

Д. В. ЗАЙЦЕВ, Г. А. БАЛАСАНИАН, О. А. КЛИМЧУК

## ВПЛИВ ТЕПЛОВОЇ ІЗОЛЯЦІЇ НА АКУМУЛЮЮЧИ ВЛАСТИВОСТІ БУДІВЕЛЬ

**АНОТАЦІЯ** В статті розглядаються методи визначення кількісної залежності показника акумулюючої здатності будівлі, від параметрів зовнішньої і внутрішньої теплової ізоляції огорожувальних конструкцій будівлі. Впровадження енергозберігаючих технологій, зокрема термомодернізації будівель на основі теплоізоляції зовнішніх, або внутрішніх поверхонь стін, істотно впливає на акумулюючі властивості будівлі і, відповідно, вимагає врахування при проектуванні та експлуатації систем опалення. Тепловий баланс будівель, як відомо, визначається втратою тепла через огорожувальні конструкції і виділенням тепла всередині будівлі, яке, в основному, залежить від поточної теплової потужності системи опалення. Динаміка температури повітря всередині приміщення, при зміні теплового балансу будівлі, багато в чому залежить від акумулюючих властивостей будівлі.

**Ключові слова:** термомодернізація, теплообмін, теплоємність, коефіцієнт теплопередачі, термічний опір, коефіцієнт тепловіддачі, температура.

D. V. ZAITSEV, G. A. BALASANIAN, A. A. KLIMCHUK

## INFLUENCE OF THE THERMAL INSULATION ON THE ACCUMULATING PROPERTIES OF BUILDINGS

**ABSTRACT** This scientific paper gives consideration to the methods of determination of the quantitative dependence of the index of accumulating capacity of a building on the parameters of external and internal heat insulation of the frame fillings of buildings. Introduction of energy-saving technologies, in particular the thermal modernization of buildings on the basis of heat insulation of external and internal walls significantly affects the accumulating properties of buildings and requires to take this fact into consideration when designing and maintaining heating systems. It is known that the heat balance of buildings is defined by the loss of heat through the frame fillings and the emission of heat inside the building that mainly depends on the current heat power of heating system. Air temperature dynamics inside the building depends in many respects on the accumulating properties of a building.

**Key words:** thermomodernization, heat exchange, heat capacity, heat transfer coefficient, thermal resistance, heat emission coefficient, and the temperature.

### Вступ

Тепловий баланс будівель, як відомо, визначається втратою тепла через огорожувальні конструкції і виділенням тепла всередині будівлі, яке, в основному, залежить від поточної теплової потужності системи опалення.

Динаміка температури повітря всередині приміщення, при зміні теплового балансу будівлі, багато в чому залежить від акумулюючих властивостей будівлі.

### Мета роботи

Визначення кількісної залежності показника акумулюючої здатності будівлі від параметрів зовнішньої і внутрішньої теплової ізоляції огорожувальних конструкцій будівлі.

### Виклад основного матеріалу

Динаміка зміни температури повітря  $t_B$  в приміщенні описується відомими в літературі диференціальними рівняннями виду

$$T_B C_B \frac{\partial t_B}{\partial t} + t_B = kW_0 + T_3 C_3 \frac{\partial t_3}{\partial t} + t_3, \quad (1)$$

де  $t_B, t_3$  – відповідно температура внутрішнього і зовнішнього повітря;  $T_B, T_3$  – відповідно постійні часу диференціювання для температури внутрішнього і зовнішнього повітря, які при виведенні рівняння приймають рівними  $T_B = T_3$ ;  $k$  – коефіцієнт передачі по каналу «потужність системи опалення – температура внутрішнього повітря»;  $W_0$  – потужність системи опалення.

У літературі широко відома модель Соколова (2), відповідно до термінології якого, постійну часу  $T_B$  називають коефіцієнтом теплової акумуляції будівлі, значення якого визначаються теплофізичними параметрами будівлі

$$T_B = \frac{c \gamma F S}{2q_0 V}, \quad (2)$$

де  $c$  – теплоємність матеріалу огорожувальних конструкцій будівлі;  $\gamma$  – щільність матеріалу огорожувальних конструкцій будівлі;  $F$  – площа огорожувальних конструкцій будівлі;  $S$  – товщина огорожувальних конструкцій будівлі;  $V$  – зовнішній об'єм огорожувальних конструкцій будівлі;  $q_0$  – питома тепла характеристика будівлі.

Відповідно до (2), Соколов запропонував вважати середню температуру зовнішньої стіни будівлі рівній напівсумі температур внутрішнього

і зовнішнього повітря. Разом з тим, ця величина може бути визначена значно точніше, якщо детальніше врахувати розподіл температури по товщині огорожі (3), а також зміна розподілу температури при нанесенні зовнішньої або внутрішньої ізоляції, це відображено на (рис. 1).

Корекція постійної часу  $T_B$  при наявності ізоляції визначається як зміною розподілу температури всередині стіни, так і зміною питомої теп-

лової характеристики будівлі  $q_0$ . Тоді нове значення  $T_B$  можна представити у вигляді

$$T_B^{i3} = T_B K_t K_q, \quad (3)$$

де  $K_t, K_q$  – відповідно коефіцієнти корекції постійної часу за розподілом температури в стіні і теплової характеристики будівлі.

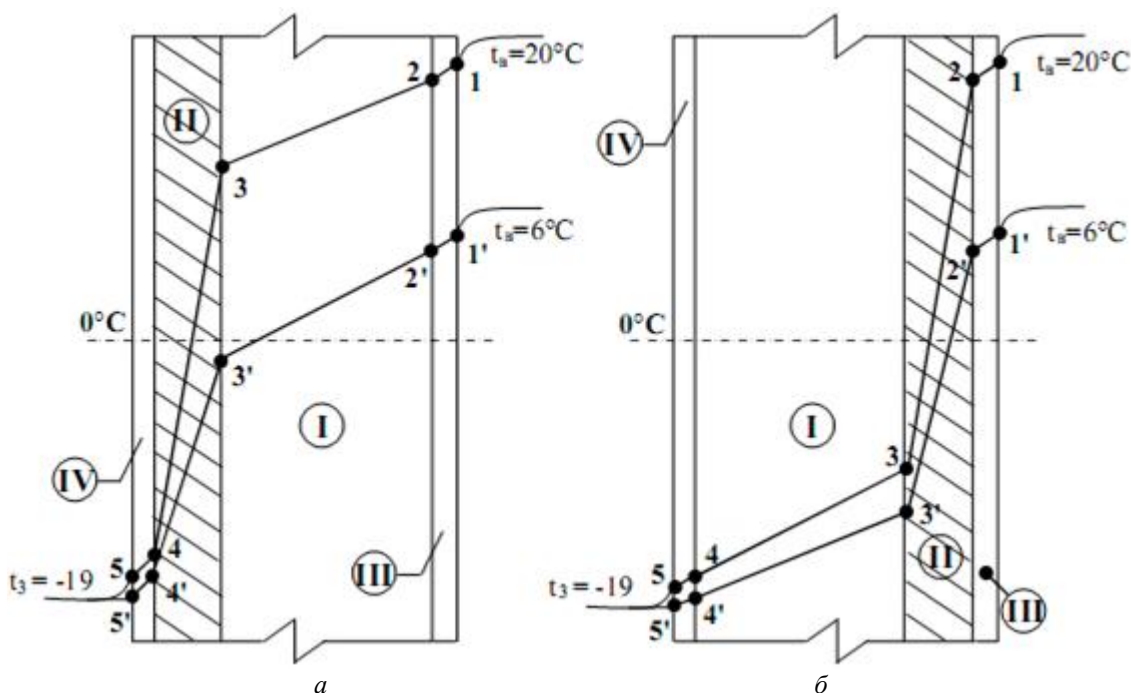


Рис. 1 – Розподіл температур в товщі ізолюваної конструкції:

*a* – шар теплової ізоляції із зовнішньої сторони; *б* – шар теплової ізоляції із внутрішньої сторони:  
I – стіна; II – ізоляція; III – штукатурка внутрішня; IV – штукатурка зовнішня

Розглянемо спочатку значення коефіцієнта корекції  $K_t^{30B}$  для випадку з зовнішньою ізоляцією. Виходячи з геометричних побудов (рис. 1а), зміна положення точки середньої температури стіни в порівнянні з варіантом без ізоляції має вигляд

$$K_t^{30B} = 1 + \frac{R_{i3}}{R_S^{i3}} + \frac{2}{R_S^{i3}} \frac{\alpha_1}{\alpha_3} - \frac{1}{a_{BH}} \frac{\delta}{\delta}, \quad (4)$$

де  $R_{i3}$  – термічний опір ізоляції;  $R_S^{i3}$  – повний термічний опір огорожувальної конструкції з зовнішньою ізоляцією, рівний

$$R_S^{i3} = \frac{s_{CT}}{l_{CT}} + \frac{s_{i3}}{l_{i3}} + \frac{1}{a_3} + \frac{1}{a_{BH}}, \quad (5)$$

де  $l_{CT}, l_{i3}$  – відповідно теплопровідність матеріалу стінки ізоляції;  $s_{CT}, s_{i3}$  – відповідно товщина стіни та ізоляції;  $a_3, a_{BH}$  – відповідно коефіцієнти тепловіддачі зовнішньої і внутрішньої поверхні огорожувальної конструкції повітря.

Аналогічно отримуємо значення коефіцієнта корекції  $K_t^{BH}$  для випадку з внутрішньою ізоляцією (рис. 1б)

$$K_t^{BH} = 1 - \frac{R_{i3,BH}}{R_S^{i3}} + \frac{2}{R_S^{i3}} \frac{\alpha_1}{\alpha_3} - \frac{1}{a_{BH}} \frac{\delta}{\delta}. \quad (6)$$

Значення коефіцієнта корекції постійної часу внаслідок зміни теплової характеристики будівлі  $K_q$  для зовнішньої і внутрішньої ізоляцій однакові і, відповідно, визначаються виразом

$$K_q^{30B} = K_q^{BH} = \frac{R_S^{i3}}{R_S^{\delta,i3}}, \quad (7)$$

де  $R_S^{\delta,i3}$  – повне термічний опір огорожувальної конструкції без ізоляції, рівний

$$R_S^{\delta,i3} = \frac{s_{CT}}{l_{CT}} + \frac{1}{a_3} + \frac{1}{a_{BH}}. \quad (8)$$

Використовуючи вирази (3), (4) і (7), отримуємо вираз для постійної часу з зовнішньої ізоляцією

$$T_B^{i3.30B} = T_B \frac{\dot{e}}{\dot{e}} + \frac{R_{i3.30B}}{R_S^{i3}} + \frac{2}{R_S^{i3}} \frac{\alpha_1}{\epsilon a_3} - \frac{1}{a_{вн}} \frac{\ddot{u}}{\dot{u}} \frac{R_S^{i3}}{R_S^{6.13}} \quad (9)$$

Виконавши перетворення

$$T_B^{i3.30B} = T_B \frac{1}{R_S^{i3}}$$

$$\left( \frac{\dot{e}}{\dot{e}} (R_S^{6.13} + R_{i3.30B}) + R_{i3.30B} + 2 \frac{\alpha_1}{\epsilon a_3} - \frac{1}{a_{вн}} \frac{\ddot{u}}{\dot{u}} \frac{R_S^{i3}}{R_S^{6.13}} \right)$$

і скорочення, остаточно отримуємо

$$T_B^{i3.30B} = T_B \frac{\dot{e}}{\dot{e}} + \frac{2R_{i3.30B}}{R_S^{6.13}} + \frac{2}{R_S^{6.13}} \frac{\alpha_1}{\epsilon a_3} - \frac{1}{a_{вн}} \frac{\ddot{u}}{\dot{u}} \quad (10)$$

$$T_B^{i3.30B+BH} = T_B \frac{\dot{e}}{\dot{e}} + \frac{2R_{i3.30B}}{R_S^{6.13}} + \frac{2}{R_S^{6.13}} \frac{\alpha_1}{\epsilon a_3} - \frac{1}{a_{вн}} \frac{\ddot{u}}{\dot{u}} \frac{\dot{e}}{\dot{e}} + \frac{2}{R_S^{6.13}} \frac{\alpha_1}{\epsilon a_3} - \frac{1}{a_{вн}} \frac{\ddot{u}}{\dot{u}}$$

Після відповідних перетворень остаточно отримаємо

$$T_B^{i3.30B+BH} = T_B \frac{\dot{e}}{\dot{e}} \frac{2R_{i3.30B}}{R_S^{6.13}} \frac{\alpha_1}{\epsilon} + \frac{2}{R_S^{6.13}} \frac{\alpha_1}{\epsilon a_3} - \frac{1}{a_{вн}} \frac{\ddot{u}}{\dot{u}} \frac{\alpha_1}{\epsilon} + \frac{2}{R_S^{6.13}} \frac{\alpha_1}{\epsilon a_3} - \frac{1}{a_{вн}} \frac{\ddot{u}}{\dot{u}} \quad (13)$$

### Обговорення результатів

Аналіз виразів (10), (12) і (13) показує, що використання теплоізоляції для термомодернізації будівель в значній мірі впливає на акумулюючу здатність будівлі.

Однак, нанесення внутрішньої ізоляції (12), при рівності  $a_3$  і  $a_{вн}$ , фактично не впливає на акумулюючу здатність будівлі, але пропорційно знижує питому теплову характеристику будівлі  $q_0$ , що дає додатковий резерв теплової потужності системи опалення для прискорення режиму прогріву будівлі.

Нанесення зовнішньої ізоляції (10) значно збільшує акумулюючу спроможність будівлі. Так, при термічному опорі ізоляції, рівному опору огорожувальної конструкції, значення  $T_B$  зростає в 3 рази, проте зниження питомої теплової характеристики будівлі  $q_0$  також дає додатковий резерв теплової потужності системи опалення для прискорення режиму прогріву будівлі, а значна акумулююча здатність зменшує амплітуду температури повітря  $t_B$  при порушенні теплового балансу.

Нанесення одночасно зовнішньої і внутрішньої ізоляції дає проміжний ефект зміни акумулюючої здатності будівлі щодо двох попередніх варіантів.

### Висновки

1 Запропоновано аналітичні залежності, що дозволяють оцінити зміну акумулюючої здатності

Аналогічно отримуємо вираз для постійної часу з внутрішньою ізоляцією

$$T_B^{i3.BH} = T_B \frac{\dot{e}}{\dot{e}} - \frac{R_{i3.30B}}{R_S^{i3}} + \frac{2}{R_S^{i3}} \frac{\alpha_1}{\epsilon a_3} - \frac{1}{a_{вн}} \frac{\ddot{u}}{\dot{u}} \frac{R_S^{i3}}{R_S^{6.13}} \quad (11)$$

Після відповідних перетворень остаточно отримаємо

$$T_B^{i3.BH} = T_B \frac{\dot{e}}{\dot{e}} + \frac{2}{R_S^{6.13}} \frac{\alpha_1}{\epsilon a_3} - \frac{1}{a_{вн}} \frac{\ddot{u}}{\dot{u}} \quad (12)$$

Для випадку використання як зовнішньої, так і внутрішньої ізоляції, отримаємо комбінацію відповідних коефіцієнтів корекції з виразів (10) і (12)

будівлі при різних варіантах термомодернізації будівлі.

2 Використання зовнішньої теплоізоляції будівлі краще для режимів цілодобового опалення, характерних для житлових приміщень.

3 Внутрішню теплоізоляцію ефективніше використовувати для офісних, і аналогічних їм будівель, для реалізації режиму переривчастого опалення з відключенням його в неробочий час і відповідним форсованим опаленням перед робочим часом

### Список літератури

- 1 **Соколов, Е. Я.** Теплофикация и тепловые сети: учебник для вузов [Текст] / **Е. Я. Соколов.** – 6-е изд., перераб. – М.: Изд-во МЭИ, 1999. – 472 с.
- 2 **Исаченко, В. П.** Теплопередача [Текст] / **В. П. Исаченко, В. А. Осипова, А. С. Сукомел.** – М.: Энергия, 1975. – 423 с.
- 3 **Титар, С. С.** Системы энергопостачання промислових підприємств [Текст] / **С. С. Титар.** – Одеса: Изд-во <sup>2</sup>БАХВА<sup>2</sup>, 2002. – 356 с.
- 4 **Панферов, В. И.** Моделирование и управление тепловым режимом здания [Текст] / **В. И. Панферов, А. Н. Нагорная, Е. Ю. Пашнина** // Теоретические основы теплогазоснабжения и вентиляции: Сб. трудов Межд. научно-техн. конф. – М.: Московский государственный строительный университет, 2005. – № 20. – 280 с.
- 5 **Юркевич, Ю. С.** Оптимізація теплового режиму захищення під час чергового опалення в приміщенні [Текст] / **Ю. С. Юркевич, О. О. Савченко.** – Львів: Національний університет «Львівська політехніка», 2010. – 280 с.

**Bibliography (transliterated)**

- 1 **Sokolov, E. Y.** (1999), *Teplofikacija i teplovyje seti: uchebnyk dlja vuzov* [District heating and heat networks: a textbook for high schools], Moscow Power Engineering Institute, Moscow, Russia.
- 2 **Isachenko, V. P., Osipova, V. A. and Sukomel, A. S.** (1975), *Teploperedacha* [Heat transfer], Energy, Moscow, Russia.
- 3 **Tytar, S. S.** (2002), *Sistemy energopostachannja promyslovyh pidprijemstv* [Power supply systems of industrial enterprises], <sup>2</sup>БАХВА<sup>2</sup>, Odessa, Ukraine.
- 4 **Panferov, V. I., Sermon, A. N. and Pashnina, E. Y.** (2005), <sup>2</sup>Modelirovanie i upravlenie teplovym rezhimom zdanija [Modeling and control of thermal regime of the building]<sup>2</sup>, *Teoreticheskie osnovy teplogazosnabzhenija i ventiljacii : Sb. trudov Mezhd. nauchno-tehn. konf.* [The theoretical foundations of heat and ventilation: Proceedings of the International scientific and technical conference], Moskovskij gosudarstvennyj stroitel'nyj universitet [Moscow State University of Civil Engineering], no. pp.
- 5 **Jurkiewicz, Y. S. and Savchenko, O. O.** (2010), *Optimizacija teplovogo rezhymu zahyshhennja pid chas chergovogo opalennja v prymishhenni* [Optimization of heat treatment reserved during the next heating indoors], National University <sup>2</sup>Львівська політехніка<sup>2</sup>, Lvov, Ukraine.

**Відомості про авторів (About authors)**

**Зайцев Дмитро Володимирович** – аспірант, асистент кафедри теплових електричних станцій та енергозберігаючих технологій, Одеський національний політехнічний університет, г. Одеса, Україна; e-mail: [zaitsev\\_d\\_v@mail.ua](mailto:zaitsev_d_v@mail.ua).

**Zaitsev Dmitry** – graduate student, Assistant, Department of heat power stations and energy-saving technologies, Odessa National Polytechnic University, Odessa, Ukraine.

**Баласанян Геннадій Альбертович** – доктор технічних наук; професор кафедри теплових електричних станцій та енергозберігаючих технологій, Одеського національного політехнічного університету, г. Одеса, Україна; e-mail: [bageal@rambler.ru](mailto:bageal@rambler.ru).

**Balasanian Gennady** – Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of heat power stations and energy-saving technologies, Odessa National Polytechnic University, Odessa, Ukraine.

**Климчук Олександр Андрійович** – кандидат технічних наук, доцент кафедри теплових електричних станцій та енергозберігаючих технологій, Одеський національний політехнічний університету, г. Одеса, Україна; e-mail: [aklimchuk74@rambler.ru](mailto:aklimchuk74@rambler.ru).

**Klimchuk Alexander** – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Department of heat power stations and energy-saving technologies, Odessa National Polytechnic University, Odessa, Ukraine.

*Будь ласка посилайтесь на цю статтю наступним чином:*

**Зайцев, Д. В.** Влияние тепловой изоляции на аккумуляющие свойства зданий [Текст] / **Д. В. Зайцев, Г. А. Баласанян, О. А. Климчук** // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування. – Харків : НТУ «ХПІ», 2016. – № 10(1182). – С. 171–174. – Бібліогр.: 5 назв. – ISSN 2078-774X. – doi: 10.20998/2078-774X.2016.10.26.

*Please cite this article as:*

**Zaitsev, D., Balasanian, G. and Klimchuk, A.** (2016), <sup>2</sup>Influence of the Thermal Insulation on the Accumulating Properties of Buildings<sup>2</sup>, *Bulletin of NTU "KhPI". Series: Power and heat engineering processes and equipment*, no. 10(1182), pp. 171–174, ISSN 2078-774X, doi: 10.20998/2078-774X.2016.10.26.

*Пожалуйста ссылайтесь на эту статью следующим образом:*

**Зайцев, Д. В.** Влияние тепловой изоляции на аккумуляющие свойства зданий [Текст] / **Д. В. Зайцев, Г. А. Баласанян, О. А. Климчук** // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування. – Харків : НТУ «ХПІ», 2016. – № 10(1182). – С. 171–174. – Бібліогр.: 5 назв. – ISSN 2078-774X. – doi: 10.20998/2078-774X.2016.10.26.

**АННОТАЦИЯ** В статье рассматриваются методы определения количественной зависимости показателя аккумуляющей способности здания, от параметров внешней и внутренней тепловой изоляции ограждающих конструкций здания. Внедрение энергосберегающих технологий, в частности термомодернизации зданий на основе теплоизоляции наружных или внутренних поверхностей стен, существенно влияет на аккумуляющие свойства здания и, соответственно, требует учета при проектировании и эксплуатации систем отопления. Тепловой баланс здания, как известно, определяется потерей тепла через ограждающие конструкции и выделением тепла внутри здания, которое, в основном, зависит от текущей тепловой мощности системы отопления. Динамика температуры воздуха внутри помещения, при изменении теплового баланса здания, во многом зависит от аккумуляющих свойств здания.

**Ключевые слова:** термомодернизация, теплообмен, теплоёмкость, коэффициент теплопередачи, термическое сопротивление, коэффициент теплоотдачи, температура.

Надійшла (received) 08.01.2016