

УДК 697:378.091.6

О. М. ПІШНЬКО¹, В. Г. КУЗНЄЦОВ², Д. К. ЯЦЕНКО³, В. О. ГАБРИНЕЦЬ^{4*}

¹Каф. «Будівлі та будівельні матеріали», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 46, ел. пошта pshinko@r.diit.edu.ua, ORCID 0000-0002-1598-2970

²Каф. «Електропостачання залізниць», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. + 38 (056) 373 15 25, ел. пошта vkuz@i.ua, ORCID 0000-0003-4165-1056

³Каф. «Проектування і будівництво доріг», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел.+38 (056) 373 67 94, ел. пошта yasenko@nh.diit.edu.ua, ORCID 0000-0002-4886-3134

^{4*}Каф. «Теплотехніка», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 87, ел. пошта gabrin62@mail.ru, ORCID 0000-0002-6115-7162

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ СИСТЕМИ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ ІНФРАСТРУКТУРИ ГРОМАДСЬКИХ БУДІВЕЛЬ НА ПРИКЛАДІ ДНУЗТ

Мета. У дослідженні необхідно проаналізувати можливість і умови підвищення ефективності роботи систем теплопостачання та вентиляції громадських будівель на сучасному етапі розвитку країни й характерних кліматичних особливостей України. Головною метою роботи є розробка конкретних заходів для громадських будівель, які призведуть до значного скорочення витрат енергетичних ресурсів на опалення та систему кондиціонування повітря. В якості приклада беруться аналогічні системи компактного містечка Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна (ДНУЗТ), який опалюється за допомогою власної автономної котельні, що споживає природний газ. **Методика.** На основі аналізу статистичних витрат теплової енергії за останні 5 років визначаються види та розраховуються величини теплових втрат для конкретних умов використання. Ці втрати порівнюються з аналогічними у світовій практиці, й на основі порівняння та аналізу діючої системи пропонуються шляхи зниження величини теплових втрат за рахунок застосування різних технічних та організаційних методів. В роботі пропонується також залучення для цієї мети вторинних та альтернативних джерел енергії. В якості вторинних енергоресурсів розглядаються теплота, яка виділяється людиною, та теплота, яка виходить із повітрям, що вилучається при вентиляції будівель. А в якості поновлювальних джерел – сонячна та геотермальна енергії. Для підвищення температурного потенціалу теплоносіїв пропонується застосовувати теплові насоси. **Результати.** При максимально можливому використанні всіх запропонованих заходів і впровадженні раціональних схемних та технічних рішень, які пропонуються для систем тепло- та гарячого водопостачання, витрати енергії на тепло та гаряче водопостачання можуть бути знижені на 30–35 %. **Наукова новизна.** Вперше запропоновано використовувати нові комплексні підходи для підтримки необхідного теплового балансу в зимовий період. Авторами також запропоновані нові схемні рішення для системи теплопостачання та вентиляції (як в зимовий, так і в літній період), що базуються на використанні теплового насосу та вторинних енергоресурсів. **Практична значимість.** Введення запропонованих схемних рішень і підходів до забезпечення теплом та повітрям можуть бути реалізовані при відносно невеликих капіталовкладеннях та не вимагають істотного переобладнання вже встановлених систем.

Ключові слова: система тепло- та гарячого водопостачання; теплові втрати; тепловий режим; регулювання теплового режиму; теплообмінник; вентиляція; альтернативні джерела енергії; вторинні енергоресурси; тепловий насос

Вступ

Сучасний період розвитку України проходить в умовах енергетичної кризи. Як зазначає Міжнародне енергетичне агентство (МЕА), у енергетичних стратегіях держав, які спожи-

вають значну кількість паливно-енергетичних ресурсів (ПЕР), важливе значення надається відводиться проблемі енергоефективності. Основний потенціал енергозбереження сконцентрований у сфері використання енергоносіїв,

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

окремо систем централізованого теплопостачання (СЦТ).

Ці системи – найважливіший інфраструктурний об'єкт населених пунктів.

У цей час, СЦТ набули широкого поширення та забезпечують значну частку потреб у теплової енергії в таких країнах, як : Російська Федерація (70 %), Латвія (70 %), Україна (66 %), Польща (52 %), Республіка Білорусь (50 %), Фінляндія (50 %), Словаччина (40 %), а також у багатьох інших країнах. В європейських країнах (EU27) частка СЦТ у 2010 році дорівнювала 12 % [6–9].

Незважаючи на те, що в Україні СЦТ забезпечують значну частку теплової енергії, що споживається, у цій сфері накопичилась низка взаємопов'язаних проблем, які мають технічні, фінансово-економічні, інституційні та соціальні аспекти [7–8]. Це в першу чергу пов'язано з цінами на енергоресурси та їх нестачею. Тому потрібна нова ідеологія енергетичного менеджменту. На все це негативно впливає також енергетична політика в сучасному світі. Як наслідок, ми маємо незадовільне забезпечення населення та установ України теплом та електроенергією. Результатом цього впливу є різке зменшення температури в приміщеннях та аудиторіях навчальних закладів, припинення їх роботи в зимові місяці, що часто негативно впливає на здоров'я студентів та викладачів. Тому проблема ефективного використання первинних енергоресурсів в установах і учбових закладах України та менеджмент впровадження енергозберігаючих заходів є вельми актуальною проблемою.

Мета

В ідеалі в університеті бажано запровадити систему енергетичного менеджменту (СЕМ), яка є частиною загальної системи управління і базується на стандарті ISO 50001 або на українському стандарті [3]. СЕМ складається з організаційної структури, запланованих заходів, обов'язків, методів, процедур, процесів, а також ресурсів для розроблення, реалізації, аналізу та перегляду положень політики в сфері енергозбереження.

Метою впровадження СЕМ в університеті є безперервне покращання ефективності використання ПЕР.

А головне завдання СЕМ в університеті – це являється зменшення витрат на придбання паливно-енергетичних ресурсів. Будь-яка СЕМ ґрунтується на відомому з менеджменту циклі «Plan – Do – Check – Act» («планування – виконання – перевірка – корекція») Едуарда Демінга». Від самого початку впровадження СЕМ адміністрація університету повинна визначити політику в сфері енергозбереження. По закінченні кожного циклу повинна здійснюватись оцінка ефективності функціонування СЕМ. Найважливіші елементи СЕМ є:

- політика в сфері енергозбереження;
- планування споживання ПЕР;
- впровадження та функціонування системи енергетичного менеджменту включаючи розподіл обов'язків, навчання персоналу, обмін інформацією, створення необхідної документації);
- моніторинг та кількісна оцінка, виявлення невідповідностей та внесення необхідних змін;
- дослідження ефективності роботи СЕМ.

Надзвичайно важливим моментом функціонування системи енергоменеджменту є безперервне її покращання.

В університеті впроваджуються енергоощадні заходи, аналізується ефективність організаційних, технічних заходів з енергозбереження. Але існують резерви, не весь потенціал енергозбереження ще вичерпано [1, 3, 9]. Визначимо рівень впровадження в університеті ідеології енергетичного менеджменту за допомогою матриці енергоменеджменту (табл. 1). Горизонтальні ряди матриці являють собою рівні складності з шести основних для аспектів менеджменту, зазначених у вертикальних колонках. Перехід на більш високий рівень свідчить про більш зрілий і офіційний підхід до енергетичного менеджменту й означає наближення до «кращої практики». Наявна політика енергозбереження в університеті ще не прийнята, заходи реалізуються проректором з адміністративно-господарчої частини; організаційної структури з енергетичного менеджменту в університеті немає, немає штатної посади енергетичного менеджера, часткові функції з енергоменеджменту виконують підрозділи відділу головного енергетика та котельної; мотивація до заощадження енергії у вигляді премій відсутня, ефективність споживання ПЕР

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

обговорюється на засіданнях відповідних служб та ректорату; в ДНУТі функціонує автоматизована система обліку та контролю електроенергії (за цей показник ставимо більшу оцінку); інвестиції в енергоощадні заходи досить обмежені через відсутність коштів.

Таблиця 1

Матриця впровадження СЕМ

Рівень	Політика енергозбе-	Організаційна ступ-	Мотивація до заоща-	Інформаційні сис-	Маркетинг	Інвестиції
4						
3						
2	■		■	■	■	■
1		■				
0						

Аналіз табл. 1 показує, що існують значні резерви в управлінні споживанням ПЕР в університеті, які в купі з відповідними технічними енергозберігаючими заходами можуть привести до значного економічного ефекту.

Методика

Розглянемо вирішення цієї проблеми на прикладі ДНУЗТу [5]. Витрати природного газу в ДНУЗТі за останні роки наведено на рис. 1.

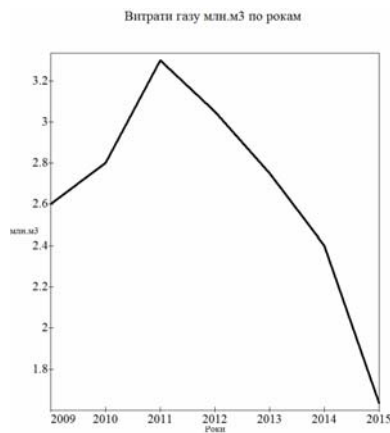
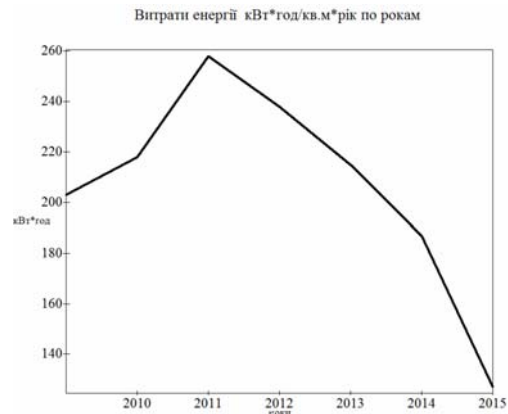


Рис. 1. Витрати природного газу ДНУЗТом по роках

В останні чотири роки, витрати природного газу постійно зменшуються. Але для того, щоб вийти на затверджені на державному рівні нормативи, які запропоновані ДБН В 2.6-31-2006 зі змінами №1 від 2013р., треба й надалі скорочувати ці витрати. Питомі витрати природного газу в централізованих системах теплопостачання на одиницю опалюваної площі підключених до них будівель змінюється для різних міст України у широкому діапазоні: 130–500 кВт·год/м²рік [7–9]. Якщо застосувати дані рис. 1 та загальну площу, яка опалюється 131 447,4 м², то ці цифри знаходяться для ДНУЗТу по роках в діапазоні 127–258 кВт·год/м²рік, на рис. 2.

Основні витрати енергії [4] в системах теплопостачання пов'язані з витратами самої теплогенеруючої системи, втратах в теплових мережах та втратах самих споживачів енергії.

Без врахування двох останніх факторів питоме споживання теплової енергії будівель в цілому по Україні зменшується на 30% і лежить у діапазоні 100–350 кВт·год/м²рік. Якщо такий підхід застосувати для ДНУЗТу, то і питоме споживання енергії на обігрів 1м² протягом року знаходиться в діапазоні 88–180кВт·год/м²рік.

Рис. 2. Витрати енергії на обігрів 1м² протягом року в ДНУЗТі по роках

Це дуже гарний показник [8]. Але при цьому треба враховувати, що ДНУЗТ в останні роки різко зменшує площу, яка опалюється в січні та лютому.

Аналіз цих даних показує, що витрати енергії на потреби теплопостачання у ДНУЗТі на досить гарному рівні. Але ситуація в Україні

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

вимагає подальшого скорочення витрат газу. На сьогодні існує багато підходів щодо вибору технічних рішень відносно підвищення енергоефективності систем теплопостачання.

Це створює певний суб'єктивізм в цьому напрямі. На нашу думку, якщо врахувати усі особливості ДНУЗТу, то найбільш ефективними заходами, які будуть мати миттєву віддачу, будуть такі напрями: модернізація існуючої теплової схеми теплопостачання та вентиляції ДНУЗТа, застосування більш ефективної теплоізоляції як самих будівель, так і теплових мереж, тобто їх термомодернізація, застосування альтернативних джерел енергії.

Особливістю роботи системи теплопостачання в паливний період є керування продуктивністю котлів за допомогою температурних графіків системи теплопостачання, які є загальними для Дніпровської області і базуються на багаторічних метеоспостереженнях зовнішньої температури повітря в цьому регіоні [10–11].

Такий підхід дозволяє регулювати температуру обігрівачою води котельні на виході з котлів залежно від температури зовнішнього повітря. Так, температурний графік ТГ130/70 пропонує значення температури на виході з котлів рівною 130°C у випадку, коли температура зовнішнього повітря буде -23°C . Теплоносій з такою температурою доходить до елеваторних вузлів, які в свою чергу здійснюють подальше регулювання температури теплоносія для конкретного споживача теплової енергії. Схему елеваторного вузла наведено на рис. 3.

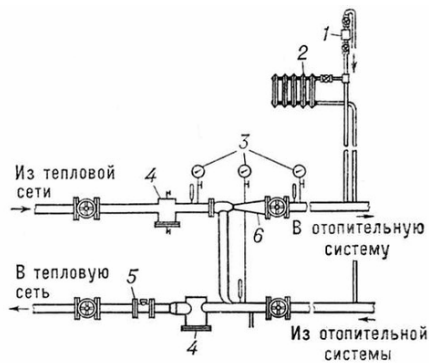


Рис. 3. Схема елеваторного вузла

Елеваторні вузли не дозволяють виконувати автоматичне погодне регулювання і зменшувати температуру в приміщеннях в період відсутності експлуатації, а також реагувати на зрос-

тання температури в приміщеннях за наявності великої кількості людей. Останній фактор особливо є актуальним для навчальних закладів. Відомо, що студент під час перебування лекції виділяє 150 Вт теплової енергії. Тому можна вважати, що в аудиторії при наявності 30 студентів діє додатковий нагрівач потужністю 4 500 Вт. Це означає, що на цю величину можливо скоротити теплопостачання в аудиторію, якщо миттєво реагувати на зміни. В цілому для університету за наявності усіх студентів та співробітників в першій половині дня це скорочення може складати $2\,500 \times 150 = 375\,000$ Вт теплової енергії. Якщо прийняти, що вони перебувають в приміщенні університету в середньому 6 годин, то кількість енергії, на яку можна скоротити подачу, дорівнює теплоті від згоряння 210 м^3 природного газу в день. Якщо прийняти тривалість навчального процесу в зимовий період 110 днів, то кількість газу, який можна заощадити за рахунок такого заходу, буде дорівнювати приблизно $20\,000 \text{ м}^3$. Тому для нового та старого навчальних корпусів потрібно змінювати існуючі елеваторні вузли на більш сучасні системи автоматичного регулювання температури. Ці корпуси споживають найбільшу кількість енергії. Це видно з рис. 4.

Витрати теплової енергії на обігрів навчальних корпусів при застосуванні старої та модернізованої системи теплопостачання наведено на рис. 5.

Були прораховані витрати на реалізацію такого проекту. Основні складові його наведено нижче, тис. грн:

1. Проект реконструкції системи теплопостачання:	160 .
2. Обладнання:	600
3. Монтаж:	180
4. Адміністративні витрати:	60.

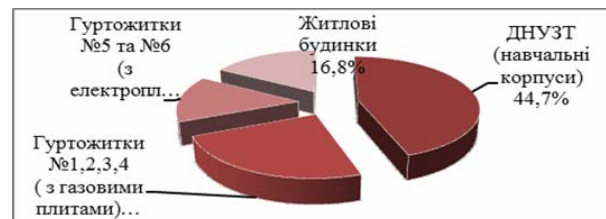


Рис. 4. Споживання теплової енергії структурами ДНУЗТу

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

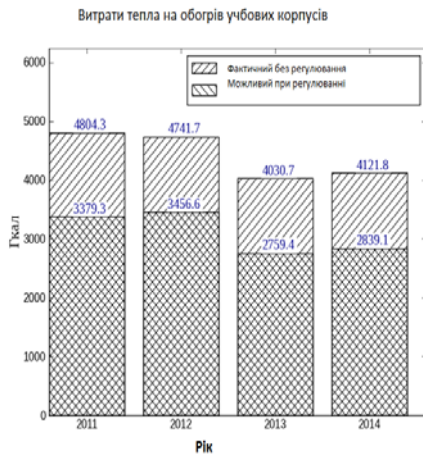


Рис. 5. Витрати теплової енергії на обігрів навчальних корпусів при застосуванні старої та модернізованої системи тепlopостачання

Наступний напрям економії теплової енергії пов'язаний з вентиляцією приміщень університету [11–13]. Справа в тому, що для забезпечення комфортних умов згідно з нормами СНиП 2.04.059*У на кожну людину потрібно 50 м^3 повітря на годину. Для 2 500 співробітників та студентів ця величина складає $2\,500 \times 50 = 12\,5000 \text{ м}^3$ на годину. За існуючої системи природної вентиляції ця велика кількість повітря при температурі 18°C викидається в навколишнє середовище. Якщо температура його на момент викиду складає -25°C , то за годину ми втрачаємо кількість теплової енергії Q_T , яка дорівнює:

$$Q_T = C_p \rho W \Delta T, \quad (1)$$

C_p – теплоємність повітря, $1,005 \text{ кДж/кгК}$, ρ – щільність повітря $1,293 \text{ кг/м}^3$, W – об'єм повітря, яке викидається при вентиляції $W = 50N$, N – кількість присутніх в приміщеннях, ΔT – різниця температур між зовнішнім та внутрішнім повітрям.

Результати

Кількість енергії, яка втрачається при нагріві вентиляційного повітря за годину, залежить від кількості присутніх в приміщеннях ДНУЗТу та перепаду температур. (рис. 6)

Кількість втрат енергії на вентиляцію розраховувалась для 500 та 2 500 співробітників і для різних перепадів температури.

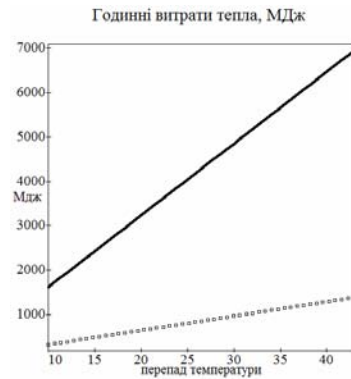


Рис. 6. Кількість енергії, яка втрачається на вентиляцію при різній кількості присутніх в приміщеннях ДНУЗТа в залежності від зовнішньої температури (для 2 500 та 500 присутніх)

Перепад розраховувалася між внутрішньою температурою в 18°C та зовнішньою в зимовий період.

Аналіз даних рис. 6 показує, що при природній системі вентиляції повітря університеті щогодинно втрачає велику кількість теплової енергії, величина якої зростає при збільшенні кількості присутніх та зменшенні зовнішньої температури. Ця кількість тепла потрібна для нагріву тієї ж кількості свіжого повітря, яке надається

в приміщення від температури зовнішнього середовища до 18°C .

Кількість спожитого газу в залежності від перепаду температур та кількості людей для ДНУЗТу наведено на рис. 7.

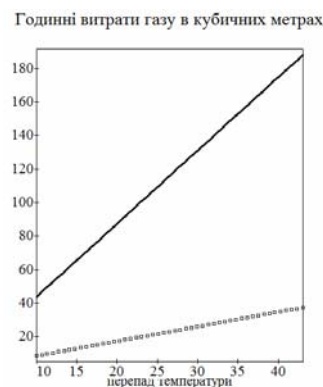


Рис. 7. Кількість природного газу, який втрачається на нагрів вентиляційного повітря за годину при різній кількості присутніх (2 500 та 500) в приміщеннях ДНУЗТу залежно від перепаду між внутрішньою температурою в 18°C та зовнішньою в зимовий період

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

Розрахунок виконували за співвідношенням:

$$V = \frac{Q_T}{r}, \quad (2)$$

r – теплота згоряння природного газу, 37 МДж/м³.

Якщо цю цифру зменшити у два рази із за недостатньої вентиляції, то все ж витрати будуть великими.

Для подолання цього недоліку бажано впровадити такі заходи. Встановити на вхідних дверях досить довгі тамбури, як зображено на рис. 8. При цьому буде забезпечуватись підігрів повітря, яке надходить з вулиці в приміщення великого корпусу за рахунок теплого повітря, яке виходить з корпусу. За великої площі застеклення цей тамбур буде також отримувати енергію сонячного випромінювання.

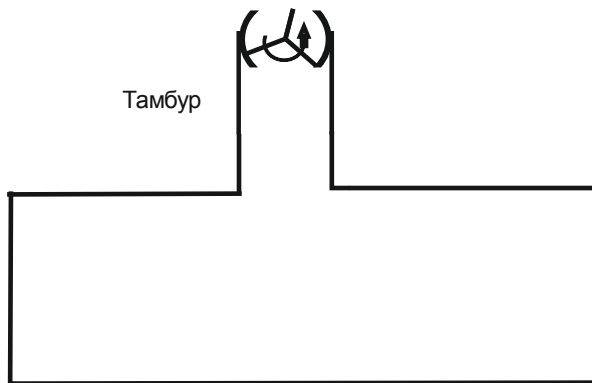


Рис. 8. Влаштування тамбура з вертушкою для зменшення теплових витрат на час надходження студентів до ВНЗу

Ще кращим буде встановлення поворотних дверей на вході в цей тамбур. Конфігурація цих дверей така, що завжди відсутній прямий доступ зовнішнього повітря в приміщення.

Найбільш бажаним та найбільш ефективним є створення примусової вентиляційної системи.

Така система може активно застосовувати рекуперативні теплообмінники ТО, які будуть повертати до 70 % відсотків теплової енергії, яка виходить з вилучаємим повітрям в навколишнє середовище. Принципову схему такої системи вентиляції наведено на рис. 9.

Система містить дві лінії для повітря: випускна та нагнітаюча. Від кожної лінії в кожне приміщення К навчальної споруди УС буде надходити по одному каналу. Повітря по цих

каналах буде рухатися за допомогою вентиляторів В1 та В2. На виході з випускної та на вході в нагнітаючу лінію повинен стояти теплообмінник ТО. В цьому теплообміннику нагріте до температури 18–22 °С випускне повітря буде віддавати тепло впускному повітрю з температурою –1–25 °С. Оскільки відношення водяних еквівалентів впускного та випускного повітря W/W_2 буде дорівнювати 1, то можна прийняти, що коефіцієнти тепловіддачі з боків холодного та гарячого повітря будуть дорівнювати одне одному і складати приблизно 100 Вт /м²К. При таких параметрах теплообмінник залежно від конструкції дозволить забирати до 80 % тепла повітря, яке виходить. [10, 14].

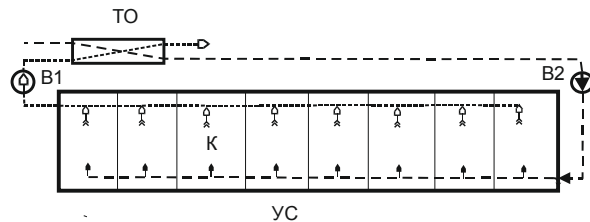


Рис. 9. Примусова вентиляційна схема приміщень навчального корпусу з теплообмінником; ТО – рекуперативний теплообмінник, В1, В2 відповідно вентилятори на вихідний та впускний лініях системи вентиляції, УС- учбова споруда, К-кімнати учбової споруди

На стільки же відсотків буде скорочено витрати тепла на вентиляцію. Це дозволить економити паливо, яке витрачається на нагрів повітря, що подається в приміщення.

До переваг такої системи можна віднести також точне дотримання виконання санітарно-гігієнічних норм вентиляції. Така система дозволить досить легко інтегрувати в себе тепловий насос, який може значно скоротити витрати на кліматизацію приміщень [2].

Інший напрям, який має великі можливості, це підвищення теплозберігаючих властивостей приміщень за рахунок підвищення теплоізоляційних властивостей стін та вікон корпусів. Якщо для старого корпусу стіни є досить товстими (0,65 м) і мають добрі теплоізоляційні властивості, то для нового корпусу товщина стін є меншою (0,5 м), що веде до більших теплових втрат через стіни (приблизно на 25 %). Великі втрати через застарілу конструкцію вікон у старих та нових корпусах. Проміжок між двома скляними поверхнями є занадто великий,

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

що призводить до появи в цьому проміжку вільної конвекції. А це, в свою чергу – до підвищення інтенсивності передачі тепла через велику поверхню вікна. Тому заміна старих вікон на нові скло пакети дозволить скоротити витрати тепла приблизно на 30 % в теплопостачальний період.

Наступним напрямом підвищення енергоефективності теплопостачання є використання відновлювальних джерел енергії. На нашу думку, ефективним, реальним заходом в цьому напрямі є застосування пелет для обігріву теплоносія в системі опалення та гарячого водопостачання. Пелети – це гранули паливні, які виготовляються з лушпиння соняшника, соломи, тирси, макулатури, торфу і торфокришкива, подрібненої тріски, сухих подрібнених рослинних залишків (листя, хмиз, сіно, солома тощо) та інші види твердого палива фракцією ≤ 50 мм. Для їх застосування потрібна установка нових котлів типу Grandpal Mega, Kriger GP, Bioplex, для яких котли можна використовувати найбільш розповсюджений для Дніпропетровського регіону біоресурс у вигляді соломи та кукурудзяних стеблів. Якщо задіяти для ДНУЗТу теплову потужність в 3 МВт на біомасі, то денна потреба в соломі буде складати 20 000 кг соломи.

Добову потребу котельні ДНУЗТу, якщо паливо використовувати як соломі, залежно від задіяної теплової потужності наведено на рис. 10. При розрахунках приймалися три значення теплоти згоряння палива: нижча 13,5 МДж/кг, вища 15,01 МДж/кг та теплота згоряння сухого палива 16,77 МДж/кг.

З рис. 10 видно, що при потужностях більше 3 МВт потреба в соломі складає більше 20 тонн на добу. Це потребує значних витрат на доставку соломи. Тому не раціонально переводити теплові потужності на біопаливо об'ємом більше ніж 3 МВт.

Іншим напрямом застосування альтернативних джерел енергії є використання сонячних колекторів для гарячого водопостачання. Вигляд сонячного колектора наведено на рис. 11. Покриття потреб гуртожитку по місяцях за рахунок сонячної теплосистеми наведено на рис. 12.

Добові витрати соломи, кг

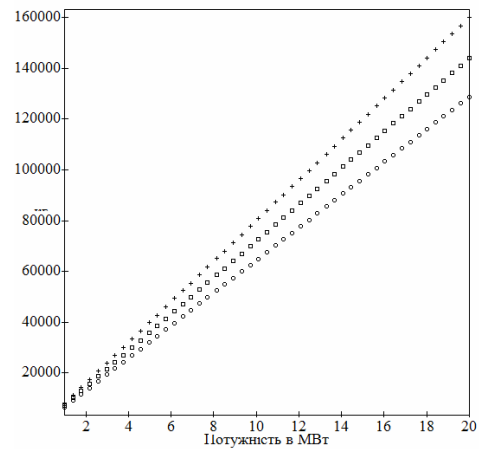


Рис. 10. Добова потреба котельної ДНУЗТа в соломі в залежності від задіяної теплової потужності



Рис. 11. Сонячний колектор на даху будівлі

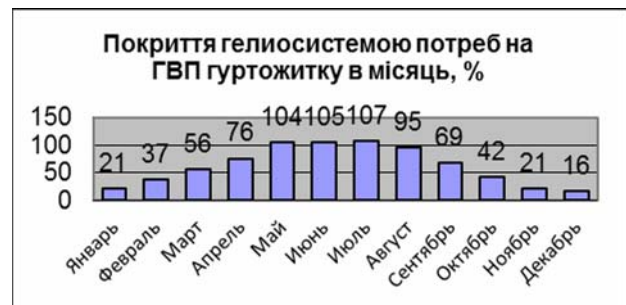


Рис. 12. Покриття потреб гуртожитку по місяцям за рахунок сонячної теплосистеми

Підсумовуючи результати, наведені на рис. 12 можна стверджувати, що за рахунок геліоколекторів в цілому можна забезпечити більше 60 % потреби гуртожитку в гарячому водопостачанні. Попередній бюджет проекту буде такий тис. грн.:

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

Вартість обладнання	520;
Вартість проектних робіт	31,2;
Будівельно-монтажні роботи	312;
Вартість пуско-налагоджувальних робіт	52;
Адміністративні витрати:	50.

Наукова новизна та практична значимість

Вперше запропоновано використовувати нові комплексні підходи для підтримки необхідного теплового балансу в зимовий період. Це дозволяє застосування таких джерел енергії, як тепло, яке вилучає людина, тепло, яке виходить з вентиляційним повітрям, а також теплоту поновлювальних джерел енергії. Також запропоновано нові схемні рішення для системи тепlopостачання та вентиляції, які повинні бути об'єднані в одну систему. Ця система повинна вкупі з тепловим насосом ефективно працювати як в зимовий, так і в літній періоди.

Висновки

Таким чином, у цій роботі наведено тільки частку можливих заходів з енергозбереження. Поза межами залишилися такі заходи, як застосування теплових насосів, геотермального тепла, енергоактивні огороження. Попередні розрахунки можливої економії завдяки запропонованим заходам для різних будівель, які належать ДНУЗТу наведено в табл. 2.

Таблиця 2

Можлива економія завдяки запропонованим заходам для різних будівель, які належать ДНУЗТу

Опалювальний сезон	Будівля	Витрата теплоти, Гкал
2012–2013	Новий навчальний корпус	945,72
	Старий навчальний корпус	2 716,75
	Прибудова актового залу	368,19

Закінчення табл. 2

Можлива економія			Скорочення викидів парникових газів, т
Теплота, Гка (%)	Газу, тис. м ³	У грошовому еквіваленті, тис. грн.	
298,28 (31,54)	46,3	289,72	87,07
856,85 (31,54)	133,05	832,29	250,14
116,13 (31,54)	18,03	112,8	33,9

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- Аналіз впровадження енергозберігаючих заходів в університеті / О. М. Пшінько, Д. К. Яценко, В. Г. Кузнецов, М. В. Шаптала // Вісн. Київ. нац. ун-ту технологій та дизайну. – 2013. – № 6 (74). – С. 344–352.
- Гершкович, В. Ф. Оцінка ефективності використання в тепловому насосі тепла із зворотного трубопроводу теплової мережі при тепlopостачанні від ТЕЦ / В. Ф. Гершкович, А. К. Литовченко // Новини тепlopостачання. – 2011. – № 1 (125). – С. 35–37.
- ДСТУ 4472-2005. Системи енергетичного менеджменту. Загальні вимоги. – Київ : Держстандарт України, 2005. – 28 с.
- Кузнецов, В. Г. Експрес-оцінка теплових втрат у мережах тепlopостачання / В. Г. Кузнецов, В. Ю. Половников, Ю. С. Циганкова // Новини тепlopостачання. – 2012. – № 11 (47). – С. 33–35.
- Методика визначення обсягів споживання електричної енергії та теплоти науковими підрозділами університету / О. М. Пшінько, В. Г. Кузнецов, М. В. Шаптала, Д. С. Шаптала // Наука та прогрес транспорту. – 2015. – № 1 (55). – С. 15–22. doi: 10.15802/stp2015/38235.
- Никитин, Е. Е. Концептуальные вопросы модернизации теплообеспечения населенных пунктов Украины / Е. Е. Никитин // Проблемы загалльної енергетики : наук. зб. / Нац. акад. наук України, Ін-т заг. енергетики. – Київ, 2012. – Вип. 2. – С. 5–11.
- Никитин, Е. Е. Оценка технико-экономической эффективности комплексной термомодернизации централизованной системы тепло-

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

- снабжения и зданий / А. В. Дутка, Е. Е. Никитин // Энергетика и ТЭК. – 2013. – № 9 (126). – С. 22–26.
8. Показники ефективності систем теплопостачання / В. І. Дешко, М. М. Шовколюк, Ю. В. Шовколюк, С. М. Дудніков // Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання : наук.-техн. зб. – Київ, 2012. – Вип. 16. – С. 182–192.
 9. Пшінько, О. М. Аналіз ефективності системи теплопостачання студмістечка Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту / О. М. Пшінько, В. А. Габрінець, В. М. Горячкін // Наука та прогрес транспорту. – 2014. – № 2 (50). – С.74–82. doi: 10.15802/stp2014/23756.
 10. Behfard, M. Numerical investigation for finding the appropriate design parameters of a fin-and-tube heat exchanger with delta-winglet vortex generators / M. Behfard, A. Sohankar // Heat and Mass Transfer. – 2016. – Vol. 52. – Iss. 1. – P. 21–37. doi: 10.1007/s00231-015-1705-1.
 11. Energy management handbook / by Wane C. Turner. – the 4th ed. – Lilburn, Georgia : The Fairmount Press, Inc., 2001. – 758 p.
 12. Exploring the effectiveness of social messages on promoting energy conservation behavior in buildings / S. Khashe, A. Heydarian, B. B.-Gerber, W. Wood // Building and Environment. – 2016. – Vol. 102. – P. 83–94. doi: 10.1016/j.buildenv.2016.03.019.
 13. Heat Roadmap Europe 2050. Study for the EU27. Performed by Aalborg University, Halmstad University and Plan Energy [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.euroheat.org>. – Назва з екрана. – Перевірено :19.05.2016.
 14. Mert, S. O. Experimental performance investigation of a shell and tube heat exchanger by exergy based sensitivity analysis / S. O. Mert , A. Reis // Heat and Mass Transfer. – 2015. – Vol. 52. – Iss. 6. – P. 1117–1123. doi: 10.1007/s00231-015-1636-x.

А. Н. ПШИНЬКО¹, В. Г. КУЗНЕЦОВ², Д. К. ЯЦЕНКО³, В. А. ГАБРИНЕЦ^{4*}

¹Каф. «Здания и строительные материалы», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 46, эл. почта pshinko@r.diit.edu.ua, ORCID 0000-0002-1598-2970

²Каф. «Электроснабжение железных дорог», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. + 38 (056) 373 15 25, эл. почта vkuz@i.ua, ORCID 0000-0003-4165-1056

³Каф. «Проектирование и строительство дорог», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел.+38 (056) 373 67 94, эл. почта yasenko@nh.diit.edu.ua, ORCID 0000-0002-4886-3134

^{4*}Каф. «Теплотехника», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 87, эл. почта gabrin62@mail.ru, ORCID 0000-0002-6115-7162

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ СИСТЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ИНФРАСТРУКТУРЫ ОБЩЕСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ НА ПРИМЕРЕ ДНУЖТ

Цель. В исследовании необходимо проанализировать возможность и условия повышения эффективности работы систем теплоснабжения и вентиляции общественных зданий на современном этапе развития страны и характерных климатических особенностей Украины. Главной целью работы является разработка конкретных мероприятий для общественных зданий, которые приведут к значительному сокращению затрат энергетических ресурсов на отопление и систему кондиционирования воздуха. В качестве примера берутся аналогичные системы компактного городка Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна (ДНУЖТ), который отапливается с помощью собственной автономной котельной, потребляющей природный газ. **Методика.** На основе анализа статистических расходов тепловой энергии за последние 5 лет определяются виды и рассчитываются величины тепловых потерь для конкретных условий использования. Эти потери сравниваются с аналогичными в мировой практике, и на основе сравнения и анализа действующей системы предлагаются пути снижения величины тепловых потерь за счет применения различных технических и организационных методов. В работе предлагается также привлечение для этой цели вторичных и альтернативных источников энергии. В качестве вторичных энергоресурсов рассматриваются теплота, выделяемая человеком, и теплота, которая выходит с воздухом, изымается при вентиляции зданий. А в качестве возобновляемых источников – солнечная и геотермальная

ЕКОНОМІКА ТА УПРАВЛІННЯ

енергии. Для повышения температурного потенциала теплоносителей предлагается применять тепловые насосы. **Результаты.** При максимально возможном использовании всех предложенных мероприятий и внедрении рациональных схемных и технических решений, которые предлагаются для систем тепло- и горячего водоснабжения, затраты энергии на тепло и горячее водоснабжение могут быть снижены на 30–35 %. **Научная новизна.** Впервые предложено использовать новые комплексные подходы для поддержания необходимого теплового баланса в зимний период. Авторами также предложены новые схемные решения для системы теплоснабжения и вентиляции (как в зимний, так и в летний периоды), основанные на использовании теплового насоса и вторичных энергоресурсов. **Практическая значимость.** Введение предложенных схемных решений и подходов к обеспечению теплом и воздухом могут быть реализованы при относительно небольших капиталовложениях и не требуют существенного переоборудования уже установленных систем.

Ключевые слова: система тепло- и горячего водоснабжения; тепловые потери; тепловой режим; регулирование теплового режима; теплообменник; вентиляция; альтернативные источники энергии; вторичные энергоресурсы; тепловой насос

M. PSHYNKO¹, V. H. KUZNETSOV², D. C. YATSENKO³, V. O. GABRINETS^{4*}

¹Dep. «Buildings and Construction Materials», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 46, e-mail pshynko@r.dnurt.edu.ua, ORCID 0000-0002-1598-2970

²Dep. «Electricity Supply of Railways», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, тел. + 38 (056) 373 15 25, эл. почта vkuz@i.ua, ORCID 0000-0003-4165-1056

³Dep. «Design and Construction of Roads», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, тел.+38 (056) 373 67 94, эл. почта yacenko@nh.dnurt.edu.ua, ORCID 0000-0002-4886-3134

^{4*}Dep. «Heat Engineering», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 87, e-mail gabrin62@mail.ru, ORCID 0000-0002-6115-7162

IMPROVING THE EFFICIENCY OF THE HEATING SYSTEM FOR PUBLIC BUILDINGS INFRASTRUCTURE IN THE CONTEXT OF DNURT

Purpose. The paper analyses the possibility and terms of increasing the efficiency of heating and ventilation systems of public buildings at the present stage of development and the specific climatic conditions of Ukraine. The main purpose is to develop specific measures for public buildings, which will lead to a significant reduction in energy costs for heating and air conditioning system. The example is similar system of DNURT compact campus, which is heated with its own autonomous boiler that uses natural gas. **Methodology.** The statistical heat loss analysis for the last 5 years allows defining the types and calculating the heat loss values for specific conditions. These losses are compared with those in the world practice and based on the comparison and analysis of the current system there are offered the ways to reduce the heat loss values through the use of various technical and organizational methods. The paper also proposes involvement for this purpose of secondary and alternative energy sources. The secondary energy resources include the heat that is emitted by people and that coming out with the air during ventilation of buildings. The renewable sources include solar and geothermal energy. To enhance the heat transfer medium temperature capacity it is proposed to use the heat pumps. **Findings.** The maximum possible use of the proposed measures and implementation of rational schematic and engineering solutions for heat and hot water supply systems can reduce the energy loss for heating and hot water by 30-35%. **Originality.** The paper for the first time proposed the use of new integrated approaches to maintain the desired heat balance in the winter period, as well as the new schematic solutions for heating and ventilation systems, both in winter and in summer, based on the use of heat pumps and secondary energy resources. **Practical value.** The introduction of the proposed schematic solutions and approaches demand relatively small capital investments and do not require significant reconstruction of already installed systems.

Keywords: heat and hot water supply system; heat loss; thermal conditions; thermal control; heat exchanger; ventilation; alternative energy sources; secondary energy resources; heat pump

REFERENCES

1. Pshinko O.M., Yatsenko D.K., Kuznietsov V.H., Shaptala M.V. Analiz vprovadzhennia enerhozberihaiuchykh zakhodiv v universyteti [Analysis of energy efficiency measures in the university]. *Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu tekhnologii ta dizainu* [Bulletin of Kyiv National University of Technologies and Design], 2013, no. 6 (74), pp. 344-352.
2. Hershkovych V.F., Lytovchenko A.K. Otsinka efektyvnosti vykorystannia v teplovomu nasosi tepla iz zvorotnoho truboprovodu teplovoi merezhi pry teplopostachanni vid TETs [Evaluating the effectiveness of the heat use in the heat pump from the return pipe of heating network with heat supply from CHP]. *Novyny teplopostachannia – News of Heating*, 2011, no. 1 (125), pp. 35-37.
3. DSTU 4472-2005. *Systemy enerhetychnoho menedzhmentu. Zahalni vymohy* [State Standard 4472-2005. Energy management systems. General requirements.]. Kyiv, Derzhstandart Ukrainy Publ., 2005. 28 p.
4. Kuznietsov V.H., Polovnykov V.Yu., Tsyhankova Yu.S. Ekspres-otsinka teplovykh vtrat u merezhakh teplopostachannia [Rapid assessment of thermal losses in heating networks]. *Novyny teplopostachannia – News of Heating*, 2012, no. 11 (47), pp. 33–35.
5. Pshinko O.M., Kuznietsov V.H., Shaptala M.V., Shaptala D.Ye. Metodyka vyznachennia obsiahiv spozhyvannia elektrychnoi enerhii ta teploty naukovymy pidrozdilamy universytetu [Consumption volumes technology of electricity and heat by departments of university]. *Nauka ta prohres transportu – Science and Transport Progress*, 2015, no. 1 (55), pp. 15-22. doi: 10.15802/stp2015/38235.
6. Nikitin Ye.Ye. Kontseptualnyye voprosy modernizatsii teploobespecheniya naselennykh punktov Ukrainy [Conceptual problems of modernization of heating settlements in Ukraine]. *Problemy zahalnoi enerhetyky* [Problems of Common Energy]. Kyiv, 2012, issue 2, pp. 5-11.
7. Nikitin Ye.Ye., Dutka A.V. Otsenka tekhniko-ekonomicheskoy effektivnosti kompleksnoy termomodernizatsii tsentralizovannoy sistemy teplosnabzheniya i zdaniy [Estimation of technical and economic efficiency of the integrated thermo-centralized heating systems and buildings]. *Energetika i TEK – Energy and FEC*, 2013, no. 9 (126), pp. 22-26.
8. Deshko V.I., Shovkoliuk M.M., Shovkoliuk Yu.V., Dudnikov S.M. Pokaznyky efektyvnosti system teplopostachannia [Performance indicators of heating systems]. *Ventyliatsiia, osviltennia ta teploha-zopostachannia: naukovo-tekhnichnyi zbirnyk* [Ventilation, lighting and heat: Scientific and technical papers], 2012, issue 16, pp. 182-192.
9. Pshinko O.M., Habrinets V.A., Horiachkin V.M. Analiz efektyvnosti systemy teplopostachannia studmistechna Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transport [Effectiveness analysis of campus heat supply system of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport]. *Nauka ta prohres transportu – Science and Transport Progress*, 2014, no. 2 (50), pp.74-82. doi: 10.15802/stp2014/23756.
10. Behfard M., Sohankar A. Numerical investigation for finding the appropriate design parameters of a fin-and-tube heat exchanger with delta-winglet vortex generators. *Heat and Mass Transfer*, 2016, vol. 52, issue 1, pp. 21-37. doi: 10.1007/s00231-015-1705-1.
11. Turner W. C. Energy management handbook, the 4th ed. Lilburn, Georgia. The Fairmount Press, Inc. Publ., 2001. 758 p.
12. Khashe S., Heydarian A., Gerber B. B., Wood W. Exploring the effectiveness of social messages on promoting energy conservation behavior in buildings. *Building and Environment*, 2016, vol. 102, pp. 83-94. doi: 10.1016/j.buildenv.2016.03.019.
13. Heat Roadmap Europe 2050. Study for the EU27. Performed by Aalborg University, Halmstad University and Plan Energy. Available at: <http://www.euroheat.org> (Accessed 19 May 2016).
14. Mert S.O., Reis A. Experimental performance investigation of a shell and tube heat exchanger by exergy based sensitivity analysis. *Heat and Mass Transfer*, 2015, vol. 52, issue 6, pp. 1117-1123. doi: 10.1007/s00231-015-1636-x.

Стаття рекомендована до публікації д.екон.н., проф. Ю. С. Барашом (Україна); д.т.н., проф. М. В. Губинським (Україна).

Надійшла до редколегії: 29.02.2016

Прийнята до друку: 31.05.2016