімату приміщень при аварійно-дефіцитних ситуаціях в системах теплопостачання. **Наукова новизна.** Встановлення закономірностей впливу конструктивних особливостей будівель на підтримання умов мікроклімату приміщень при аварійних ситуаціях в системах теплопостачання, що дозволяє керувати режимом теплопостачання для забезпечення необхідних умов мікроклімату в приміщеннях та недопущення виникнення критичних умов експлуатації систем теплопостачання. **Практичне значення.** Вдосконалення прогнозування граничних умов ліквідації наслідків аварійних ситуацій в системах теплопостачання дозволяє оптимізувати діяльність ремонтно-рятувальних служб, що є особливо важливим у зв'язку із виходом з ладу застарілих систем теплопостачання та бойовими діями на території країни.

**Ключові слова:** аварійні відключення; мікроклімат; зовнішні кліматичні умови; конструктивні особливості, критичні умови мікроклімату.

### Вступ

Встановлено, що питання забезпечення умов мікроклімату приміщень будівель та споруд в холодну пору року мають виняткову важливість, оскільки вони є основою забезпечення безпеки життєдіяльності та здоров'я людей.

Особливу актуальність ці питання отримують в умовах зростання в Україні чисельності аварійних ситуацій в системах теплопостачання, як внаслідок високого рівня зношеності їх інфраструктури загалом, так і надзвичайних ситуацій воєнного часу.

Визначені обставини перешкоджають підтриманню нормального стану здоров'я та життєдіяльності населення, можуть призвести до непоправних порушень та руйнування систем життєдіяльності об'єктів, через вихід систем теплопостачання з ладу.

Тому, проведення досліджень із забезпечення безпеки експлуатації систем теплопостачання при аварійних відключеннях через визначення закономірностей зміни температури в приміщеннях, досягнення критичної температури та часу роботи систем теплопостачання із урахуванням просторового розташування приміщень в будівлях та їх конструктивних особливостей є актуальною задачею.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Процес дослідження умов мікроклімату приміщень потребує врахування впливу просторового розташування приміщення у будівлі та дії зовнішніх кліматичних факторів, котрі через зовнішні огорожувальні конс-

трукції забезпечують взаємодію між замкнутим простором приміщення та навколишнім середовищем.

Як відомо із експлуатаційної практики кутові приміщення та приміщення із великою площею зовнішніх огорожувальних конструкцій, відрізняються значними температурними коливаннями внутрішнього повітря. Значні температурні коливання створюють несприятливий вплив на самопочуття людей [16–19]. Тому проведення досліджень та визначення  $t_{\text{вн}}^{\circ}\text{C}$  температури внутрішнього повітряного середовища стало проблемою сьогодення [1–3].

**Мета дослідження.** Апробація результатів дослідження визначення критичних умов мікроклімату при аварійних ситуаціях у системах теплопостачання із урахуванням просторового розташування приміщень всередині будівель та споруд і конструктивних особливостей будівель.

**Методи дослідження.** Теоретичні та експериментальні дослідження на основі фундаментальних знань у галузі теплових процесів та методик вирішення завдань теплообміну, методів математичної статистики та прогнозу.

### Викладення основного матеріалу

У залежності від особливостей просторового розташування приміщення всередині будівлі, впливу теплофізичних характеристик огорожувальних конструкцій та дії зовнішніх кліматичних факторів параметри мікроклімату можуть приймати як допустимі та оптимальні, так і критичні значення [5, 8, 17].

Встановлено, що у випадку коли характер впливу зовнішнього середовища та теплоакумуляційна здатність огорожувальних конструкцій є величинами відомими, то виникає можливість оптимізувати як якість, так і кількість теплової енергії, що є необхідною для підтримки всередині будівлі оптимальних параметрів мікроклімату [4–6].

В результаті досліджень [2,3,11] встановлено, що при забезпеченні нормативного значення повітрообміну приміщень за рахунок зовнішнього повітря в будівлях підтримуються такі вологість і рухливість внутрішнього повітря, які не змінюють визначального впливу температурних показників на теплові умови. Тому при розрахунках забезпеченості теплового режиму можна враховувати тільки температурний фактор мікроклімату.

Тому дослідження змін параметрів мікроклімату приміщень житлових будівель, викликаних аварійними ситуаціями та відключеннями систем теплопостачання, із урахуванням просторового розташування приміщень в будівлях, їх конструктивних особливостей та дії зовнішніх кліматичних факторів, потребує визначення закономірностей зміни температури в

приміщеннях, досягнення критичної температури та часу роботи систем теплопостачання.

Визначено, що порушення в роботі систем теплозабезпечення призводить до виникнення в приміщеннях житлових будівель дискомфортних умов, що не відповідають вимогам санітарних норм [16,17].

Крім того, при аварійному відключенні та тривалому простій обслуговування інженерних комунікацій технічні пристрої схильні до виходу із ладу при температурі повітря в приміщенні  $8^{\circ}\text{C}$  і нижче і можуть вимагати значних матеріальних витрат на їх відновлення в майбутньому.

Дослідження було проведено в період з 12.01.2023 по 17.03.2023 на об'єкті: житловий будинок за адресою м. Дніпро, вул. С. Бандери, 13, квартири двух- та трьохкімнатні. У кімнатах були визначені точки виміру температури внутрішнього повітря та температури огорожувальних конструкцій при моделюванні аварійно-дефіцитних ситуацій в системах теплопостачання. На рис. 1 та 2 наведені схеми приміщень та точки виміру з урахуванням конструктивних-особливостей приміщень.

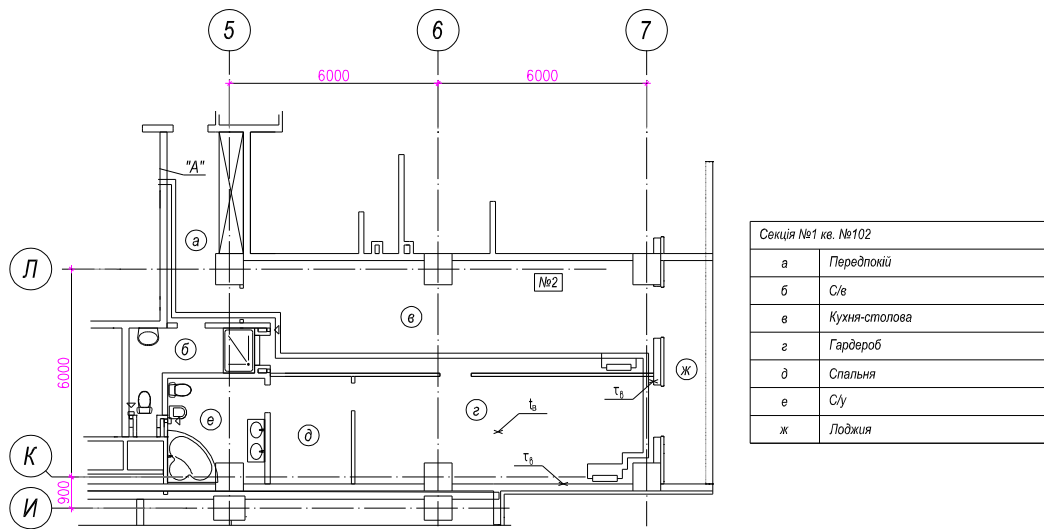


Рис. 1. Схема приміщення двокімнатної квартири та точки виміру

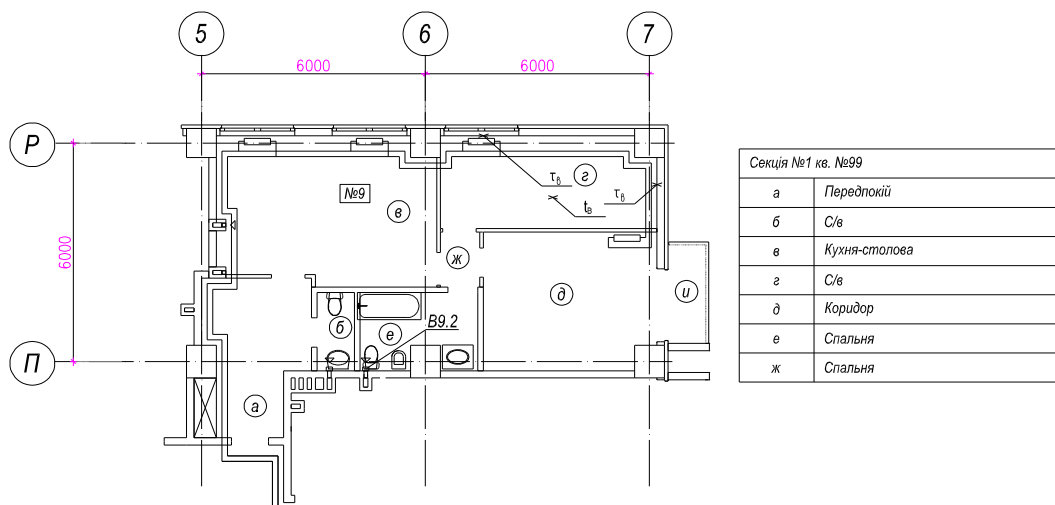


Рис. 2. Схема приміщення трьохкімнатної квартири та точки виміру

Виконані для практичних досліджень теплотехнічні вимірювання, дозволили встановити залежності зміни температури внутрішнього повітря та температури внутрішньої поверхні стінки та визначити похибки натурних досліджень та теоретико-експериментальних досліджень, одержаних в роботі.

В якості засобів вимірювання застосовувались біметалічний термометр із плоскою спіраллю – для вимірювання температури внутрішнього повітря; цифровий термометр testo 905-T2 із зондом температури поверхні – для вимірювання температури на внутрішній поверхні стінки.

При визначенні результатів дослідження враховувалась недосконалість виготовлення засобів вимірювання, неточність їх градування, вплив зовнішніх фізичних чинників (температури, відносної вологості, електромагнітного імпульсу, вібрації тощо), суб'єктивні помилки оператора і ряд інших

чинників зумовлюють неминуче виникнення похибок.

На основі проведеного аналізу одержаних даних була визначена похибка вимірювання застосованих засобів вимірювання. При монтажі приладів для виміру температури нами було враховано, що точність виміру температури залежить не тільки від класу приладу, але і від місця, де встановлюють елементи датчиків. При цьому, для даних умов вимірів температури враховувалось розміщення засобів контролю таким чином, щоб фіксувалася найбільш характерна температура процесу.

На основі проведених натурних досліджень було встановлено (рис. 3–5) закономірності зміни параметрів температури повітря та температури на поверхні огорожувальних конструкцій при моделюванні закритичних ситуацій в роботі системи тепlopостачання.

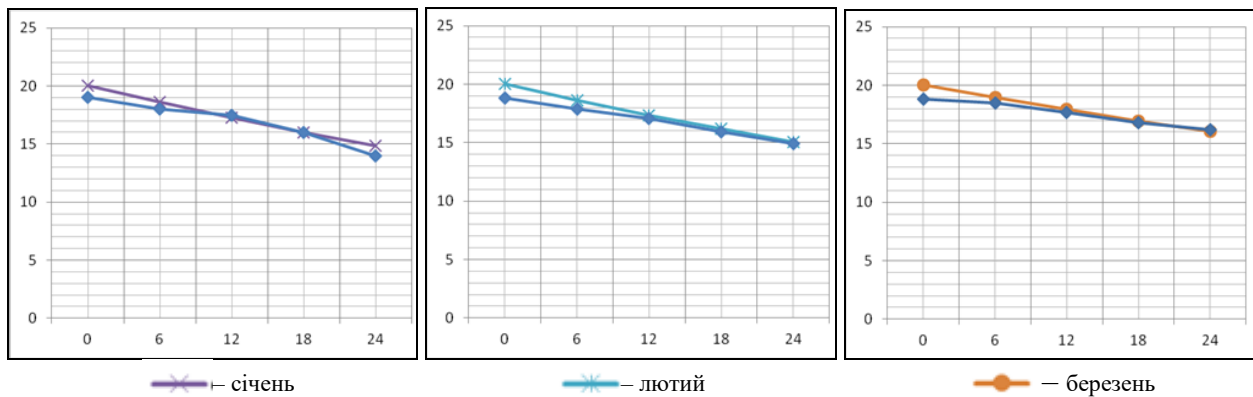


Рис. 3. Зміна температури внутрішнього повітря для 3-х кімнатної квартири ( — натурні виміри)

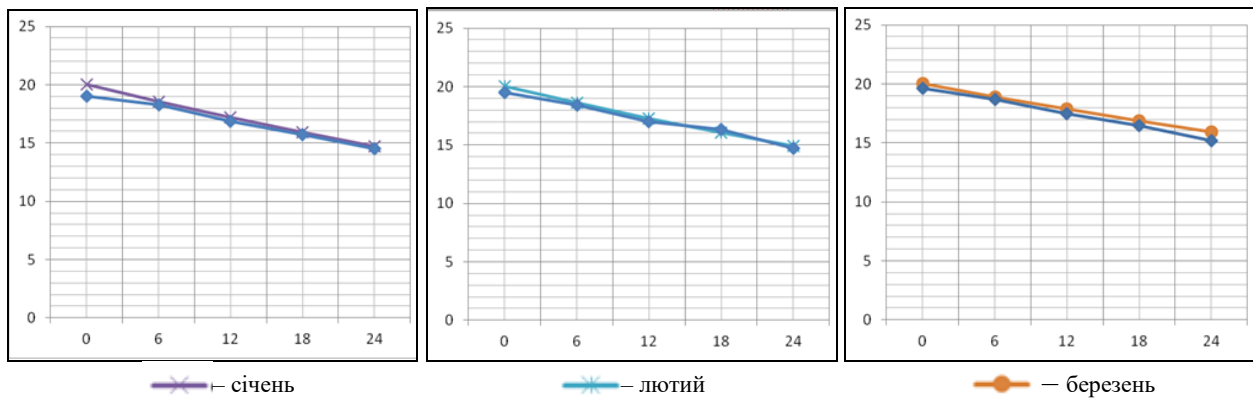


Рис. 4. Зміна температури внутрішнього повітря для 2-х кімнатної квартири ( — натурні виміри)

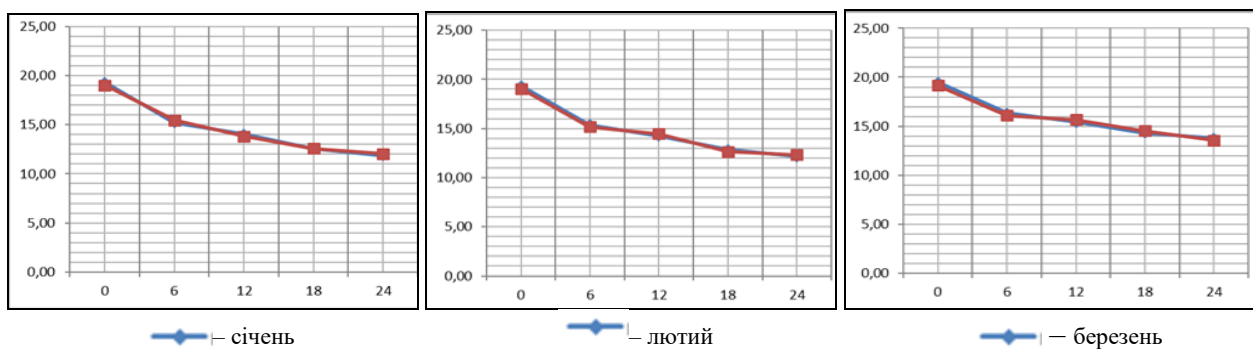


Рис. 5. Зміна температури внутрішньої поверхні стіни ( — натурні виміри)

Проведені дослідження та визначенні закономірності одержані при натурних дослідженнях та теоретико-експериментальних дозволяють зробити висновок, що одержанні результати досліджень в повній мірі відповідають визначенню реальних умов мікроклімату в приміщеннях при аварійних відключеннях систем теплопостачання. При цьому різниця визначених значень прогнозу теоретичних досліджень і натурних не перевищує 5%, що допустимо в інженерних дослідженнях. Контроль температури внутрішнього повітря у період охолодження передбачає своєчасне включення системи резервно-переривчастого опалення при досягненні мінімального значення температури. Запропонована методика дозволила визначити для обраного варіанту будівлі очікувану температуру внутрішнього повітря  $t_B$ , котра встановиться в приміщенні через час  $Z$  після порушення нормального теплового режиму при аварійних відключеннях систем теплопостачання. Проведені дослідно-промислові випробування дозволили при дефіцитах теплової енергії теплопостачальним організаціям підвищити надійність забезпечення встановленої мінімально допустимої температури внутрішнього повітря в приміщеннях, а також не допустити досягнення критичних температур та збільшити час живучості систем теплопостачання, за рахунок впровадження комплексної системи

автоматизованого контролю та управління параметрами мікроклімату приміщень при аварійно-дефіцитних ситуаціях в системах теплопостачання.

### Висновки

Проведені дослідження та визначенні закономірності одержані при натурних дослідженнях та теоретико-експериментальних дозволяють зробити висновок, що одержанні результати досліджень в повній мірі відповідають визначенню реальних умов мікроклімату в приміщеннях при аварійних відключеннях систем теплопостачання. При цьому різниця визначених значень прогнозу теоретичних досліджень і натурних не перевищує 5%, що допустимо в інженерних дослідженнях.

Проведені дослідно-промислові випробування дозволили при дефіцитах теплової енергії теплопостачальним організаціям підвищити надійність забезпечення встановленої мінімально допустимої температури внутрішнього повітря в приміщеннях, а також не допустити досягнення критичних температур та збільшити час живучості систем теплопостачання, за рахунок впровадження комплексної системи автоматизованого контролю та управління параметрами мікроклімату приміщень при аварійно-дефіцитних ситуаціях в системах теплопостачання.

### REFERENCES

1. Belikov A.S., Kozhushko A.P., Safonov V.V. Protection of labour on the enterprises of build industry, 2010, Dnepropetrovsk, UA.
2. Grudzynsky, M. M., Livchak, V.N., Poz, M. Ya (1982) Heating-ventilation systems of buildings of the promoted floor, Moscow.
3. Gubernsky Ye.D., Korenevskaya Ye. I. Hygienic bases of conditioning of microclimate of dwelling and public buildings], 1978, Medicine, Moscow, SU. (in Russian)
4. I. L. Vetvitskiy, V. Y. U. Kaspiytseva, I. A. Kolesnik, A. A. Shevchenko. Investigation of the influence of heat-conducting inclusions on the parameters of the microclimate of premises when the heating system is turned off. Academic Journal (Construction, Materials science, Mechanical Engineering). 2013, iss. 70, pp. 65–69. (in Russian).
5. Danilov M. P., Vetvitskiy I. L., Chesanov L. G., Kolesnik I. A. Данилов М. П. Thermal stability of buildings in the ecosystem "Environment-building-man" (emergency-deficient thermal regimes, solar and wind aspects) 2005, Dnipro, 263 pp.
6. Belikov A.S., Kolesnik I. A., Ragimov S. YU., Maladyka I. G., Vovk D. V Study of the influence of heat-conducting inclusions on the microclimate of premises in emergency situations in heat supply systems. Academic Journal (Construction, Materials science, Mechanical Engineering). 2017, iss. 98 pp. 20–24. (in Russian).
7. Strezhekurov E. Ye., Gashko S. V. Investigation of thermo-radiation stress in hot shops of metallurgical production. Academic Journal (Hygiene and sanitation). 1980, iss. 9 pp. 62–64. (in Russian).
8. Tabunshchikov YU. A. Construction concepts for buildings of the XXI century in the field of heat supply and air conditioning. Academic Journal (ABOK). 2005, iss. 4 pp. 4–7. (in Russian).
9. Borkhert R., Yubits V. Infrared heating technique. 1963, Gosenergoizdat, Moscow, SU. (in Russian)
10. Shklover A. M., Vasil'ev V. F., Ushakov F. V. Fundamentals of building heat engineering for residential and public buildings. 1982, Stroyizdat, Moscow, SU. (in Russian)
11. 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. Soviet Union (in Russian).
12. SCN V.2.5-67:2013. Heating, ventilation, air conditioning. [Valid from 2013-01-01]. K.: 2013, (State Building Codes of Ukraine).
13. 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). (in Ukrainian).
14. 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). (in Ukrainian).
15. Kononovich Y. V. Infrared heating technique. 1986, Stroyizdat, Moscow, SU. (in Russian)
16. Veronica Lucia Castaldo, Ilaria Pigliautile, Federica Rosso, Anna Laura Pisello, Franco Cotana. 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).
17. Kostantinos Gobakis, Dionysia Kolokotsa. 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>
18. Braian M Beker, Camila Cervellera, Antonella De Vito, Carlos G Musso. Human Physiology in Extreme Heat and Cold. ClinMed Int. Library: URL : <https://clinmedjournals.org/articles/iacph/international-archives-of-clinical-physiology-iacph-1-001.php>

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Беликов, А. С. Охрана труда на предприятиях строительной индустрии / А. С. Беликов, А. П. Кожушко, В. В. Сафонов. – Днепропетровск : ЧП Федоренко А. А., 2010. – 528 с.
2. Грудзинский, М. М. Отопительно-вентиляционные системы зданий повышенной этажности / М. М. Грудзинский, В. Н. Ливчак, М. Я. Поз. – Москва : Стройиздат, 1982. – 256 с.
3. Губернский, Е. Д. Гигиенические основы кондиционирования микроклимата жилых и общественных зданий / Е. Д. Губернский, Е. И. Корневская. – Москва : Медицина, 1978. – 192 с.
4. Данилов М. П. Теплоустойчивость зданий в экосистеме «Окружающая среда-здание-человек» / Данилов М. П., Ветвицкий И. Л., Чесанов Л. Г., Колесник И. А. – Днепропетровск: «Поліграфіст», 2005 – 263 с.
5. Исследование влияния теплопроводных включений на параметры микроклимата помещений при отключении системы отопления / И. Л. Ветвицкий, В. Ю. Каспийцева, И. А. Колесник, А. А. Шевченко // Строительство, материаловедение, машиностроение / Приднестр. гос. акад. стр-ва и архитектуры. – Днепропетровск, 2013. – Вып. 70. – С. 65-69.
6. Исследование влияния теплопроводных включений на микроклимат помещений при аварийных ситуациях в системах теплоснабжения/ А. С. Беликов, И. А. Колесник, С. Ю. Рагимов, И. Г. Маладыка, Д. В. Вовк // Строительство, материаловедение, машиностроение / Приднестр. гос. акад. стр-ва и архитектуры. – Днепропетровск, 2017. – Вып. 98. – С. 20-24.
7. Стрежекуров Э. Е. Исследование терморadiационной напряженности в горячих цехах металлургического производства / Э. Е. Стрежекуров, С. В. Гашко // Гигиена и санитария. – 1980. – Вып. 9. – С. 62-64.
8. Табунщиков Ю. А. Строительные концепции зданий XXI века в области теплоснабжения и климатизации / Ю. А. Табунщиков // АВОК. – 2005. – № 4. – С. 4-7.
9. Борхерт Р. Техника инфракрасного нагрева / Р. Борхерт, В. Юбиц. – Ленинград: Госэнергоиздат, 1963. – 278 с.
10. Шкловер А. М. Основы строительной теплотехники жилых и общественных зданий. – Москва: Стройиздат, 1982. – 256 с.
11. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны. Общие требования : стандарт / ГОСТ 12.1.005-88; - Введ.01.01.89 // Система стандартов безопасности труда. - М. - Ч.1.-С.165-239. - М.,1996. - Изм.1 (ИУС.2000.N9).
12. 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>
13. 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». Київ : Мінрегіон України, 2012. (Державні будівельні норми України). URL : [http://online.budstandart.com/ru/catalog/doc-page?id\\_doc=28002](http://online.budstandart.com/ru/catalog/doc-page?id_doc=28002)
14. ДСТУ Б EN 15251 «Розрахункові параметри мікроклімату приміщень для проектування та оцінки енергетичних характеристик будівель по відношенню до якості повітря, теплового комфорту, освітлення та акустики». Київ : Мінрегіон України, 2012. (Державні будівельні норми України). URL : [http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id\\_doc=28004](http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=28004)
15. Кононович Ю. В. Тепловой режим зданий массовой застройки / Ю. В. Кононович. – М.: Стройиздат, 1986. – 158 с.
16. Veronica Lucia Castaldo, Ilaria Pigliatile, Federica Rosso, Anna Laura Pisello, Franco Cotana. 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).
17. Kostantinos Gobakis, Dionysia Kolokotsa. 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>.
18. Braian M Beker, Camila Cervellera, Antonella De Vito, Carlos G Musso. 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>

Received (Надійшла) 08.11.2023

Accepted for publication (Прийнята до друку) 06.12.2023

### Determination of critical microclimate conditions and operational safety of heat supply systems during emergency heat supply shutdowns

A. Belikov, Ye. Zheleznyakov

**Abstract. Purpose:** Study of the risk of reaching critical modes of operation of heat supply systems in emergency situations, taking into account the structural features of buildings and ensuring the necessary microclimate conditions. **Methodology:** Theoretical and experimental research based on fundamental knowledge in the field of thermal processes and methods of solving heat exchange problems, methods of mathematical statistics and forecasting, modeling of changes in the temperature regime of premises during shutdowns of heating systems. **Results:** Conducted research and determination of regularities of critical microclimate conditions, obtained during field studies and theoretical-experimental studies, allow us to conclude that the obtained research results fully correspond to the determination of real microclimate conditions in rooms during emergency shutdowns of heat supply systems. At the same time, the difference between the determined predictive values of theoretical studies and natural ones does not exceed 5%, which is permissible in engineering studies. Conducted research and industrial tests allowed heat supply organizations to increase the reliability of ensuring the set minimum permissible indoor air temperature in the premises, as well as to prevent critical temperatures and increase the life time of heat supply systems, due to the introduction of a complex system of automated control and management of the microclimate parameters of the premises in emergency and shortage situations in heat supply systems. **Scientific novelty:** Establishing regularities of influence of structural features of buildings on maintenance of indoor microclimate conditions in emergency situations in heat supply systems, which allows to control the heat supply regime to ensure the necessary microclimate conditions in the premises and prevent the occurrence of critical operating conditions of heat supply systems. **Practical significance:** Improving the forecasting of the limit conditions for liquidation of the consequences of emergency situations in heat supply systems allows optimizing the activities of repair and rescue services, especially in connection with the failure of outdated heat supply systems and combat operations on the territory of the country.

**Keywords:** emergency shutdown, microclimate; external climatic conditions, structural features, critical microclimate conditions.