

УДК 536.24

DOI: 10.30838/J.BPSACEA.2312.230221.73.720

## ПІДХІД ДО ВИЗНАЧЕННЯ ГРАНИЧНИХ УМОВ НА ЗОВНІШНІХ ПОВЕРХНЯХ ВИСОТНОГО КОРПУСУ АДМІНІСТРАТИВНОГО БУДИНКУ

ОРЛОВА Н. О., *канд. техн. наук, с. н. с.*

Відділ когенераційних систем, Інститут проблем машинобудування ім. А. М. Підгорного НАН України, вул. Пожарського, 2/10, 61000, Харків, Україна, тел. +38 (066) 170-16-95, e-mail: [orlova@ipmach.kharkov.ua](mailto:orlova@ipmach.kharkov.ua). ORCID ID: 0000-0002-9387-6823

**Анотація. Постановка проблеми.** Вплив зовнішнього клімату на тепловий режим огорож приміщень і будівель комплексний. Розрахункові значення і поєднання параметрів обчислюють, як правило, з урахуванням коефіцієнта забезпеченості розрахункових умов. Основні показники холодного періоду року – це температура зовнішнього повітря і швидкість вітру. Як відомо, збільшення швидкості вітру за незмінної температури зовнішнього повітря викликає збільшення тиску на навітряному фасаді будівлі, в результаті чого збільшуються тепловтрати приміщення, пов'язані з нагріванням повітря, що надходить. Швидкість і напрямок вітру чинять сильніший вплив на розподіл повітряних потоків у системі вентиляції і на витрати інфільтрації, ніж температура зовнішнього повітря. Зміна температури зовнішнього повітря від  $-15$  до  $-30$  °C викликає таке саме збільшення повітрообміну у квартирі, як і збільшення швидкості вітру від 3 до 6 м/с. **Мета статті** – визначення коефіцієнтів тепловіддачі на зовнішній стороні адміністративної будівлі. **Результати.** Наведено основні принципи розрахунку коефіцієнтів тепловіддачі. Пропонується зонування приміщень інституту з урахуванням їх теплового режиму і граничних умов на зовнішніх поверхнях. **Наукова новизна і практична значимість.** З'ясовано оригінальні значення коефіцієнтів тепловіддачі, які розглядаються на прикладі кліматичних умов м. Харків для комплексу ІПмаш НАН України. На підставі наведеної методики визначення коефіцієнтів тепловіддачі (КТВ) планується в подальшому представити цю будівлю як єдину енергетичну систему з трьома основними енергетично взаємопов'язаними підсистемами: енергетичним впливом зовнішнього клімату на оболонку будівлі; енергією, що міститься в оболонці будівлі, тобто в зовнішніх огорожувальних конструкціях будівлі; енергією, що міститься всередині обсягу будівлі, тобто у внутрішньому повітрі, внутрішньому обладнанні, внутрішніх конструкціях і т. д. Тоді математична модель будівлі як єдиної енергетичної системи буде складатися із трьох підмоделей: математичної моделі впливу зовнішнього клімату на огорожувальні конструкції будівлі; математичної моделі теплопередачі через оболонку будівлі; математичної моделі променистого і конвективного теплообміну в приміщеннях будівлі.

**Ключові слова:** коефіцієнт тепловіддачі; тепловтрати; адміністративна будівля; швидкість повітря

## APPROACH TO DETERMINING BOUNDARY CONDITIONS ON THE EXTERNAL SURFACE OF THE HEIGHT CASE OF THE ADMINISTRATIVE BUILDING

ORLOVA N.O., *Cand. Sc.(Tech), Sen. Res. Assist.*

A. Pidgorny's Institute of Mechanical Engineering Problems of the National Academy of Sciences of Ukraine, 2/10, Pozharskoho Str., 61000, Kharkiv, Ukraine, tel. (+38) 066-170-1695, e-mail: [orlova@ipmach.kharkov.ua](mailto:orlova@ipmach.kharkov.ua), ORCID ID: 0000-0002-9387-6823

**Abstract. Problem statement.** The influence of the external climate on the thermal regime of the enclosures of premises and buildings is complex. The calculated values and combinations of parameters are determined, as a rule, taking into account the security factor of the calculated conditions. The main indicators of the cold season are the outdoor temperature and wind speed. As you know, an increase in wind speed with a constant outside air temperature causes an increase in pressure on the windward facade of the building, as a result of which the heat loss of the room, associated with heating of the incoming air, increases. Wind speed and direction have a stronger influence on the distribution of air flows in the ventilation system and on the infiltration costs than the outside temperature. A change in the outside air temperature from  $-15$  to  $-30$  °C leads to the same increase in air exchange in the apartment as an increase in wind speed from 3 to 6 m/s. **The purpose of the article** is to determine the heat transfer coefficients on the outside of an office building. **Results.** The basic principles of calculating heat transfer coefficients are presented. The zoning of the premises of the Institute is proposed, taking into account their thermal regime and boundary conditions on

external surfaces. **Scientific novelty and practical significance.** The original values of the heat transfer coefficients, which are considered on the example of the climatic conditions of the city of Kharkov for the IP Mash complex of the NAS of Ukraine. On the basis of the presented methodology for determining the heat transfer coefficients, it is planned to present this building as a single energy system with three main energetically interconnected subsystems: the energy effect of the external climate on the building envelope; energy that is contained in the building envelope, that is, in the external building envelope; energy, which is contained within the volume of the building, that is, in the internal air, internal equipment, internal structures, etc. Then the mathematical model of the building as a unified energy system will consist of three submodels: the mathematical model of the influence of the external climate on the building envelope; mathematical model of heat transfer through the building envelope; mathematical model of radiant and convective heat transfer in the premises of the building.

**Keywords:** *heat transfer coefficient; heat loss; office building; air speed*

**Постановка проблеми.** Протягом багатьох років було відсутнє планомірне відновлення і підвищення експлуатаційних характеристик житлового фонду, адміністративних і громадських будівель, а також інженерної інфраструктури міст. На сьогодні вони морально застаріли, мають низку конструктивних недоліків і не відповідають чинним нормам. Енерговитрати таких будинків перевищують сучасні нормативи у 2,5...3 рази. Експлуатаційні витрати на надані послуги з опалення, водопостачання та енергопостачання не виправдано великі.

На відміну від житлових будівель, моральний знос яких відбувається поступово, у міру зміни санітарно-гігієнічних норм, адміністративні будівлі вимагають постійної реконструкції.

Вплив клімату на тепловий режим огорож приміщень будівлі комплексний. Основні показники холодного періоду року – температура зовнішнього повітря і швидкість вітру. Як відомо, збільшення швидкості вітру за незмінної температури зовнішнього повітря викликає підвищення тиску на навітряному фасаді будівлі, в результаті чого збільшуються тепловтрати приміщення [1].

**Аналіз публікацій.** Умови теплообміну на зовнішніх і внутрішніх поверхнях огорожувальних конструкцій будівель і споруд, нарівні з температурою зовнішнього повітря, визначають величину теплових втрат і впливають на рівень енергоефективності будівлі [1; 2].

Для точного аналізу теплового навантаження і оцінювання результатів математичного моделювання необхідно

мати аналітичну залежність зміни КТВ від швидкості і напрямку вітру з урахуванням розміщення будівлі в міській забудові. Відомі експериментальні дослідження з визначення теплового режиму приміщень, спрямовані, зокрема, на те, щоб перевірити на практиці достовірність результатів теоретичних досліджень.

Так, у працях [3; 4] досліджується тепловіддача при натіканні струменя на поверхню пластини, розташованої нормально до його напрямку. У працях [5; 6] досліджуються відривні течії, проведені при дозвукових швидкостях повітря, але стосовно до поверхонь будівель вимагають адаптації і додаткового дослідження.

Таким чином, для побудови моделі нагріву окремих приміщень комплексу ІПмаш НАН України необхідно досліджувати функціональний зв'язок КТВ з метеорологічними параметрами.

**Мета статті** – аналіз розподілу коефіцієнтів тепловіддачі на зовнішніх поверхнях комплексу споруд Інституту проблем машинобудування імені А. М. Підгорного НАН України для забезпечення рівня комфортності експлуатованих адміністративних будівель за умови зниження рівня енергоспоживання.

**Результати дослідження.** Досліджується натікання північного вітру на висотний корпус. Повітряний потік розглядається як імпульсний струмінь, що натікає на поверхню корпусу, який має складну в плані форму. Тому основним фактором, що формує КТВ, постає не тільки стаціонарна, а й пульсаційна складова швидкості потоку, що натікає.

Рівень КТВ досліджується за швидкістю вітру  $U - 5 \text{ м/с}, 10 \text{ м/с}, 15 \text{ м/с}$  і зимовою температурою зовнішнього повітря. Для визначення КТВ на поверхні будівлі залежно від структури потоку і швидкості вітру прийнята нумерація панелей. Зміна швидкості вітру по висоті визначається згідно [7; 8]:

$$U(h) = U_0 \left( \frac{h}{10} \right)^{0,25} \quad (1)$$

Згідно з даними [9], одержаними під час метеорологічних досліджень, пульсаційна складова швидкості  $U'$  може бути представлена як:

$$U' = 0,3 \cdot \bar{U}(h) \quad (2)$$

Для визначення КТВ на поверхні будівлі залежно від структури потоку і швидкості вітру прийнята нумерація панелей, наведена на рисунку.

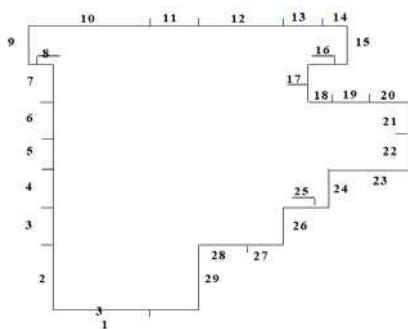


Рис. Нумерація зовнішніх панелей висотного корпусу

З урахуванням розрахункової зимової температури найхолоднішої п'ятиденки для м. Харків  $t_{н.п.} = -23 \text{ }^{\circ}\text{C}$  за  $P = 101\,000 \text{ Па}$ ,  $\rho_{н.в.} = 1,41 \text{ кг/м}^3$ , середнє значення коефіцієнта тепловіддачі визначаємо згідно з [7] як:

$$\alpha_{\text{ср}} = 0,48 \cdot \alpha_{\text{max}} = 14,21 \cdot U'(h), \quad (3)$$

а максимальне його значення має вигляд:

$$\alpha_{\text{max}} = 29,61 \cdot U'(h). \quad (4)$$

Рівень  $\alpha_{\text{ср}}$ , міститься в зоні відриву повітряного потоку від поверхонь 27, 25, 23, тобто в області підвищених КТВ, і згідно з [6; 7], додатково помножується на коефіцієнт 1,08, тобто:

$$\alpha_{\text{ср}}^{\text{відр}} = 1,08 \cdot \alpha_{\text{ср}} \quad (5)$$

Панелі 26, 24, 29 розміщені в зоні відриву повітряного потоку. Для визначення розмірів області відриву, яка формується на бічній поверхні корпусу при натіканні повітряного потоку на його навітряну поверхню, отримано рівняння з урахуванням режиму повітряного потоку, розміру цієї області, індивідуальних геометричних характеристик будівлі [6]:

$$h_{\text{відр}} = 0,434 \cdot H_0, \quad (6)$$

де  $h_{\text{відр}}$  – висота області відриву,  $H_0$  – довжина області відриву.

Швидкість течії на межі переходу основного повітряного потоку до області відриву визначається за формулою:

$$U_{\text{відр}} = 1,41 \cdot U_0. \quad (7)$$

Згідно з рисунком  $H_0 = 3 \text{ м}$  з формули (6) отримаємо, що  $h_{\text{відр}} = 1,3 \text{ м}$ .

Панелі 23, 24, 27, 28 повністю перебувають в області відриву. З урахуванням (3), (1) КТВ визначаються згідно із залежністю:

$$\alpha_3^{\text{біч}} = 2,2 \cdot U(h). \quad (8)$$

Панелі 18, 19, 20 і 16 також перебувають у зоні відриву повітряного потоку, довжина панелей складає  $L = 12 \text{ м}$ , тому коефіцієнт тепловіддачі обчислюється за формулою (8).

Як показують проведені розрахунки, обтікання північним вітром більшості панелей висотного корпусу має яскраво виражений відривний характер. Вниз по потоку за будівлею утворюється велика протяжна область рециркуляційної течії, яка характеризується невисоким рівнем швидкостей, поворотними струмами, сильним розрядженням і значним рівнем турбулентної кінетичної енергії. При цьому зі збільшенням висоти будівлі структура цієї зони на його завітряній стороні змінює свою структуру і розміри, це необхідно враховувати у визначенні коефіцієнтів тепловіддачі.

Середнє значення КТВ на зовнішній стороні південного фасаду будівлі, з урахуванням теплофізичних характеристик повітря за  $t_{н.п.} = -23 \text{ }^{\circ}\text{C}$  визначається згідно з [8; 9] як:

$$\alpha_{\text{ср}}^{\text{завітр}} = 0,0207 \left( \frac{U}{v} \right)^{\frac{2}{3}} \cdot \left( \frac{\lambda}{t^{\frac{1}{3}}} \right) \text{Pr}^{0.43}, \quad (9)$$

де  $\lambda$  – теплопровідність повітря;  $v$  – кінематична вологість.

З урахуванням впливу теплофізичних властивостей повітря, що залежать від температури, рівняння (9) може бути представлено в такий спосіб:

для панелей 10–14:

$$\alpha_{\text{ср}}^{\text{завітр}} = 0,293 \cdot U^{0,667};$$

для панелей 19–20:

$$\alpha_{\text{ср}}^{\text{завітр}} = 0,413 \cdot U^{0,667};$$

для панелей 16–18:

$$\alpha_{\text{ср}}^{\text{завітр}} = 0,25 \cdot \alpha_{\text{ср}}^{\text{завітр} 19,20}. \quad (10)$$

Для панелей 16, 17, 18 коефіцієнти тепловіддачі визначаються з урахуванням умов природної конвекції. З урахуванням того, що висота південного фасаду  $H = 67,315$  м і  $(\text{Gr} \cdot \text{Pr}) > 6 \cdot 10^{10}$  число Грасгофа визначиться як:

$$\text{Gr} = g \cdot \beta \frac{\Delta t \cdot H^3}{\nu^2},$$

де  $g$  – прискорення вільного падіння,  $g = 9,8$  м/с<sup>2</sup>;  $\beta$  – температурний коефіцієнт об'ємного розширення повітря,  $\beta = 1/(273 + t_{\text{н.п}})$ , К<sup>-1</sup>.

За  $t_{\text{н.п.}} = -23$  °С і фізичних параметрів повітря  $\lambda = 0,00226$  Вт/(м К),  $\nu = 11,4 \cdot 10^{-6}$  м<sup>2</sup>/с,  $\text{Pr} = 0,718$  число Нуссельта визначиться як:

$$\text{Nu}_x = 0,15 \cdot (\text{Gr}_x \cdot \text{Pr})^{\frac{1}{3}}, \quad (11)$$

враховуючи, що  $\text{Gr}_x = 9,21 \cdot 10^{14}$  отримаємо:

$$\text{Nu}_x = 12920. \quad (12)$$

Тоді коефіцієнт тепловіддачі для панелей 16, 17, 18 з урахуванням (10) – (12) дорівнює:

$$\alpha_{\text{прир}}^{\text{завітр}} = 4,34 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

Зведений коефіцієнт тепловіддачі на завітряній стороні будівлі може бути представлений як:

$$\alpha_{\text{прир}}^{\text{завітр}} = \sqrt{\alpha_{\text{прир}}^{\text{завітр}} + \alpha_i} = \sqrt{18,84 + \alpha_i}, \quad (13)$$

а його значення наведені в таблиці 3.

Швидкість повітря для цих панелей з урахуванням розмірів області відриву становить:

$$U_{15}^{\text{завітр}} = 0,35 \cdot U(h_i),$$

а коефіцієнт тепловіддачі дорівнює:

$$\alpha_{15}^{\text{завітр}} = 1,83 \cdot U_{15}^{\text{завітр}}.$$

**Висновки.** Відповідно до даного підходу обчислено значення коефіцієнтів тепловіддачі на зовнішніх поверхнях огороження для прийнятих швидкостей вітру.

Значення коефіцієнтів тепловіддачі поверхово при розташуванні панелей, згідно з рисунком і заданих швидкостях вітру наведені в таблицях 1–3  $U_{15}^{\text{завітр}} = 0,35 \cdot U(h_i)$ .

Аналіз значень КТВ, наведений у таблицях 1–3, показує нерівномірність його зміни по панелях будівлі для кожного поверху. Видно, що коефіцієнт тепловіддачі змінюється у 2 і більше разів. Ця оцінка важлива для організації оптимального теплового режиму будівлі, з урахуванням напрямку і швидкості вітру, його величини і температури зовнішнього повітря.

При цьому слід зазначити, що коефіцієнти тепловіддачі на завітряній стороні змінюються в межах від 0,7 до 3,5 Вт/(м<sup>2</sup> °С). З таблиць 2–3 випливає, що на різній висоті одного номера розташування панелей КТВ збільшується у 2 і більше разів. При цьому значне збільшення КТВ спостерігається за підвищення швидкості вітру. Так, за зміни швидкості вітру від 5 до 10 м/с КТВ збільшується на 20...25 %.

Таблиця 1

Коефіцієнт тепловіддачі на завітряній стороні будівлі для панелей 10-14, 19, 20, 16-18, Вт/(м<sup>2</sup>·К)

| № поверху | $U_0 = 5$ м/с    |                  | $U_0 = 10$ м/с |                  |                  | $U_0 = 15$ м/с |                  |                  | $\alpha_{16-18}$   |
|-----------|------------------|------------------|----------------|------------------|------------------|----------------|------------------|------------------|--|
|           | $\alpha_{10-14}$ | $\alpha_{19-20}$ | $U(h_i)$ , м/с | $\alpha_{10-14}$ | $\alpha_{19-20}$ | $U(h_i)$ , м/с | $\alpha_{10-14}$ | $\alpha_{19-20}$ |  |
| 1         | 0,66             | 0,93             | 6,7            | 1,04             | 1,47             | 10,15          | 1,38             | 1,94             | Вимушена конвекція відсутня, тому $\alpha_{прпр} = 4,34$ |
| 2         | 0,79             | 1,12             | 8,9            | 1,26             | 1,78             | 13,36          | 1,65             | 2,33             |  |
| 3         | 0,86             | 1,22             | 10,1           | 1,37             | 1,93             | 15,2           | 1,8              | 2,54             |  |
| 4         | 0,91             | 1,29             | 11,0           | 1,44             | 2,05             | 16,51          | 1,90             | 2,68             |  |
| 5         | 0,95             | 1,34             | 11,7           | 1,513            | 2,13             | 17,59          | 1,98             | 2,79             |  |
| 6         | 0,99             | 1,39             | 12,32          | 1,56             | 2,21             | 18,49          | 2,05             | 2,89             |  |
| 7         | 1,01             | 1,42             | 12,8           | 1,61             | 2,26             | 19,2           | 2,1              | 2,96             |  |
| 8         | 1,03             | 1,45             | 13,17          | 1,64             | 2,3              | 19,75          | 2,14             | 3,02             |  |
| 9         | 1,05             | 1,48             | 13,5           | 1,66             | 2,35             | 20,28          | 2,18             | 3,07             |  |
| 10        | 1,07             | 1,5              | 13,8           | 1,69             | 2,38             | 20,77          | 2,22             | 3,12             |  |
| 11        | 1,08             | 1,52             | 14,1           | 1,71             | 2,41             | 21,22          | 2,25             | 3,17             |  |
| 12        | 1,09             | 1,54             | 14,4           | 1,74             | 2,45             | 21,65          | 2,28             | 3,21             |  |
| 13        | 1,11             | 1,57             | 14,76          | 1,77             | 2,49             | 22,14          | 2,31             | 3,26             |  |
| 14        | 1,12             | 1,58             | 14,95          | 1,78             | 2,51             | 22,42          | 2,33             | 3,29             |  |
| 15        | 1,13             | 1,59             | 15,19          | 1,79             | 2,54             | 22,79          | 2,36             | 3,32             |  |
| 16        | 1,14             | 1,61             | 15,42          | 1,82             | 2,56             | 23,13          | 2,38             | 3,36             |  |
| 17        | 1,16             | 1,63             | 15,65          | 1,84             | 2,59             | 23,48          | 2,41             | 3,39             |  |
| 18        | 1,16             | 1,64             | 15,95          | 1,86             | 2,62             | 23,93          | 2,44             | 3,43             |  |
| 19        | 1,19             | 1,67             | 16,23          | 1,88             | 2,65             | 24,35          | 2,46             | 3,47             |  |

Таблиця 2

Середнє значення КТВ (Вт(м<sup>2</sup> °С)) на поверхнях панелей за швидкості вітру  $U_0=15$  м/с, Вт/(м<sup>2</sup>·К)

| № поверху | $U(h_i)$ , м/с | Номери панелей |       |       |       |       |       |       |        |
|-----------|----------------|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
|           |                | 2              | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 9     | 8      |
| 1         | 10,15          | 18,47          | 26,19 | 23,95 | 21,21 | 18,98 | 15,43 | 18,47 | 46,69  |
| 2         | 13,36          | 24,32          | 34,47 | 31,53 | 28,06 | 24,98 | 20,31 | 24,32 | 61,46  |
| 3         | 15,2           | 27,66          | 39,22 | 35,87 | 31,92 | 28,42 | 23,1  | 27,66 | 69,92  |
| 4         | 16,51          | 30,05          | 42,6  | 38,96 | 34,67 | 30,87 | 25,1  | 30,05 | 75,95  |
| 5         | 17,59          | 32,01          | 45,38 | 41,51 | 36,94 | 32,89 | 26,74 | 32,01 | 80,91  |
| 6         | 18,49          | 33,65          | 47,7  | 43,64 | 38,83 | 34,58 | 28,1  | 33,65 | 85,05  |
| 7         | 19,2           | 34,94          | 49,54 | 45,31 | 40,32 | 35,9  | 29,18 | 34,94 | 88,32  |
| 8         | 19,75          | 35,95          | 51,09 | 46,61 | 41,48 | 36,93 | 30,02 | 35,95 | 90,85  |
| 9         | 20,28          | 36,91          | 52,32 | 47,86 | 42,59 | 37,92 | 30,83 | 36,91 | 93,29  |
| 10        | 20,77          | 37,8           | 53,59 | 49,02 | 43,62 | 38,84 | 31,57 | 37,8  | 95,54  |
| 11        | 21,22          | 38,62          | 54,75 | 50,08 | 44,56 | 39,68 | 32,25 | 38,62 | 97,61  |
| 12        | 21,65          | 39,4           | 55,6  | 51,1  | 45,47 | 40,49 | 32,91 | 39,4  | 99,59  |
| 13        | 22,14          | 40,29          | 57,12 | 52,25 | 46,49 | 41,4  | 33,65 | 40,29 | 101,84 |
| 14        | 22,42          | 40,8           | 57,84 | 52,91 | 47,08 | 41,93 | 34,08 | 40,8  | 103,13 |
| 15        | 22,79          | 41,48          | 58,8  | 53,78 | 47,86 | 42,62 | 34,64 | 41,48 | 104,83 |
| 16        | 23,13          | 42,1           | 59,68 | 54,59 | 48,57 | 43,25 | 35,16 | 42,1  | 106,4  |
| 17        | 23,48          | 42,73          | 60,58 | 55,41 | 49,31 | 43,91 | 35,69 | 42,73 | 108,01 |
| 18        | 23,93          | 43,55          | 61,74 | 56,47 | 50,25 | 44,75 | 36,37 | 43,55 | 110,08 |
| 19        | 24,35          | 44,32          | 62,82 | 57,47 | 51,14 | 45,53 | 37,01 | 44,32 | 112,01 |

Таблиця 3

Зміна КТВ на поверхнях панелей № 21, 22 залежно від швидкості вітру, Вт/(м<sup>2</sup>·К)

| № по-<br>верху | $U_0 = 5$ м/с    |               | $U_0 = 10$ м/с |               | $U_0 = 15$ м/с |               |
|----------------|------------------|---------------|----------------|---------------|----------------|---------------|
|                | $U(h_i)$ , м/с   | $\alpha_{cp}$ | $U(h_i)$ , м/с | $\alpha_{cp}$ | $U(h_i)$ , м/с | $\alpha_{cp}$ |
| 1              | Панелі відступні |               |                |               |                |               |
| 2              | 4,5              | 7,650         | 8,90           | 15,130        | 13,36          | 22,712        |
| 3              | 5,1              | 8,670         | 10,10          | 17,170        | 15,20          | 25,840        |
| 4              | 5,5              | 9,350         | 11,00          | 18,700        | 16,51          | 28,067        |
| 5              | 5,86             | 9,962         | 11,70          | 19,890        | 17,59          | 29,903        |
| 6              | 6,2              | 10,540        | 12,32          | 20,944        | 18,49          | 31,433        |
| 7              | 6,4              | 10,880        | 12,80          | 21,760        | 19,20          | 32,64         |
| 8              | 6,5              | 11,050        | 13,17          | 22,389        | 19,75          | 33,575        |
| 9              | 6,7              | 11,390        | 13,50          | 22,950        | 20,28          | 34,476        |
| 10             | 6,9              | 11,730        | 13,80          | 23,460        | 20,77          | 35,309        |
| 11             | 7,0              | 11,900        | 14,10          | 23,970        | 21,22          | 36,074        |
| 12             | 7,2              | 12,240        | 14,40          | 24,480        | 21,65          | 36,805        |
| 13             | 7,4              | 12,580        | 14,76          | 25,092        | 22,14          | 37,638        |
| 14             | 7,5              | 12,750        | 14,95          | 25,415        | 22,42          | 38,114        |
| 15             | 7,6              | 12,920        | 15,19          | 25,823        | 22,79          | 38,743        |
| 16             | 7,7              | 13,090        | 15,42          | 26,214        | 23,13          | 39,321        |
| 17             | 7,8              | 13,260        | 15,65          | 26,605        | 23,48          | 39,916        |
| 18             | 7,9              | 13,430        | 15,95          | 27,115        | 23,93          | 40,681        |
| 19             | 8,1              | 13,770        | 16,23          | 27,591        | 24,35          | 41,395        |

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Новицкая М. П. Коэффициент конвективного теплообмена на поверхности здания. Анализ исследований. *Промышленная теплотехника*. 2013. Т. 35, №1. С. 55–61.
2. Юдаев Б. Н., Михайлов М. С., Савин В. К. Теплообмен при взаимодействии струй с преградами. Москва: Машиностроение, 1977. 248 с.
3. Маляренко В. А., Барсуков В. А. Обобщенная методика расчета коэффициентов теплоотдачи в камерах регенеративного отбора паровых турбин. *Энергетическое машиностроение*. 1980. Вып. 30. С.74–83.
4. Шляжас Р. Б. Турбулентный перенос импульса и тепла в пограничном слое за препятствием : автореф. дис... канд. техн. наук. Каунас : ин-т ФТПЭ, 1982. 17 с.
5. Чжен П. Отрывные течения. Т. 2. Москва : Мир, 1973. 280 с.
6. Isyumov N., Davenport A. G. The Group Level Wind Environment in Build-Up Areas. In Proceedings of the Fourth International Conference on Wind Effect on Building and Structures. London : Cambridge University Press, 1976. Pp. 403–422.
7. Реттер Э. И. Аэродинамическая характеристика промышленных зданий. Челябинск : УФАСиА СССР, 1959. 231 с.
8. ДСТУ 3992-2000. Кліматологія. Терміни та визначення основних понять. Київ : Держстандарт, 1994. 78 с.
9. Голощанов В. Н., Маляренко В. А., Орлова Н. А. Условия однозначности в задачах управления тепловым режимом зданий. *Коммунальное хозяйство городов*. 2006. № 74. С. 344–349.

## REFERENCES

1. Novitskaya M.P. *Koeffitsient konvektivnogo teploobmena na poverhnosti zdaniya. Analiz issledovaniy* [Convective heat transfer coefficient on the building surface. Research analysis]. *Promyshlennaya teplotekhnika* [Industrial heating technology]. 2013, vol. 35, no. 1, pp. 55–61. (in Russian)
2. Yudaev B.N., Mihaylov M.S. and Savin V.K. *Teploobmen pri vzaimodeystvii struy s pregradami* [Heat transfer during interaction of jets with obstacles]. Moscow : Mashinostroenie Publ., 1977, 248 p. (in Russian)
3. Malyarenko V.A. and Barsukov V.A. *Obobshchennaya metodika rascheta koeffitsientov teplootdachi v kamerah regenerativnogo otbora parovyih turbin* [Generalized method for calculating heat transfer coefficients in regenerative extraction chambers of steam turbines]. *Energeticheskoe mashinostroenie* [Energy Mechanical Engineering]. 1980, no. 30, pp.74–83. (in Russian)

4. Shlyazhas R.B. *Turbulentnyiy perenos impulsa i tepla v pogranychnom sloe za prepyatstviem : avtoref. dis.... kand. tehn. nauk* [Turbulent transfer of momentum and heat in the boundary layer behind an obstacle : abstract of Candidate of Technical Sciences]. Kaunas : In-t FTPE Publ., 1982, 17 p. (in Russian)
5. Chzhen P. *Otryivnyie techeniya* [Separation currents]. Vol. 2. Moskow : Mir Publ., 1973, 280 p. (in Russian)
6. Isyumov N. and Davenport A.G. The Group Level Wind Environment in Build-Up Areas. In Proceedings of the Fourth International Conference on Wind Effect on Building and Structures. London : Cambridge University Press, 1976, pp. 403–422.
7. Retter E.I. *Aerodinamicheskaya harakteristika promyshlennyih zdaniy* [Aerodynamic characteristics of industrial buildings]. Chelyabinsk : UFASiA USSR Publ., 1959, 231 p. (in Russian)
8. DSTU 3992-2000. *Klimatologiya. Termini ta viznachennya osnovnih ponyat* [SSTC 3992-2000. Climatology. Terms and definitions of basic understand]. Kyiv : Derzhstandart Publ., 1994, 78 p. (in Ukrainian)
9. Goloschapov V.N., Malyarenko V.A. and Orlova N.A. *Usloviya jednoznachnosti v zadachah upravleniya teplovyim rezhimom zdaniy* [Conditions of unambiguity in problems of management of a thermal mode of buildings]. *Kommunalnoe hozyaystvo gorodov* [Municipal utilities]. 2006, no. 74, pp. 344–349. (in Russian)

Надійшла до редакції: 03.11.2020.