

16. Аналіз роботи господарства електрифікації та електропостачання в 2014 році. – К. Укрзалізниця, 2015. – 240 с.
17. Темербаев, С. А. Анализ качества электроэнергии в городских распределительных сетях 0,4 кВ. / С. А. Темербаев, Н. П. Боярская, В. П. Довгун, В. О. Колмаков.// Электронный ресурс, режим доступа: http://elib.sfu-kras.ru/bitstream/2311/9644/1/12_Temerbaev.pdf
18. Сиченко, В. Г. Якість електричної енергії у тягових мережах електрифікованих залізниць / В. Г. Сиченко, Ю. Л. Сасенко, Д. О. Босий. – Д.: ПФ Стандарт-Сервіс, 2015. – 344 с.
19. IEEE Std 519-1992, "IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems," Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. 1993.
20. Средства эффективного использования электрической энергии [Текст] : монография / Ю. Г. Качан, В. В. Дьяченко, В. В. Кузнецов ; Запорож. гос. инженер. акад. - Запорожье : ЗГИА, 2016. - 156 с.

Рекомендовано к печати: д-ром техн. наук, проф. Качаном Ю.Г..

УДК 69.03

*І.М. Луценко, канд. техн. наук., Є.В. Кошеленко, П.С. Циган,
(Україна, Дніпро, Державний вищий навчальний заклад "Національний гірничий університет")*

ОЦІНКА ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ОГОРОДЖУЮЧИХ КОНСТРУКЦІЙ БУДІВЕЛЬ

***Анотація. Мета.** Дослідження впливу конструктивних параметрів багатоквартирних житлових будинків на величину питомого енергоспоживання. Оцінка досяжного рівня енергоефективності будівель за рахунок модернізації їх огороджуючих конструкцій. **Наукова новизна** полягає у встановленні закономірностей між параметрами огороджуючих конструкцій та досяжним рівнем енергетичної ефективності будівель на основі аналізу фактичних даних будівель. **Практична цінність** полягає в оцінці поточного рівня енергетичної ефективності будівлі та розробці заходів для зниження питомих витрат енергії на її утримання. Було встановлено, що для будинків з білої цегли різної поверховості в умовах м.Дніпро очікувана величина зниження енергоспоживання відносно поточного рівня за рахунок модернізації огороджуючих конструкцій становить 38-45%. **Результати.** Визначено поточний рівень енергетичної ефективності на прикладі трьох багатопверхових житлових будівель. Показано, що за рахунок впровадження заходів з термомодернізації огороджуючої оболонки будівлі досягається підвищення рівня енергетичної ефективності з **F** до **E**, рідше **D** рівнів. Для подальшого зниження енергоспоживання будівлями необхідно проводити також модернізацію інженерних мереж. Згідно з розрахунками для досліджуваних трьох будівель після модернізації фасадів та обладнання індивідуальних теплових пунктів можна досягти **B** і **C** рівнів енергетичної ефективності.*

***Ключові слова:** Енергоефективність, опір теплопередачі, енергетичний паспорт, термомодернізація.*

***Аннотация. Цель.** Исследование влияния конструктивных параметров жилых домов на величину удельного энергопотребления. Оценка достижимого уровня энергоэффективности зданий за счет модернизации их ограждающих конструкций. **Научная новизна** состоит в установлении закономерностей между параметрами ограждающих конструкций и достижимым уровнем энергетической эффективности зданий на основании анализа фактических данных зданий. **Практическая ценность** состоит в оценке текущего уровня энергетической эффективности зданий и разработке мероприятий по снижению удельного расхода энергии на их содержание. Было установлено, что для зданий из белого кирпича разной этажности в условиях г.Днепра ожидаемая величина снижения энергопотребления относительно текущего уровня за счет модернизации ограждающих конструкций составляет 38-45%. **Результаты.** Определен текущий уровень энергетической эффективности на примере трех жилых зданий. Показано, что за счет реализации мероприятий по термомодернизации ограждающей оболочки зданий достигается повышение уровня энергетической эффективности с **F** до **E**, реже **D** уровней. Для дальнейшего снижения энергопотребления зданиями необходимо также производить модернизацию инженерных сетей. Согласно расчетов для исследуемых трех объектов после модернизации фасадов и оборудования индивидуальных тепловых пунктов можно достичь **B** и **C** уровней энергетической эффективности.*

***Ключевые слова:** энергоэффективность, сопротивление теплопередаче, энергетический паспорт, термомодернизация*

Abstract. Purpose. Investigation the influence of construction parameters of apartment houses on the value of energy consumption per 1 m² of heated space. **The scientific originality** consists in establishing patterns between the parameters of the building envelope and the achievable level of energy efficiency of buildings based on the analysis of actual data of buildings. **The practical value.** It was estimated that for white brick buildings of different heights in the conditions of the Dnipro city, the expected reduction in energy consumption relative to the current level due to the modernization of walling is 38-45%. **Findings.** The current level of energy efficiency is determined by the example of three typical residential buildings. It is shown that due to the implementation of measures for thermal modernization of the building envelope, an increase in the level of energy efficiency from F to E, less often D levels is achieved. To further reduce of buildings energy consumption, it is also necessary to modernize the engineering networks. According to the calculations for the studied objects, after upgrading of the envelope and equipment of individual heat points, it is possible to achieve B and C energy efficiency levels.

Keywords: energy efficiency, thermal resistance, energy passport, thermal modernization

Вступ. В умовах постійного зростання цін на енергетичні ресурси першочерговими задачами сьогодення стають задачі енергозбереження. Зокрема, однією з таких задач є мінімізація вартості утримання житлових та громадських будівель. Протягом останніх десятиліть спостерігається поступове підвищення середньої температури внаслідок парникового ефекту. Зміни клімату, доступність великої кількості різноманітних пристроїв для кліматизації приміщень та поступовий розвиток норм щодо комфортності умов всередині приміщень призвели до того, що тепер під кліматизацією розуміємо не тільки опалення будівель протягом холодної частини року, але і видалення надлишкового тепла влітку. Підтримання комфортних умов перебування людей вимагає залучення все більшої кількості енергії, що тягне за собою зростання споживання енергетичних ресурсів, збільшення викидів і подальші зміни клімату.

Вирішення задачі зменшення об'єму споживання енергетичних ресурсів передбачає кілька можливих шляхів: заміщення традиційних видів палива нетрадиційними відновлюваними, зокрема «чистими» видами енергії – енергією сонця, вітру, припливів тощо (тобто перехід на технології, які не потребують спалювання палива), зниження споживання енергетичних ресурсів за рахунок термомодернізації будівель, використання вторинного тепла, оптимізація парку громадських та виробничих будівель із виведенням з експлуатації низькоефективних. Всі описані шляхи можуть бути поєднаними для досягнення кращого ефекту, ніж при реалізації одного якогось напрямку.

Метою даної роботи є оцінка можливого потенціалу енергозбереження у житловому секторі за рахунок термомодернізації будівель, які знаходяться в експлуатації. Основні заходи з енергозбереження, які пропонує сьогоденній ринок послуг для багатоквартирних житлових будинків – це утеплення стін, заміна вікон, заміна або встановлення металопластикових рам на балкони та лоджії, заміна дверей, регулювання режимів роботи системи опалення за рахунок встановлення індивідуальних теплових пунктів, спорудження будинкових котельних. Описані вище заходи охоплюють досить широкий об'єм можливих робіт, проте він не є вичерпним. Так, найчастіше не проводиться модернізація систем вентиляції будівель, систем розподілу тепла, рідко розглядається можливість використання вторинного тепла відпрацьованого повітря та стічних вод тощо.

Близько половини будівель, які на сьогодні знаходяться в експлуатації – це багатоповерхові цегляні будинки з білої цегли. При опрацюванні матеріалів до даної роботи були обстежені близько сотні будівель, зокрема половину об'єктів становили цегляні будинки різної поверховості. Для оцінки потенціалу енергозбереження в таких будинках розглянемо типові 5(6)-ти, 9-ти та 16-ти поверхові будівлі.

За останні десять років власними силами мешканців будинків були замінені вікна у подвійному дерев'яному плетінні та спарені дерев'яні вікна на вікна зі склопакетами у металопластиковому плетінні. Кількість замінених вікон на даний момент коливається у межах 60-80% від загальної їх загальної кількості. Також силами мешканців були закладені та частково утеплені до 90% балконів та лоджій. Таким чином, можна передбачити, що потенціал доступної економії за рахунок модернізації або заміни світлопрозорих конструкцій будівлі вже практично вичерпано. Звичайно, технічний прогрес не стоїть на місці і вікна, які встановлені протягом останнього року, відрізняються від тих, які були встановлені десять років тому, проте якщо брати кількісні показники, зокрема термічний опір таких вікон, то для стандартних подвійних вікон у дерев'яному плетінні показник термічного опору становить 0,42 м²·°C/Вт, у той час як для звичайного двокамерного склопакету з тепловідбиваючим покриттям 0,76 м²·°C/Вт. Тобто опір теплопередачі таких склопакетів вже майже удвічі більший порівняно з вікнами у подвійних дерев'яних плетіннях. Подальше вдосконалення склопакетів, створення додаткових тепловідбиваючих покриттів, заповнення їх інертними газами вже не дає різкого зростання опору теплопередачі ($R = 0,8-1,0$ м²·°C/Вт) порівняно зі звичайним двокамерним склопакетом. Зважаючи на це, на даному етапі для вікон, які не відслужили й половини свого терміну експлуатації, постає питання доцільності їх модернізації та заміни на більш сучасні з додатковими покриттями і це питання потребує техніко-економічного обґрунтування [3]. Для металопластикових вікон характерним є неправильний монтаж за допомогою тимчасової монтажної піни, яка під дією ультрафіолетового випромінювання осипається і залишає відкриті шпарини, через які

Енергозбереження та енергоефективність

йде інфільтрація холодного повітря до будівель, тому під час виконання фасадних робіт потрібно приділяти увагу швам між стінами та вікнами і закладати в кошторис комплексного утеплення також ремонт швів.

Для цегляних будинків, які поширені на території України характерною є товщина стін 0,54-0,57 м, тобто стіна у дві цеглини плюс вапняно-піщана штукатурка. Термічний опір таких стін коливається у межах 0,78-0,81 м²·°C/Вт, при мінімальній величині опору теплопередачі згідно з ДБН В.2.6-31:2016 3,3 м²·°C/Вт [1]. Таким чином, опір теплопередачі стін у чотири рази менший від мінімальної величини, відповідно втрати крізь стіни у чотири рази більші порівняно з нормативними. Тому значний потенціал для енергозбереження наявний саме в комплексному утепленні стін. При цьому утеплення повинно здійснюватися професійними монтажними організаціями із дотриманням норм до виконання фасадних робіт зокрема робіт з утеплення, оскільки непрофесійні виконавці при виконанні робіт залишають значну кількість містків холоду – не утеплені кріпильні профілі, наскрізні отвори під трубопроводи кондиціонерів тощо. При проведенні тепловізійної зйомки утепленої частини фасадів будівель виявляється пошкодження шарів теплоізоляції через розтріскування, наявність суцільних неутеплених поясів, зон намокання утеплювача тощо. Ці явища можуть бути викликані неякісним монтажем теплоізоляції, неправильно підібраним матеріалом, товщиною його шару, неправильним улаштуванням паробар'єрів тощо. Таку теплоізоляцію при комплексному утепленні будівлі необхідно демонтувати, дати стіні просохнути та утеплити знову.

Для аналізу наявного потенціалу енергозбереження від виконання модернізації огорожуючих конструкцій розглянемо дані для трьох типових будівель, наведені в таблиці 1.

Таблиця 1.

Об'ємно-планувальні характеристики будівлі

Найменування показника	Будівля 1	Будівля 2	Будівля 3
Кількість поверхів, шт.	6	9	16
Довжина будинку, м	37,8	20	33
Ширина будинку, м	10,5	18	24
Висота будинку, м	16,8	28,1	45,1
Товщина стін, м	0,54	0,54	0,54
Площа перекриттів, м ²	396,90	360	476,00
Будівельний об'єм, м ³	6667,92	10116	21467,60
Опалювана площа, м ²	2075,41	2874,69	6982,40
Опалюваний об'єм, м ³	5603,62	8783,78	19681,60
Загальна площа вікон, м ²	479,02	572,74	748,02
У т.ч. замінені вікон, м ²	319,28	441,94	505,82
% замінені вікон	66,65	77,16	67,62
незамінених вікон, м ²	159,74	130,80	242,20
Загальна площа дверей, м ²	14,3	6,56	13,2
Загальна площа стін, м ²	1129,6	1556,3	4380,2
Коефіцієнт скління фасадів будинку	0,295	0,268	0,145
Показник компактності будинку	0,431	0,325	0,310

Аналіз енергетичної ефективності будівлі в цілому передбачає визначення відповідності показників енергоспоживання певним класам та розробку заходів зі зниження питомого енергоспоживання на 1м² опалюваної площі. На величину питомого енергоспоживання впливає значна кількість чинників таких як об'ємно-планувальні характеристики будівлі, тип системи опалення, тип системи вентиляції, наявність регуляторів, автоматизація енергоспоживання тощо. Одним з важливих чинників, які визначають енергетичну ефективність будівлі є теплоізоляційні якості її оболонки – стін, даху, перекриттів підвалу або техпідпілля, дверей та світлопрозорих конструкцій.

Характеристики інженерних мереж будівель, що розглядаються у даній роботі:

- система опалення однотрубна без регулювальної арматури та без автоматичного регулювання в ІТП;
- система вентиляції витяжна з природною тягою;
- система холодного водопостачання централізована;

Енергозбереження та енергоефективність

- централізоване гаряче водопостачання підведене але з 2018 року відсутнє, силами мешканців встановлюються індивідуальні електричні бойлери для забезпечення потреб у гарячій воді;
- електропостачання централізоване від мереж ДТЕК «Дніпровські електромережі».

Теплотехнічні характеристики будівель, які відображають відповідність теплоізоляційних характеристик елементів огорожуючих конструкцій будівлі діючим мінімальним вимогам, розраховані на основі [2] і представлені у таблиці 2.

Таблиця 2

Теплотехнічні характеристики огорожуючих конструкцій будівель

Приведений опір теплопередачі зовнішніх огорожень, $m^2 \cdot ^\circ C / Wt$	Нормативне значення	Будівля 1	Будівля 2	Будівля 3
стін	3,3	0,78	0,78	0,78
вікон і балконних дверей (середньозважений для усіх світло-прозорих конструкцій будівлі)	0,75	0,64	0,67	0,64
вхідних дверей, воріт (середньозважений для усіх дверей будівлі)	0,6	0,6	0,16	0,6
горищних перекриттів (холодного горища)	4,95	4,95	4,95	4,95
перекриттів над неопалюваними підвалами або підпіллям	3,75	3,75	3,75	3,75

У даній роботі не ставилася задача дослідження стану горищ та підвальних приміщень будівель, тому опори теплопередачі перекриттів горищ і підвалів прийнято рівними мінімальним вимогам до цих перекриттів. Як видно з таблиці 2, будівлі досить близькі за теплотехнічними показниками. У будівлі 2 встановлено металеві неутеплені двері, тому середній опір теплопередачі вхідних дверей є низьким, у двох інших будівлях двері металеві утеплені, їх опір теплопередачі відповідає мінімальним вимогам. Середньозважений термічний опір вікон і балконних дверей для будівлі 2 є дещо вищим порівняно з іншими будівлями, що пояснюється кращим співвідношенням між заміненними метало пластиковими вікнами та незаміненими вікнами у дерев'яних плетіннях.

Для розглянутих будівель на основі [2] було визначено розрахункову величину питомого енергоспоживання до модернізації огорожуючих конструкцій будівлі та після кількох етапів модернізації. Під етапами модернізації огорожуючих конструкцій будівлі розуміємо:

етап 1 – комплексне утеплення стін полістиролом, для розглянутих будівель необхідно здійснити утеплення стін полістиролом шаром щонайменше 139 мм, при цьому буде досягнуто нормативне мінімальне значення опору теплопередачі стін $3,3 m^2 \cdot ^\circ C / Wt$;

етап 2 – заміна дерев'яних вікон на вікна у метало пластиківому плетінні з подвійними склопакетами та тепловідбиваючим покриттям, теплоізоляційні характеристики яких задовольняють мінімальні вимоги;

етап 3 – заміна неутеплених дверей на металеві утеплені, опір теплопередачі яких задовольняє нормативні вимоги.

Розрахункові дані щодо питомого енергоспоживання будівель до та після трьох етапів термомодернізації наведено у таблиці 3.

Таблиця 3

Розрахункові показники питомого енергоспоживання

Показник	Будівля 1	Будівля 2	Будівля 3
1	2	3	4
Розрахункове значення питомих теплових витрат на опалення будинку, $kWt \cdot год / m^2$	142,88	147,79	152,27
Нормативне значення енергоспоживання, $kWt \cdot год / m^2$	72	69	63
Поточний клас енергетичної ефективності будівлі	F	F	F
Питоме енергоспоживання будівлі після впровадження етапу 1 (утеплення стін пінополістиролом шаром 140 мм)	94,08	95,40	87,63
Питоме енергоспоживання будівлі після впровадження етапу 2 (заміна вікон)	88,03	91,31	84,11
Питоме енергоспоживання будівлі після впровадження етапу 3 (утеплення дверей)	88,03	90,18	84,11

Енергозбереження та енергоефективність

1	2	3	4
Зниження енергоспоживання відносно поточного стану, %	38,4	39,0	44,8
Очікуваний клас енергетичної ефективності будівлі після модернізації огорожуючих конструкцій	D	E	E
Питоме енергоспоживання будівлі після облаштування ІТП з автоматичним регулюванням подачі тепла в залежності від погодних умов	64,08	67,18	62,29
Загальне зниження енергоспоживання відносно поточного стану, %	55,2	54,5	59,1
Очікуваний клас енергетичної ефективності будівлі після модернізації огорожуючих конструкцій та облаштування ІТП	B	C	C

Розрахунки питомого енергоспоживання будівлі показали, що найбільша економія енергії на утримання будівлі досягається за рахунок комплексного утеплення стін, найменша економія – за рахунок утеплення вхідних дверей. Це пояснюється частиною площі, що займає дана однорідна конструкція, у загальній площі огорожуючих конструкцій.

Висновки. За даними розрахунків питомого енергоспоживання будівлями бачимо, що модернізація огорожуючих конструкцій дає зниження споживання енергії на опалення будівлі від 38 до 45% відносно поточного стану будівлі. Найбільший внесок у це зниження дає комплексне утеплення стін будівлі, найменший – утеплення або заміна вхідних дверей.

Проте слід зауважити, що навіть при повній модернізації огорожуючих конструкцій у більшості будівель не досягається мінімально необхідний для будівель, що знаходяться в експлуатації, клас енергетичної ефективності С, у кращих випадках досягається клас D.

Для підвищення класу енергетичної ефективності та досягнення рівнів В і С необхідно виконувати також модернізацію інженерних мереж будівлі. Так, облаштування індивідуальних теплових пунктів (ІТП), що дозволяють в автоматичному режимі здійснювати регулювання подачі теплоносія в залежності від погодних умов, дозволяє разом з заходами з термомодернізації огорожуючих конструкцій досягти скорочення питомого енергоспоживання на 55-60% і досягти В та С класів енергетичної ефективності будівель.

Список літератури

1. ДБН В.2.6-31:2016. Теплова ізоляція будівель.
2. ДСТУ-Н Б А.2.2-5:2007. Настанова з розроблення та складання енергетичного паспорта будинків при новому будівництві та реконструкції.
3. Ратушняк Г.С. Оцінка доцільності підвищення термічного опору огорожуючих конструкцій багатоповерхових житлових будівель / Г.С. Ратушняк, А.М. Очеретний// Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2016 - №6. Режим доступу: <http://ir.lib.vntu.edu.ua/handle/123456789/19464>.

УДК 622.418

М.В. Холоменюк,

(Україна, Дніпро, Державний вищий навчальний заклад "Національний гірничий університет")

ТЕРМОДИНАМІЧНИЙ АНАЛІЗ ВНУТРІШНІХ ПРОЦЕСІВ У ДЕТАНДЕРІ ПЕРЕСУВНОГО ПНЕВМОЕЛЕКТРИЧНОГО КОНДИЦІОНЕРА

Анотація. Досліджено вплив вологості стиснутого повітря на температуру потоку, розширеного в об'ємному детандері пневмоелектричного кондиціонера. Запропонована номограма для визначення фактичної температури розширеного вологого повітря за величиною очікуваної температури сухого повітря при його розширенні в детандері.

Ключові слова: кондиціонер пневмоелектричний, вологість стиснутого повітря, температура розширеного потоку.