



УДК 697.34

DOI: 10.31388/2220-8674-2019-1-11

ВИЗНАЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ БАГАТОПОВЕРХОВОГО ЖИТЛОВОГО БУДИНКУ З УРАХУВАННЯМ НЕРІВНОМІРНОСТІ ПІДВЕДЕННЯ ТЕПЛОТИ ДО ПРИМІЩЕНЬ ТА НЕСИСТЕМНИХ УТЕПЛЕНЬ

Ганжа А. М., д. т. н.,

<https://orcid.org/0000-0003-3967-2421>

Марченко Н. А., к. т. н.,

<https://orcid.org/0000-0001-9889-3713>

Семененко Л. В., аспірант*

*Національний технічний університет**"Харківський політехнічний інститут"*

e-mail: e-mail ganzha_371@ukr.net

Анотація – розроблено уточнену методику для визначення фактичної теплової продуктивності, ефективності опалювальних приладів, системи опалення багатоповерхового будинку в цілому з урахуванням нерівномірності розподілу параметрів теплоносія і внутрішнього повітря, а також здійснених переробок та несистемних утеплень. Проведено аналіз ефективності системи теплопостачання будівлі з урахуванням фактичного стану системи опалення та огорожувальних конструкцій. Використання розроблених методик та комплексів алгоритмів допоможе більш точно розраховувати системи опалення на етапі проектування, визначити ефективність і перевитрати теплової енергії в процесі експлуатації та зменшити їх, розробити рекомендації з поліпшення забезпечення тепловою енергією споживачів.

Ключові слова: теплопостачання, опалення, багатоповерховий будинок, утеплення, ефективність

Постановка проблеми. Сучасний стан будівель і споруд, що споживають теплову енергію, незадовільний, вони потребують масової термомодернізації і реконструкції. Все це викликає нарікання у споживачів теплоти, особливо, коли вартість природного газу зросла до майже 11000 грн. за тис. куб.м. і значно зросли тарифи на теплову і електричну енергію. У даний час розпочалася сертифікація житлових будинків на предмет їх енергетичної ефективності. Тому розроблення методів і засобів ідентифікації ефективності теплопостачання житлових багатоповерхових будинків є актуальною задачею.

Аналіз останніх досліджень. На даний час у системах опалення будинків, які побудовані до початку 90-х років на території України, широко поширені схеми, де застосовуються стандартні прилади опалення: радіатори, конвектори типу "Акорд" чи "Комфорт" та ін.

(див. рис. 1) [1]. Схема подачі теплоносія по стояку в основному "зверху-униз" (див. рис. 2 а). Однак зустрічаються також менш ефективна схема подачі "знизу-уверх" (див. рис. 2 б). При цьому в основному застосовується якісне регулювання подачі теплоти споживачам, що має на увазі регулювання температури теплоносія, який подається, на джерелі тепlopостачання при постійній витраті теплоносія [2].

У проектних розрахунках систем опалення прилади підбиралися виходячи з теплового навантаження будинку з урахуванням навантажень приміщень. Однак, при проектуванні не завжди враховувалися розходження у температурах теплоносія на вході в кожен опалювальний прилад, тому що при подачі теплоносія по стояку однотрубної системи, наприклад, "униз", ця температура буде поступово зменшуватися від верхнього поверху до нижнього [3].

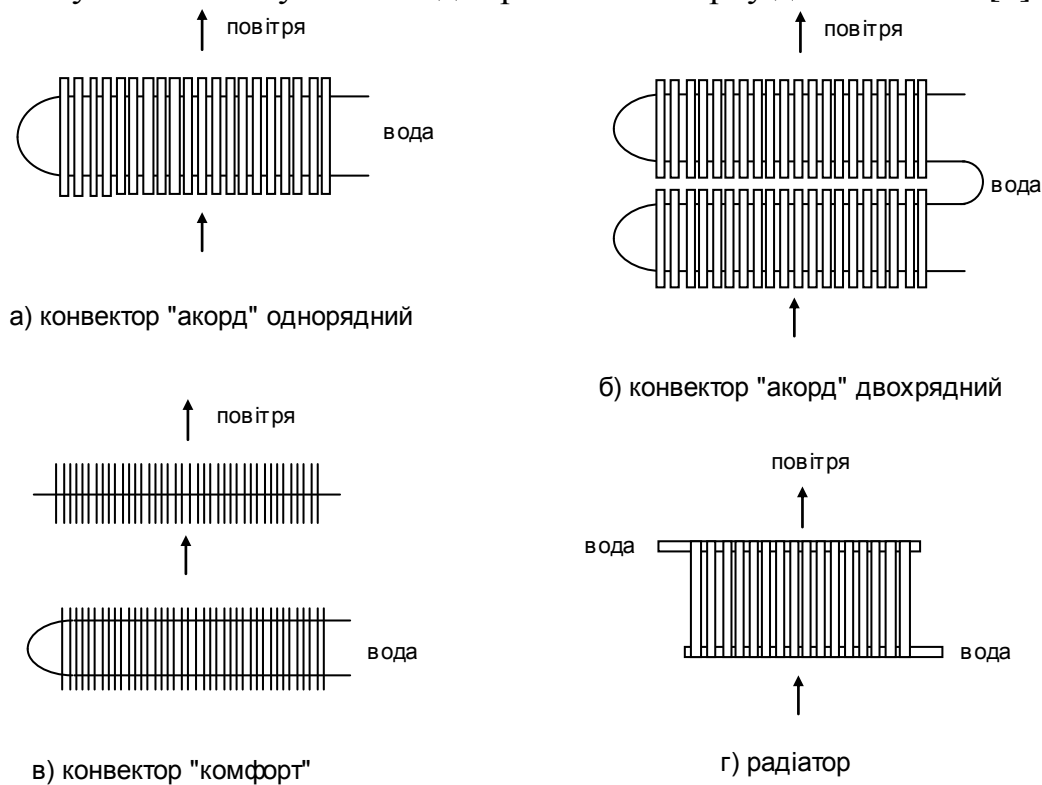
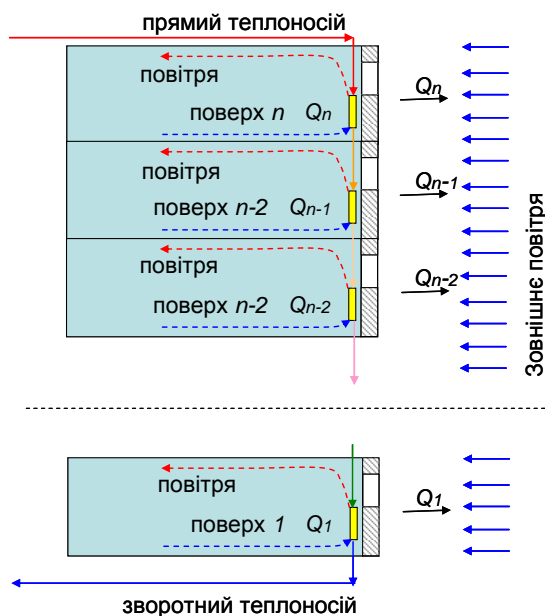


Рис. 1. Основні прилади системи опалення

Розходження в розташовуваній температурі теплоносія для кожного поверху буде приводити до розходжень теплової продуктивності опалювальних приладів і, отже, – розходженням температури повітря усередині приміщень кожного поверху по стояку. Це призводить до зниження якості тепlopостачання квартир, розташованих в основному на нижніх поверхах. Під час постійних перебоїв з постачаннями газу на початку 90-х років через погіршення

якості теплопостачання відбулися неконтрольовані переробки внутрішніх будинкових систем шляхом додавання приладів опалення в основному на нижніх поверхах. Крім того, у даний час відбувається масове несистемне (фрагментарне) утеплення зовнішньої поверхні огорожувальних конструкцій будівель. При поверненні до нормальних рівнів температур теплоносія на цих стояках відбувається перевитрата теплової енергії. При збільшенні витрати теплоносія по стояку в порівнянні з розрахунковим відбувається також перевитрата теплоти (перетоп) і збільшення температури усередині приміщень. Тому розроблення методів і засобів, які будуть враховувати всі ці фактори, дозволить поліпшити теплопостачання будинків, визначити та підвищити їх енергоефективність.

а)



б)

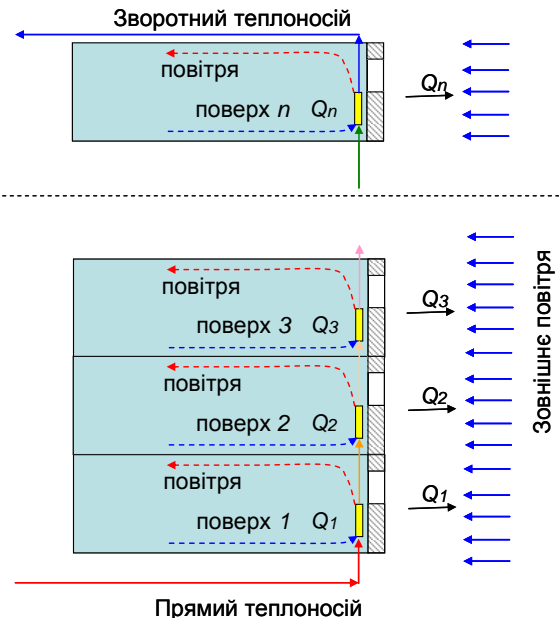


Рис. 2. Основні схеми подачі теплоносія по стояку

Формулювання цілей статті (постановка завдання). В роботі поставлена мета: розробити уточнену методика для визначення фактичної теплової продуктивності, ефективності опалювальних приладів, системи опалення та будинку в цілому з урахуванням нерівномірності розподілу параметрів теплоносія і внутрішнього повітря, а також здійснених переробок. Для досягнення поставленої мети необхідно:

- створити уточнені методи та засоби визначення фактичної ефективності опалювальних приладів та систем опалення з урахуванням неконтрольованих переробок;



- розробити уточнені методи та засоби визначення фактичної ефективності огорожувальних конструкцій з урахуванням несистемних утеплень;

- провести аналіз ефективності систем теплопостачання будівлі.

Основні матеріали дослідження (основна частина). При розрахунку теплової продуктивності системи опалення звичайно використовують залежність [2, 4, 5]

$$Q_o = \varepsilon \cdot W_M \cdot \nabla, \quad (1)$$

де Q_o – теплова продуктивність всієї системи (стояка);

W_G і W_M – більше і менше значення водяного еквівалента середовищ, що обмінюються теплотою;

∇ – максимальна різниця температур між середовищами (теплоносієм і повітрям на вході);

ε – безрозмірна питома теплова продуктивність. Традиційно для її визначення використовується відома емпірична формула Ю.Я. Соколова [2, 4, 5]

$$\varepsilon = \frac{1}{\frac{0,5 + \mu}{1 + \mu} + \frac{1}{\omega}}, \quad (2)$$

де ω – параметр, $\omega = \frac{K \cdot F}{W_M}$;

K і F – коефіцієнт теплопередачі і сумарна площа теплопередачі всіх опалювальних приладів стояка;

μ – коефіцієнт змішування в змішувальному пристрої (елеваторі).

Для подачі "знизу-уверх" використовується поправочний множник 0,7.

Ця формула справедлива для стояка системи опалення в цілому та водяному еквіваленті повітря у всіх приладах W_G значно більшому водяного еквівалента води W_M . Залежність не враховує нерівномірність розподілу температур теплоносія і повітря по поверхах. Використання її призводить до неточного визначення теплової продуктивності кожного опалювального приладу та неврахування розподілу теплопродуктивностей приладів по поверхам.



Для опалювальних приладів величина $(K \cdot F)$ визначається по узагальненій формулі [2, 4, 5]

$$k \cdot F = \Phi \cdot \left(\frac{Q_0'}{Q_0} \right)^{\frac{n}{1+n}}, \quad (3)$$

де Φ – параметр теплообмінника, величина постійна, $\Phi = 7,844 \cdot F_{\text{екм}}$;

$F_{\text{екм}}$ – число еквівалентних квадратних метрів опалювальних приладів. Еквівалентний квадратний метр – це площа нагрівального приладу, що віддає в 506 Вт (435 ккал/год), при середній різниці температури теплоносія і повітря 64,5 °С и витраті води через прилад 17 кг/год [1, 2];

Q_0' – розрахункова теплова продуктивність приладів опалення;

n – показник ступеня, $n=0,17 \div 0,33$; для радіаторів $n=0,25$; конвекторів $n=0,2$ [1, 2, 4, 5].

Теплова продуктивність окремого опалювального приладу, Вт, визначається по залежності

$$Q_0 = 506 \cdot F_{\text{екм}} \cdot \varphi_1, \quad (4)$$

де φ_1 – коефіцієнт, що враховує зміну температурного напору у опалювальному приладі. Графік надається у [1], який тотожний залежності

$$\varphi_1 = \left(\frac{\Delta t_{\text{сер}}}{64,5} \right)^{n+1}. \quad (5)$$

Розроблено уточнену методику розрахунку безрозмірної питомої теплової продуктивності опалювальної приладів – конвекторів типу "Акорд" чи "Комфорт" і радіаторів (див. рис. 1), що входить у загальний алгоритм розрахунку системи опалення.

Складено узагальнену розрахункову схему опалювального приладу, що відповідає узагальненій схемі дискретного розрахунку складного багатоходового теплообмінника зі змішаним плином [6].

Загальний алгоритм визначення ґрунтується на пошуку теплової продуктивності для приладу опалення на кожнім поверсі по стояку з ув'язуванням формул (1), (3) та (4). При цьому безрозмірна теплова



продуктивність приладу опалення розраховується не по залежності (2), а по створеному алгоритмі дискретного розрахунку. У систему рівнянь додатково входить зв'язок між розрахунковими і фактичними тепловими навантаженнями

$$\frac{Q_0}{Q_0'} = \frac{t_B - t_H}{t_B' - t_H'} \cdot \frac{K}{K'} \quad (6)$$

де t_B , t_H и t_B' , t_H' – фактичні і розрахункові температури внутрішнього і зовнішнього повітря;

k' , k – розрахунковий та фактичний еквівалентний коефіцієнти теплопередачі огорожувальної конструкції приміщення з урахуванням утеплення стіни та заміни вікон.

У результаті для кожного поверху визначається фактична теплова продуктивність приладу опалення і витрата циркулюючого повітря через нього. За допомогою цих параметрів визначається фактична температура повітря на виході з нагрівального приладу та усередині приміщення, температура теплоносія на виході. Вихідними даними є витрата і температура теплоносія на вході в систему опалення з температурного графіка, температура зовнішнього повітря, еквівалентний квадратний метр приладу опалення на кожному поверсі. Теплова продуктивність усієї системи визначається як сума продуктивностей усіх приладів.

Зроблено аналіз для стояка системи опалення 9 поверхового будинку з приладами опалення у виді однорядних конвекторів "Акорд" А20 із площею 1 кв.кв.м. на кожному поверсі і подачею теплоносія "униз". Розрахунок зроблений у двох варіантах: з розрахунковою витратою води через прилади за графіком якісного регулювання і перевищенням цієї витрати в 2 рази. Додатково зроблений розрахунок при заміні на 1 і 2 поверхах приладів опалення на дворядні конвектори "Акорд" 2А16 із площею 1,47 кв.кв.м. Температура зовнішнього повітря приймалася розрахункової для м. Харків -23°C , температура теплоносія на вході в систему опалення 95°C . Варіанти компонування стояка приведено на рис. 3, а результати розрахунків приведені на рис. 4.

З аналізу результатів видно, що в обох випадках існує нерівномірність розподілу теплових потоків по поверхах. У першому випадку тепловий потік на верхньому поверсі склав 564 Вт, на нижньому – 447 Вт. Температура внутрішнього повітря на нижніх

поверхах нижче нормативної. Теплове навантаження всього стояка та усереднена температура внутрішнього повітря по поверхах дорівнюють проектним значенням. У випадку перевищення витрати теплоносія в 2 рази тепловий потік на нижньому поверсі дорівнює проектному 506 Вт, а на верхньому – 569 Вт. Відповідно температура усередині приміщень на нижньому поверсі складає 18°C, а на верхньому 23°C. У цьому випадку перевитрата теплової енергії дорівнює 6 % від розрахункової витрати. У третьому випадку, коли існують неконтрольовані переробки, спостерігається велика нерівномірність розподілу температур по поверхах. Температура внутрішнього повітря на 1 і 2 поверсі збільшилася до 21÷23°C, хоча на 3 та 4 поверхах вона залишилася нижче норми. При цьому перевитрата теплової енергії склала 4 % від розрахункової витрати.

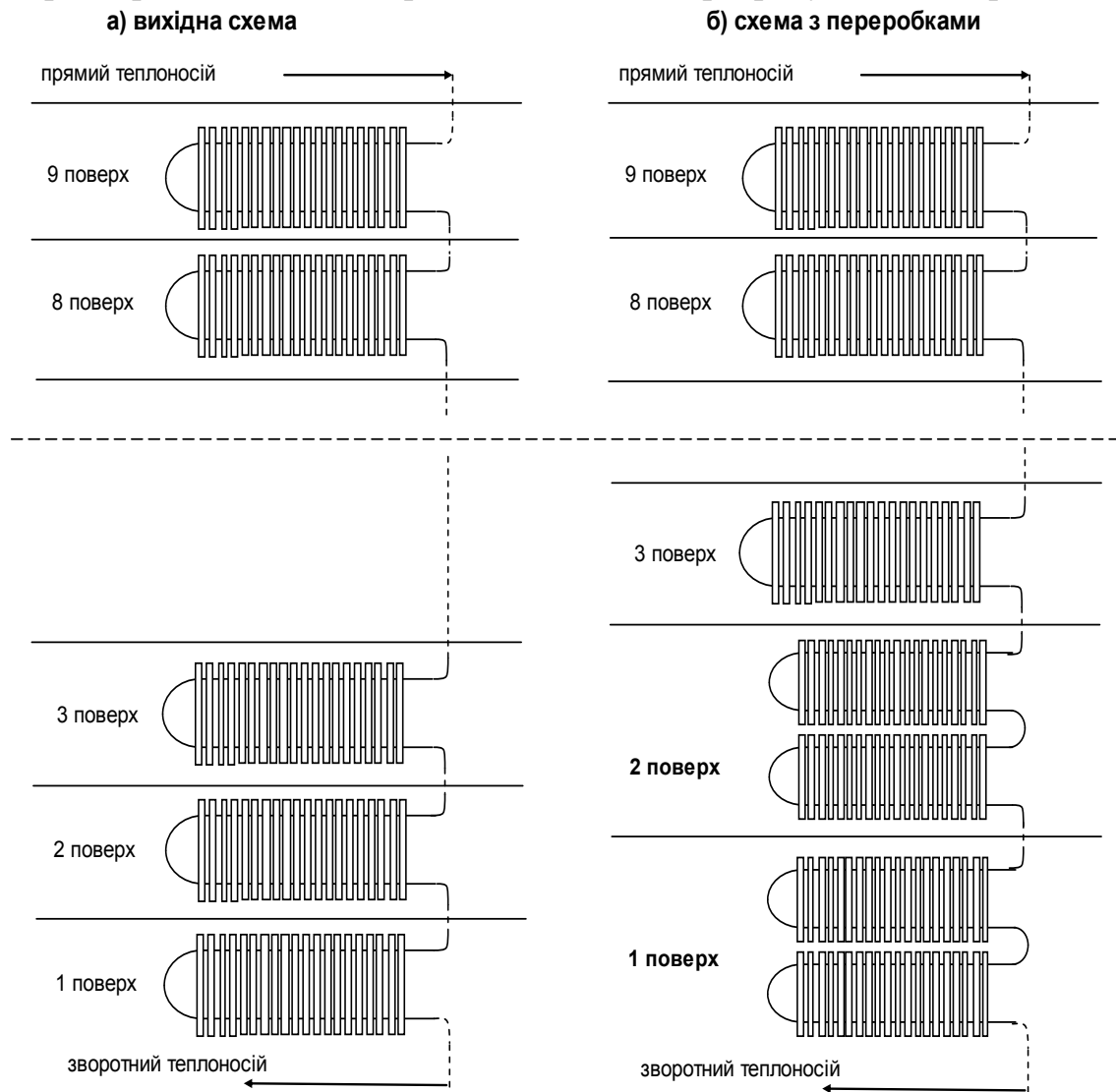


Рис. 3. Варіанти схем стояка у розрахунках

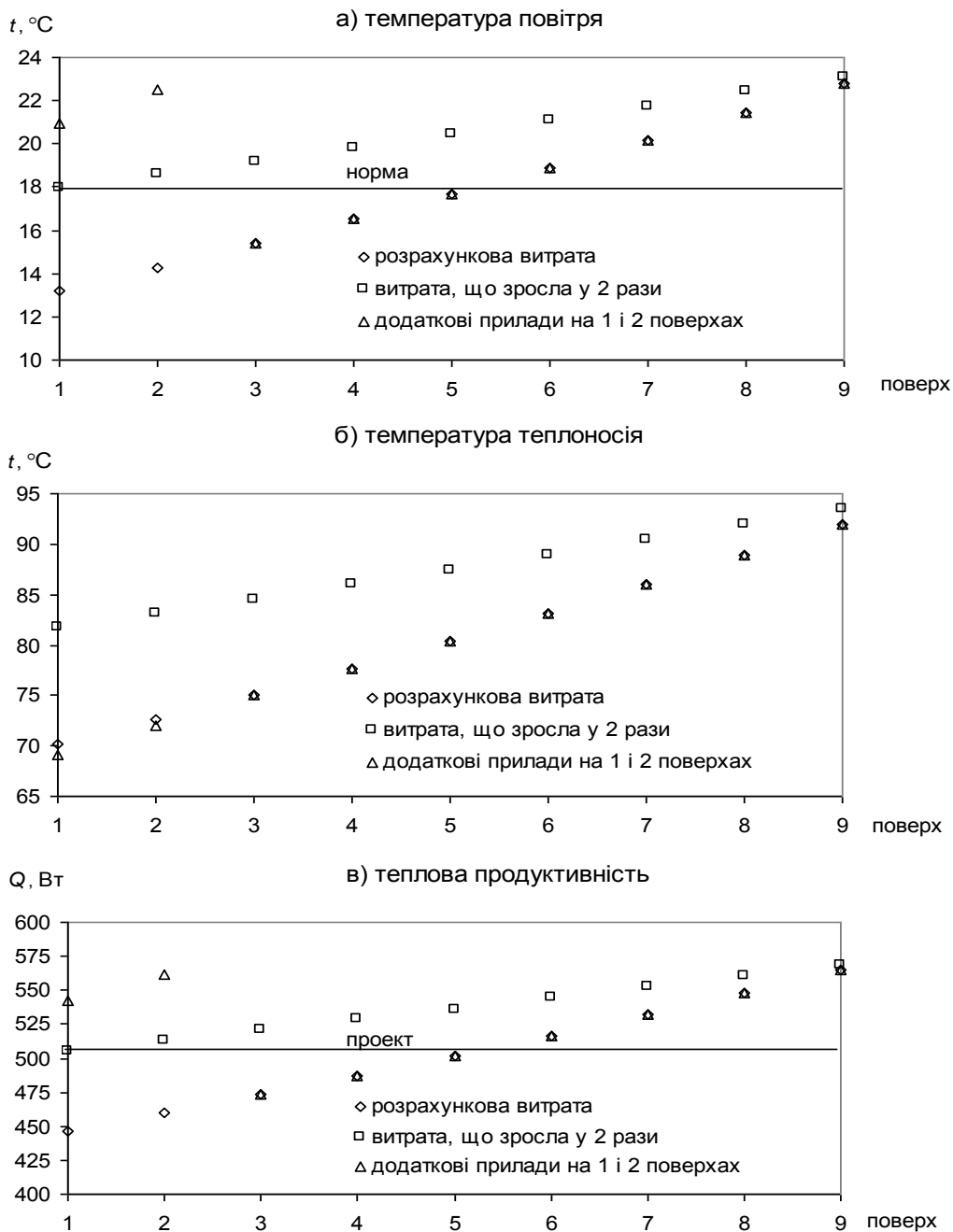


Рис. 4. Розподіл параметрів по поверхам стояка

Проведено математичне моделювання частково утепленої стіни огорожувальної конструкції з визначенням теплового потоку шляхом розв'язання тривимірного диференціального рівняння теплопровідності з завданням граничних умов II, III та IV роду та розподілом характеристик шару будівельних конструкцій та ізоляції. На рис. 5 приведений результат досліджень огорожувальної конструкції приміщення з вікном зі склопакету (має синій колір).

Проведено 2 варіанти розрахунку: коли всі суміжні приміщення утеплені (рис. 5 а), та коли утеплена тільки стіна, яка розглядається (рис. 5 б).

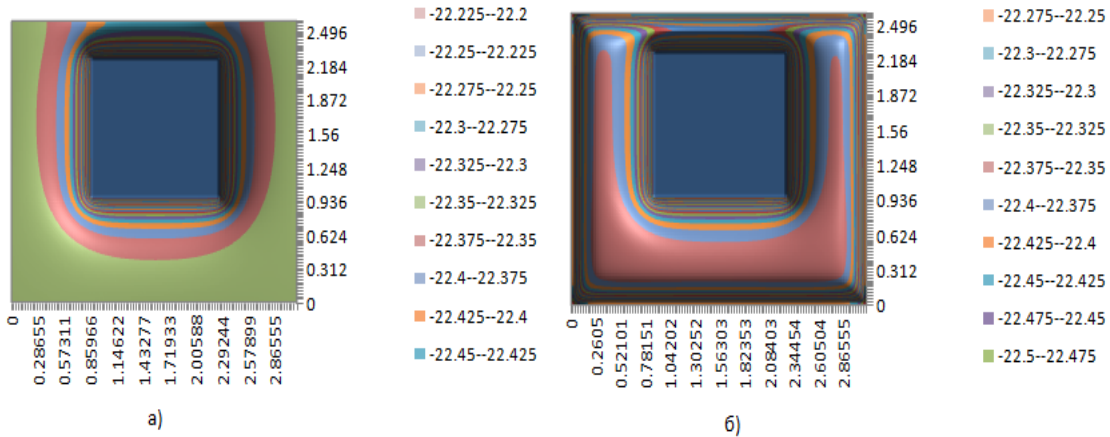


Рис. 5. Результати моделювання розподілу температур

У результаті збільшення теплового потоку (коефіцієнту теплопередачі k порівняно з k' у формулі (6) через стіну у варіанті б) порівняно з варіантом а) склало 11 %, а порівняно з одновимірним розрахунком (без врахування склопакету) – у 2 рази.

У подальшому згідно раніше розглянутій методиці розраховується перерозподіл внутрішньої температури у приміщеннях будинку та теплова ефективність всієї огорожувальної конструкції.

Висновок. Створено уточнену методику для визначення фактичної теплової продуктивності опалювальних приладів і системи опалення будівлі в цілому з урахуванням нерівномірності розподілу параметрів теплоносія і внутрішнього повітря, а також здійснених переробок та несистемних утеплень. За допомогою розробленої методики при проведенні енергетичного обстеження системи тепlopостачання можна визначити теплову продуктивність систем опалення, виявити місця і рівень перевитрати теплоти і неякісної її відпуску, а також виробити рекомендації з модернізації. Після деяких доробок можна врахувати й інші фактори: тепловіддачу від стояків усередину приміщень, порушення гідравлічного режиму в результаті переробок та ін.

Таким чином, використання розроблених методик та комплексів алгоритмів допоможе більш точно розраховувати системи опалення на етапі проектування, визначити ефективність і перевитрати теплової енергії в процесі експлуатації та зменшити їх, розробити рекомендації з поліпшення забезпечення тепловою енергією споживачів.



Список використаних джерел

1. Наладка и эксплуатация водяных тепловых сетей: справочник / В. И. Манюк и др. Москва: Стройиздат, 1988. 432 с.
2. Соколов Е. Я. Теплофикация и тепловые сети. Москва–Ленинград: Госэнергоиздат, 1963. 360 с.
3. Щекин Р. В., Березовский В.А., Потанов В. А. Расчет систем центрального отопления. Киев: Висшая школа, 1975. 214 с.
4. Теплотехнический справочник: в 2 т. / под ред. В. Н. Юренева, П. Д. Лебедева. Москва: Энергия, 1975. Т. 1. 744 с.
5. Промышленная теплоэнергетика и теплотехника / под ред. В. А. Григорьева и В. М. Зорина. Москва: Энергоатомиздат, 1983. 552 с.
6. Ганжа А. М., Марченко Н. А. Комп'ютерне моделювання процесів у складних теплообмінних апаратах. *Вестник Национального технического университета "Харьковский политехнический институт"*. Харьков, 2010. № 9. С. 113–120.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ МНОГОЭТАЖНЫХ ЖИЛЫХ ДОМОВ С УЧЕТОМ НЕРАВНОМЕРНОСТИ ПОДВОДА ТЕПЛОТЫ К ПОМЕЩЕНИЯМ И НЕСИСТЕМНОЙ УТЕПЛЕННЫЕ

Ганжа А. Н., Марченко Н. А., Семененко Л. В.

Аннотация - разработана уточненная методика для определения фактической тепловой производительности, эффективности отопительных приборов, системы отопления многоэтажного дома в целом с учетом неравномерности распределения параметров теплоносителя и внутреннего воздуха, а также совершенных переделок и несистемных утеплений. Проведен анализ эффективности системы теплоснабжения здания с учетом фактического состояния системы отопления и ограждающих конструкций. Использование разработанных методик и комплексов алгоритмов поможет более точно рассчитывать системы отопления на этапе проектирования, определить эффективность и перерасхода тепловой энергии в процессе эксплуатации и уменьшить их, разработать рекомендации по улучшению обеспечения тепловой энергией потребителей.

Ключевые слова: теплоснабжение, отопление, многоэтажный дом, утепление, эффективность.



DETERMINATION OF THE EFFICIENCY OF HEAT SUPPLY OF THE MULTIPURPOSE HOUSING BUILDING WITH ACCOUNTING OF INVERMABILITY OF HEAT CONDUCT TO PREMISES AND UNCERTAINTY FIXTURES

A. Ganzha, N. Marchenko, L. Semenenko

Summary

The refined method of calculation of heat supply efficiency of a multistory building with the account of uncontrolled alterations of the heating system and non-system warming is developed.

The generalized calculation scheme of the heating device is made, which corresponds to the generalized scheme of the discrete calculation of a complex multi-heat exchanger with a mixed flow. In this case, the dimensionless thermal performance of the heating device is calculated not by the empirical dependence, but on the created algorithm of discrete calculation. The system of equations additionally includes the connection between the calculated and actual thermal loads.

As a result, for each floor, the actual thermal performance of the heating device and the flow of circulating air through it are determined. With these parameters, the actual air temperature at the outlet from the heating device and inside the room, the temperature of the coolant at the outlet is determined. The starting data is the flow and temperature of the coolant at the inlet to the heating system from the temperature graph, the temperature of the outside air, the equivalent square meter of the heating device on each floor. The thermal performance of the entire system is defined as the sum of the performance of all devices.

The mathematical modeling of the partially insulated wall of the enclosing structure with the determination of the heat flow by solving the three-dimensional differential equation of heat conduction with the task of the boundary conditions of the II, III and IV genera and the distribution of the characteristics of the layer of building structures and insulation is carried out. As a result, an increase in the heat flow is calculated. In the future, the redistribution of internal temperature in the premises of the house and the thermal efficiency of the entire enclosure structure is calculated.

Summary of article. The use of developed techniques and algorithm complexes will help to more accurately calculate heating systems at the design stage, to determine the efficiency and over-consumption of thermal energy during operation and to reduce them, to develop recommendations for improving the provision of thermal energy for consumers.

Keywords: heat supply, heating, multistory building, insulation, efficiency