

УДК 697.91:697.97

доцентка **Олександра Череднікова**,

al.chered108@gmail.com, ORCID: 0000-0003-4684-9870,

доцент **Дмитро Гузик**,

guzikd64@ukr.net, ORCID: 0000-0003-2130-951X,

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

професор **Віктор Мілейковський**,

mileikovskiy@gmail.com, ORCID: 0000-0001-8543-1800,

Київський національний університет будівництва і архітектури

студент **Артем Харченко**,

haryok111@gmail.com, ORCID: 0009-0000-9113-874X,

студент **Артем Соснін**,

sosnin_artem@ukr.net, ORCID: 0009-0007-2547-6039,

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

студент **Микола Чередніков**,

nikola.cherednikov@gmail.com, ORCID: 0009-0001-3498-8614,

Харківський національний університет радіоелектроніки

ТЕРМОМОДЕРНІЗАЦІЯ ТА УДОСКОНАЛЕННЯ ІНЖЕНЕРНИХ СИСТЕМ КОРПУСУ Ф НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ «ПОЛТАВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА ІМЕНІ ЮРІЯ КОНДРАТЮКА»

***Анотація.** У статті висвітлені науково-обґрунтовані заходи з проведення термомодернізації громадської будівлі, які передбачають оновлення у відповідності до сучасної нормативної будівельної бази інженерних систем створення мікроклімату. Дослідження проводяться паралельно з реалізацією проєкту «Вища освіта України» з термомодернізації будівель закладів вищої освіти, який підтримується Європейським інвестиційним банком та НЕФКО. Впровадження розроблених та затверджених заходів з модернізації системи вентиляції, теплопостачання та опалення в комплексі з утепленням усіх зовнішніх огорожувальних конструкцій, за попередніми розрахунками, повинно підвищити енергоефективність будівлі навчального корпусу «Ф» Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка». Найбільш енергоефективними заходами при реконструкції інженерних систем у цьому проєкті є влаштування автоматизованого індивідуального пункту, використання рекуператорів у системах вентиляції, утеплення трубопроводів систем опалення та теплових мереж у неопалюваних приміщеннях будівлі.*

Ключові слова: термомодернізація, автоматизований індивідуальний тепловий пункт, теплова ізоляція, рекуперація теплоти.

Вступ. Термомодернізація з метою підвищення енергоефективності та удосконалення інженерних систем є важливим кроком у забезпеченні комфортного та ефективного використання будівель. У зв'язку зі зростанням цін на енергію та збільшенням екологічної свідомості, зменшення споживання енергії при забезпеченні нормативного мікроклімату в приміщеннях стають все більш актуальними. Термомодернізація та удосконалення інженерних систем можуть допомогти вирішити ці проблеми, знизити витрати на енергоспоживання та підвищити якість повітря в приміщенні. У цьому контексті, розгляд та аналіз технологій, що дозволяють забезпечити оптимальний клімат у будівлях, є особливо важливим завданням, яке дозволить досягти економічної та екологічної ефективності в будівельній галузі.

Актуальність дослідження. Дослідження в галузі термомодернізації та удосконалення інженерних систем є актуальним з кількох причин:

1. Зростання вартості енергії та підвищення екологічних ризиків ставлять перед сучасними будівлями нові вимоги до енергоефективності та екологічної безпеки, тому власники будівель шукають способи зниження витрат на роботу інженерних систем, а також покращення якості повітря у приміщеннях.
2. У багатьох старих будівлях вентиляційна система може бути застарілою та неефективною, що призводить до погіршення якості повітря та зростання ризику поширення захворювань. Тому удосконалення вентиляційної системи може допомогти не тільки знизити витрати на енергоспоживання, але й забезпечити більш комфортні та безпечні умови проживання для людей.
3. З поширенням нових технологій у будівельній галузі з'являється можливість впровадження новітніх систем вентиляції, які можуть забезпечувати не тільки енергоефективність, але й додаткові функції, як-от фільтрування повітря.

У цьому контексті, дослідження технологій термомодернізації та удосконалення вентиляційних систем має велике значення для розвитку будівельної галузі та забезпечення комфортних та безпечних умов проживання та роботи людей у будівлях.

Останні дослідження та публікації. Оскільки Україна імплементується в Європейський Союз, то важливим моментом є адаптація нормативної бази, що діє в будівництві та енергетичному аудиті до європейських норм: ДСТУ 9190:2022 [1], ДСТУ Б EN 15251:2011 [2], ДСТУ-Н Б А.2.2-13:2015 [3]. Крім того, Україна розробляє свої власні нормативи в напрямку енергоефективності та екологічної сертифікації, зокрема СОУ ОЕМ 08.002.41.032 [4], що встановлює метод екологічної сертифікації громадських будівель в рамках системи екологічної сертифікації та маркування за ДСТУ ISO 14024:2018.

Формулювання цілей статті. Вибір сучасних технологій термомодернізації та удосконалення вентиляції, а також інших інженерних систем у будівлях з метою підвищення їх енергоефективності та забезпечення комфортних та безпечних умов для людей.

Основна частина. Під час проведення дослідження було проведено огляд інженерних систем теплопостачання, опалення та вентиляції навчального корпусу «Ф» Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», в результаті чого виявлено ряд недоліків, що свідчить про неефективність роботи цих систем.

Так магістральні трубопроводи системи опалення, які розташовані на горищі та в підвалі, перебувають у незадовільному стані та не є належним чином теплоізовльовані (рис. 1).



Рис. 1 Стан теплоізоляції магістральних трубопроводів навчального корпусу «Ф» а – на горищі; б – в приміщеннях підвалу

Система теплопостачання навчального корпусу "Ф" мала проблему з відсутністю лічильника теплової енергії в тепловому вводі, що ускладнювало визначення витрати теплоти, яка припадала саме на цей корпус університету. Крім того, регулювання відпуску теплової енергії відбувалося лише двома елеваторами та засувками, що не відповідало стандартам для теплових пунктів на вводах до будівель. В індивідуальному тепловому пункті корпусу було встановлено велику кількість гілок системи опалення, які розташовувалися в хаотичному порядку у двох приміщеннях теплового пункту (рис. 2).

Система витяжної вентиляції аудиторій та кабінетів була каналною природною, що ускладнювало регулювання використання теплової енергії для її роботи. Централізована система припливної вентиляції (рис. 3) знаходиться в зруйнованому стані, морально застаріла і потребує заміни, її відновлення недоцільне і неможливе за відсутності подібних компонентів. Такий стан загальнообмінної припливно-витяжної вентиляції корпусу «Ф» НУПП призвів до погіршення якості повітря та збільшення витрат енергії.

У ході цієї роботи були прийняті рішення щодо часткової заміни зношених магістральних трубопроводів системи опалення з повним їх утепленням. Товщина утеплення (рис. 4) трубопроводів, що розташовані на горищі та в підвалі навчального корпусу «Ф» приймалася згідно з ДБН В.2.5-67:2013 [5]. Для трубопроводів, що розташовані на горищі і в підвалі навчального корпусу «Ф» та виконані із труб сталевих електрозварних $\varnothing 57 \times 3$, товщина ізоляційного шару була прийнята $\delta_{із} = 50$, $\varnothing 45 \times 3 - \delta_{із} = 40$, $\varnothing 38 \times 3$, $\varnothing 32 \times 2$, $\varnothing 25 \times 2 - \delta_{із} = 30$.

Утеплення трубопроводів дозволить скоротити тепловиділення від трубопроводів в опалювальний простір підвалу від 25,7 Вт/м до 10,9 Вт/м труб та неопалювальний простір горища від 21,5 Вт/м до 14,9 Вт/м. У цілому у всьому будинку цей захід повинен скоротити додаткові витрати теплоти в простір підвалу на 10,86 кВт·год, а в неопалювальному горищі на 1,65 кВт·год.

При проєктуванні будівлі у 80-ті роки минулого століття тепловий ввід корпусу "Ф" був розділений на два елеваторні вузли, які були розташовані в двох окремих приміщеннях. Таке розміщення гребінок і арматури ускладнювало, а іноді робило неможливим регулювання роботи окремих шести гілок системи опалення. У ході виконання даної роботи було прийнято рішення після теплового лічильника та індивідуального теплового пункту встановити дві гребінки: на подавальному та зворотному трубопроводах, до яких приєднати усі шість гілок системи опалення, зі встановленням на подавальних трубопроводах кранів та балансувальних клапанів на зворотних трубопроводах, для гідравлічного балансування окремих гілок системи опалення (Рис. 5).



Рис. 2 Індивідуальний тепловий пункт корпусу «Ф» з двома елеваторними вузлами



Рис. 3 Стан елементів централізованої припливної камери



Рис. 4 Теплова ізоляція - базальтові циліндри покриті алюмінієвою фольгою завтовшки 0,5 мм

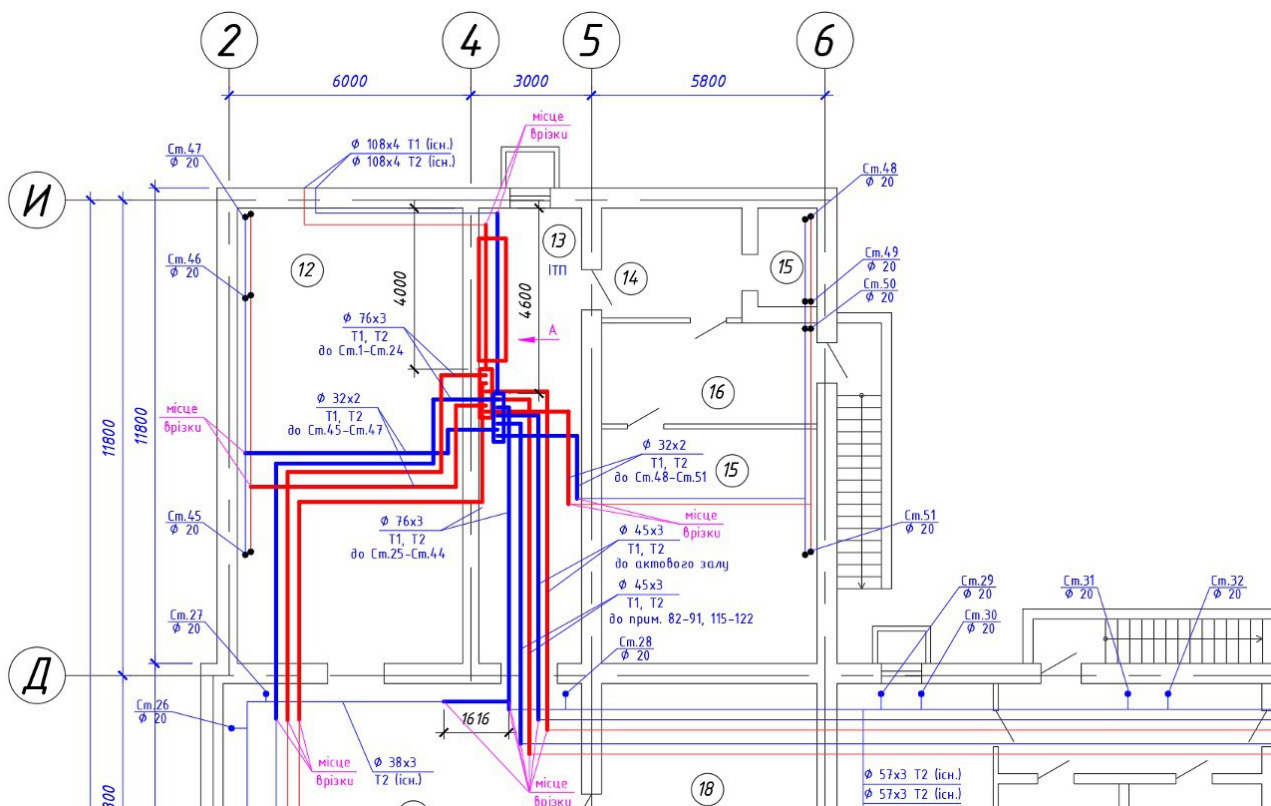


Рис. 5 План заміни трубопроводів в межах індивідуального теплового пункту та сусідніх підвальних приміщень

Гілки були поділені таким чином:

- перша – стояки Ст.1-Ст.24;
- друга – стояки Ст.25-Ст.44;
- третя – система опалення актового залу;
- четверта – приміщення під актовим залом;
- п'ята – стояки Ст.45-Ст.47;
- шоста – стояки Ст.48-Ст.51.

Розбалансування системи опалення завжди негативно відбивається на внутрішніх параметрах мікроклімату приміщень та може призвести до збільшення енергоспоживання системою опалення. Загальні тепловтрати системи опалення за конкретний місяць дорівнюють (кВт · год) [1]:

$$Q_{H,em,ls} = \left(\frac{f_{hydr} \cdot f_{im} \cdot f_{rad}}{\eta_{em}} - 1 \right) \cdot Q_{H,em,out},$$

де f_{hydr} – коефіцієнт гідравлічного налагодження системи, при розрахунку енергоспоживання становить $f_{hydr} = 1,01$ після реконструкції, $f_{hydr} = 1,03$ до реконструкції; f_{im} – коефіцієнт, що враховує застосування періодичного теплового режиму. В нашому випадку індивідуальний тепловий пункт дозволить застосовувати періодичний тепловий режим з регулюванням, що має інтегрований зворотній зв'язок, тому $f_{im} = 0,97$ після реконструкції та $f_{im} = 1,0$ до реконструкції; f_{rad} – коефіцієнт, що враховує променеву складову теплового потоку; η_{em} – загальний рівень ефективності для тепловіддавальної складової системи в приміщенні; $Q_{H,em,out}$ – енергія виходу підсистеми тепловідачі за i -й місяць, кВт · год.

Ефективність генерування теплоти до влаштування індивідуального теплового пункту згідно з методиками [6] і [7] становила 70 % для системи централізованого теплопостачання з центральним якісним регулюванням за температурним графіком до 110° С зі зрізкою без коригування в індивідуальному тепловому пункті. Після реконструкції прогнозована ефективність повинна досягти 95 % для централізованого теплопостачання з якісним регулюванням зі зрізкою температурного графіка і коригуванням в індивідуальному тепловому пункті за погодними умовами. Тобто заходи щодо влаштування індивідуального теплового пункту з якісним регулюванням прогнозовано повинні призвести до підвищення ефективності генерування теплоти на 25 % зі зменшенням витрат на споживання теплової енергії системою опалення.

При реконструкції в індивідуального теплового пункту навчального

корпусу «Ф» Національного університету “Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка” передбачено до встановлення таке обладнання:

- універсальний теплообчислювач PolluTherm 3,6 V з механічним витратоміром, виробник SENSUS, клас точності 2;
- лічильник витрати води WP-Dynamic 50/150, метрологічний клас В;
- електронний регулятор ECL Comfort 310;
- циркуляційні насоси IMP із регульованою частотою обертання електродвигуна.

Регулювання витрати та температури теплоносія системи опалення здійснюється в індивідуальному тепловому пункті за допомогою електронного регулятора ECL Comfort 310 за зовнішньою температурою повітря та температурою внутрішнього характерного приміщення (Рис. 6).

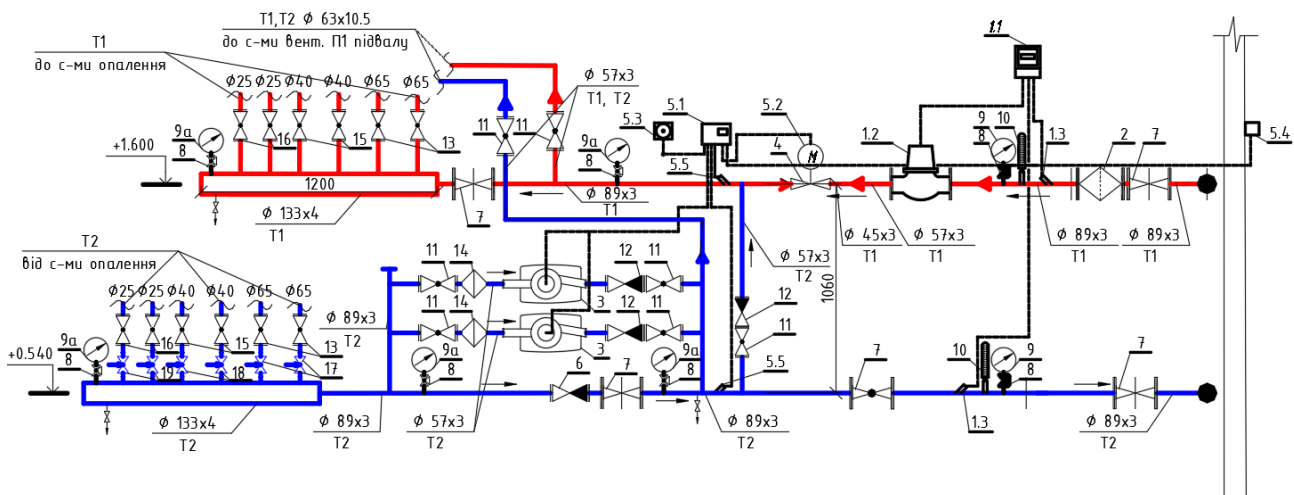


Рис. 6 – Схема автоматизованого індивідуального теплового пункту навчального корпусу «Ф»:

- 1.1 - Універсальний теплообчислювач PolluTherm; 1.2 - Лічильник гарячої води WP-Dynamic 50/150 QN 15,0 Q_{min}=0,6 м³/год, Q_{max}=30 м³/год Ø50; 1.3 - Термодатчик з втулкою;
- 2 - Фільтр фланцевий Ду = 80 мм Zetkama; 3 - Насос циркуляційний системи опалення; «IMP ECL 501-4» Ø50 L=15 м³/год Н=12 м; 4 - Регулюючий 2-х ходовий клапан VF2 KVS=25 Ø40;
- 5.1 - Електронний регулятор ECL Comfort 310 з картою P30; 5.2 - Редукторний електропривод AMV 435; 5.3 - Датчик температури внутрішнього повітря ESM-10;
- 5.4 - Датчик температури зовнішнього повітря EST-10; 5.5 - Універсальний датчик температури ESMB-12 з гільзою L=100 мм; 6 - Клапан зворотній Ø80; 7 - Кран кульовий фланцевий 11с67п 1СФ Ø80; 8 - Кран трьохходовий 11Б18бк Ø15; 9 - Манометр МТП 0-1.0 МПа; 9а Термоманометр 0-150 °С МТП 0-1.0 МПа; 10 - Термометр 0-150 °С; 11 - Кран кульовий фланцевий 11с67п 1СФ Ø50; 12 - Клапан зворотній Ø50; 13 - Кран кульовий фланцевий 11с67п 1СФ Ø65; 14 - Фільтр фланцевий Ду = 50 мм; 15 - Кран кульовий фланцевий 11с67п 1СФ Ø40; 16 - Кран кульовий фланцевий 11с67п 1СФ Ø25; 17 - Клапан балансувальний АВ-QM Danfoss Ø40; 18 - Клапан балансувальний АВ-QM Danfoss Ø25; 19 - Клапан балансувальний АВ-QM Danfoss Ø20.

Не менш важливою є реконструкція вентиляції. До проведення робіт щодо підвищення енергоефективності корпусу «Ф» будівля мала декілька централізованих припливних систем, що розташовувались у підвальному приміщенні, та декілька витяжних систем зі штучною циркуляцією повітря, вентилятори яких зосереджувалися в основному на технічному поверсі.

Витяжні системи, як і припливні, морально застаріли та зазнали механічного руйнування: демонтовані електродвигуни вентиляторів, зруйновані горизонтальні канали, відсутнє ущільнення повітропроводів та еластичних вставок (рис. 7).



Рис. 7 Залишки механічних витяжних систем вентиляції (до реконструкції)

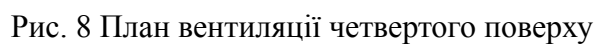
Також приміщення корпусу, які повинні бути обладнаними системами вентиляції (аудиторії, кабінети, лабораторії, санвузли) мають різний роботи. Так наприклад, кабінети з персоналом використовують протягом робочого дня, аудиторії зайняті лише під час занять, а лабораторії – під час занять або науково-дослідницьких робіт. Це остаточно нівелює доцільність відновлення централізованих припливних систем вентиляції. Для побудови систем вентиляції зі змінною витратою повітря не вистачає фінансових ресурсів.

З урахуванням зазначеного було прийнято рішення використовувати децентралізовані вентиляційні системи з утилізацією теплоти витяжного повітря в кожному приміщенні або групі приміщень. У кабінетах та невеликих аудиторіях встановлено рекуператори PRANA 150 (93 системи). В середніх та

великих аудиторіях застосовано припливно-витяжні установки з рекуператорами та електричними догрівачами ДВУТ 300 П1(П) БЕ2 ЕС (12 систем) та ДВУТ 500 П БЕ2 ЕС (18 систем) українського виробництва ПрАТ «Вентс» (Рис. 8) для тимчасового перебування студентів та персоналу. Приміщення укріття обладнано двома припливно-витяжними системами з рекуперацією тепла ВУТ 3000 ПВ ЕС.

Всі вентиляційні системи обладнані автоматикою регулювання, яка керує системою за сигналами датчиків CO_2 в приміщенні. Такі системи будуть працювати тільки за наявності людей в аудиторіях. Рекуператори за паспортами заводів-виробників мають температурний коефіцієнт ефективності 74...95 % залежно від параметрів та витрат припливного й витяжного повітря.

Висновки: Під час виконання проєктних робіт з підвищення енергоефективності корпусу «Ф» Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка» була вирішена задача наукового обґрунтування доцільності прийнятих рішень під час реалізації поставленої задачі і прийняття найбільш економічно обґрунтованого технічного рішення. Впровадження розроблених та затверджених заходів з модернізації системи вентиляції, теплопостачання та опалення в комплексі з утепленням усіх зовнішніх огорожувальних конструкцій за попередніми розрахунками повинно значно підвищити енергоефективність будівлі навчального корпусу «Ф». Часткова заміна зношених магістральних трубопроводів системи опалення та їх повне утеплення згідно з вимогами ДБН В.2.5-67:2013 призводить до зменшення втрати теплової енергії на транспортування тепла, а це в свою чергу знизить витрати на опалення та збільшить ефективність роботи опалювальної системи. Встановлення автоматизованого індивідуального теплового пункту на вводі теплової мережі, який складається з лічильника теплової енергії, гребінки, регулювальної арматури, електронного контролера, що керує насосами та регулювальною арматурою залежно від температур в приміщенні та на вулиці, забезпечує точне вимірювання витрати тепла, дозволяє ефективно налаштувати роботу системи опалення та зменшити затрати на опалення. Автоматичний контролер забезпечить стабільну температуру в приміщенні, а ізоляція трубопроводів допомагає уникнути додаткових втрат тепла. Встановлення автономних системи вентиляції з рекуперацією теплової енергії в усіх аудиторіях та кабінетах, які працюють з датчиками CO_2 , дозволяє ефективно використовувати електричну енергію на потреби вентиляційних систем, а також знизить витрати на підігрів припливного повітря завдяки рекуперації тепла.



Перспективи подальших досліджень. Наступним етапом, проведеної роботи буде визначення реального енергоспоживання системами вентиляції та теплопостачання після реалізації у спільному з Європейським інвестиційним банком та Північною екологічною фінансовою корпорацією проєкту "Вища освіта України" в Національному університеті «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка».

References

1. DSTU 9190:2022. Energy performance of buildings. Method for calculation of energy use for space heating, cooling, ventilation, lighting and domestic hot water. https://gazobeton.org/sites/default/files/sites/all/uploads/dstu_91902022_energetichna_efektivnist_budivel_metod_rozrakh.pdf
2. DSTU B EN 15251:2011. Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics (EN 15251:2007, IDT). http://www.mathcentre.com.ua/download/dstu_en_15251-2011.pdf
3. DSTU-N B A.2.2-13:2015. Energy performance of building. Guidance on the application of energy assessment of buildings. https://zakon.isu.net.ua/sites/default/files/normdocs/dstu-n_b_a.2.2-13_2015.pdf
4. SOU OEM 08.002.41.032:20XX. System for environmental certification and ecolabelling according to DSTU ISO 14024:2018 (ISO 14024:2018, IDT). Public buildings. Environmental criteria and method for life cycle assessment. Second draft. <https://www.knuba.edu.ua/zaproshuyemo-do-obgovorenniya-drugoyi-redakcziyi-proyektu-novyh-ekologichnyh-standativ-budivnyctva-do-rozrobky-yakyyh-zalucheni-eksperty-knuba/>
5. DBN V.2.5-67:2013. Heating, ventilation and conditioning. https://e-construction.gov.ua/laws_detail/3074971619479783152
6. Method for determining the energy efficiency of buildings With the Amendments. Approved by the Order of MINREHION of Ukraine 11 July 2018 No 261, 27.10.2020 No 261, the Order of Ministry for Development of Communities and Territories of Ukraine 27.10.2020 No 261 and the Order of Ministry for Development of Communities, Territories and Infrastructure of Ukraine 11.06.2023 No 484 <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0822-18#n14>

UDC 697.91:697.97

Associate Professor **Oleksandra Cherednikova**,
al.chered108@gmail.com, ORCID: 0000-0003-4684-9870,

Associate Professor **Dmytro Huzyk**,
guzikd64@ukr.net, ORCID: 0000-0003-2130-951X,
National University «Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic»

Associate Professor **Viktor Mileikovskiy**,
mileikovskiy@gmail.com, ORCID: 0000-0001-8543-1800,
Kyiv National University of Construction and Architecture

student **Artem Kharchenko**,
haryok111@gmail.com, ORCID: 0009-0000-9113-874X,
student **Artem Sosnin**,

sosnin_artem@ukr.net, ORCID: 0009-0007-2547-6039,
National University «Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic»

student **Mykola Cherednikov**,
nikola.cherednikov@gmail.com, ORCID: 0009-0001-3498-8614,
Kharkiv National University of Radio Electronics

THERMAL MODERNIZATION AND IMPROVEMENT OF ENGINEERING SYSTEMS OF CAMPUS F OF THE NATIONAL UNIVERSITY "YURI KONDRATYUK POLTAVA POLYTECHNIC"

Abstract. *Scientifically based measures for carrying out thermal modernization of a public building, which involve updating microclimate engineering systems by the modern regulatory construction framework, were highlighted in this article. Research is conducted in parallel with the implementation of the "Higher Education of Ukraine" project, which is supported by the European Investment Bank and NEFCO. Implementation of the developed and approved measures for the modernisation of the ventilation, heat supply and heating systems in combination with the insulation of all external envelope structures, according to preliminary calculations, should significantly improve the energy efficiency of the building of the educational building 'F'. Partial replacement of worn-out heating main pipelines and their complete insulation in accordance with the requirements of DBN B.2.5-67:2013 will reduce heat energy losses for heat transportation, which in turn will reduce heating costs and increase the efficiency of the heating system. Installing an automated individual heat point at the heat network inlet, which consists of a heat meter, a comb, control valves, an electronic controller that controls pumps and control valves depending on indoor and outdoor temperatures, ensures accurate measurement of heat consumption, allows effective adjustment of the operation of the heating system and reduce heating costs. An automatic controller ensures a stable indoor temperature,*

and the insulation of pipelines helps to avoid additional heat loss. The installation of autonomous ventilation systems with heat recovery in all classrooms and offices that work with CO₂ sensors allows for efficient use of electrical energy for ventilation systems, and reduces the cost of heating the supply air through heat recovery.

Key words: Thermal modernization, automated individual heating point, thermal insulation, heat recuperation.