

УДК 693:[628.8:628.9]

к.т.н., доц. **Микола Кізієв**,

m.d.kiziev@nuwm.edu.ua, ORCID: 0000-0002-1491-1695,

к.т.н., доц. **Ольга Новицька**,

o.s.novytska@nuwm.edu.ua, ORCID: 0000-0001-7286-9731,

к.т.н., доц. **Наталія Кравченко**,

n.v.kravchenko@nuwm.edu.ua, ORCID: 0000-0003-1336-4893,

к.т.н., доц. **Сергій Проценко**,

s.b.protsenko@nuwm.edu.ua, ORCID: 0000-0002-1292-0651,

Національний університет водного господарства та природокористування

АНАЛІЗ ЗАХОДІВ З ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ НАВЧАЛЬНИХ КОРПУСІВ НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ ВОДНОГО ГОСПОДАРСТВА ТА ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ

Проаналізовано заходи з підвищення енергоефективності навчальних корпусів НУВГП, які заплановано впровадити в рамках спільного Проєкту Міністерства освіти і науки України та Європейського інвестиційного банку «Вища освіта України. Енергоефективність та сталий розвиток», а саме: влаштування теплової ізоляції фасадів, покриття, підлоги по ґрунту та нижніх поверхів, заміна вікон і дверей на сучасні герметичні конструкції, влаштування теплової ізоляції трубопроводів, модернізація автоматизованих вузлів регулювання теплової енергії (АВРТЕ), систем освітлення та опалення, впровадження систем енергетичного моніторингу та диспетчеризації, влаштування системи вентиляції з рекуперацією теплоти витяжного повітря. Заходами, що здатні окупитися якнайшвидше, є теплова ізоляція трубопроводів, модернізація АВРТЕ й освітлення, впровадження систем енергомоніторингу та диспетчеризації. Найбільш тривалого терміну окупності потребуватиме запровадження рекуперації теплоти витяжного вентиляційного повітря, проте цей захід є необхідним з огляду на суттєве зменшення витрат теплової енергії на підігрівання зовнішнього припливного повітря в холодний період року. Впровадження запропонованих заходів дозволить знизити споживання енергії та відповідних витрат на 60 %, а саме – на 6 232 тис. кВт·год/рік (порівняно з базовим рівнем витрат на енергоспоживання 10 286 тис. кВт·год/рік), при одночасному підвищенні функціональності та комфортності будівель (з приведенням умов мікроклімату у приміщеннях у відповідність до нормативних вимог). Впровадження енергоефективних заходів також призведе до зменшення викиду парникових газів на 50 %, а саме – на 1648 т/рік.

Ключові слова: енергоефективність будівель; термомодернізація; енергоефективні заходи; економія енергоресурсів; викиди парникових газів.

Вступ. У рамках проєкту «Вища освіта України» низка університетів нашої країни отримує спільну фінансову підтримку від Європейського інвестиційного банку (ЄІБ) та інших фінансових інститутів Європейського Союзу (ЄС) для підвищення енергоефективності будівель університетів, економії енергоресурсів зі зниженням викидів парникових газів та з одночасним покращенням якості навчання, соціальної і науково-дослідної бази, а також зі зниженням видатків на їх утримання [1].

ЄІБ є основним інвестором у комплексну термомодернізацію переважної частини українських університетів у межах проєкту «Вища освіта України». Дещо меншу частину університетів-учасників Проєкту співфінансує Північно-екологічна фінансова корпорація (НЕФКО) [1]. Крім того, до фінансування Проєкту додатково залучено грант Фонду Східноєвропейського партнерства з енергоефективності та довкілля (E5P).

У 2018 році Національний університет водного господарства та природокористування (НУВГП) був обраний Міністерством освіти і науки України (МОН) учасником Проєкту разом ще з 10-ма університетами, фінансування (кредитування) яких взяв на себе ЄІБ і розпочав активну працю за етапами цього Проєкту. Була створена робоча група реалізації Субпроєкту для НУВГП, обрані учасники тендерного комітету від НУВГП і проведено їхнє навчання. Паралельно із цим були підготовлені всі необхідні вихідні документи і дані для проведення повноцінного комплексного енергоаудиту всіх будівель НУВГП та організовано проведення його частини з обстеженням на об'єктах університету в м. Рівне.

Актуальність дослідження. Аналіз заходів з підвищення енергоефективності навчальних корпусів НУВГП є актуальним, оскільки практично з кожним роком зростають тарифи на енергоносії (електричну та теплову енергію і послуги гарячого водопостачання), а стан та теплотехнічні характеристики зовнішніх огорожувальних конструкцій будівель та їх інженерних систем дедалі гіршає, що призводить до щорічного збільшення видатків на тепло- та електропостачання навчальних корпусів НУВГП.

Останні дослідження та публікації. НУВГП активно працює в галузі енергоефективності більше ніж 20 років [2], впроваджуючи на власних об'єктах (будівлях навчальних корпусів, гуртожитків, зовнішніх та внутрішніх інженерних мережах та системах) різні сучасні заходи та технології економії теплової й електричної енергії. За вказаний період виконані теплоізоляційні роботи на фасадах навчальних корпусів № 8 та № 4, встановлені автоматизовані вузли регулювання теплової енергії (АВРТЕ) в корпусі № 8 та в житловому блоці (на 36 квартир) гуртожитку № 8 (2006 р.) та ще 15 АВРТЕ в інших гуртожитках і навчальних корпусах № 1-7, у допоміжних будівлях студмістечка (2012 р.),

проведено реконструкцію і введення в експлуатацію котельні студмістечка на біомасі (відходи деревообробки) у 2016 році, встановлено рекуператор теплової енергії викидного повітря в системі вентиляції відділу оцифрування нової і старої літератури наукової бібліотеки (2016 р.), проведена реконструкція ділянки мереж теплопостачання і гарячого водопостачання (ГВП) студмістечка (2022 р.), змонтовано і введено в експлуатацію систему ГВП гуртожитків № 7 та № 8 на базі теплового насоса (2022 р.) тощо.

Реалізація вказаної низки заходів з енергоефективності свідчить про широкий діапазон науково-дослідних і освітніх інтересів викладачів НУВГП, які беруть участь в енергоефективних проєктах на різних етапах їхнього розроблення та впровадження. Переважна більшість заходів попередньо проходить апробацію на рівні студентських наукових і кваліфікаційних робіт з їх подальшим суттєвим удосконаленням досвідченими фахівцями-керівниками.

Формулювання цілей статті. Метою даної роботи є аналіз заходів з підвищення енергоефективності навчальних корпусів НУВГП, визначених під час виконання енергоаудитів, з метою оцінки їхньої значимості для зменшення споживання енергоресурсів та викидів парникових газів.

Основна частина. Будівлі НУВГП розташовані в різних частинах м. Рівне та Рівненського району. Переважна їхня частина (двадцять одна будівля різних років побудови) знаходиться на території студентського містечка НУВГП. До складу комплексу будівель студмістечка університету входять навчальні корпуси № 2-8 і спортивний корпус, гуртожитки № 1-6, їдальня, кафе та будівлі допоміжного призначення.

В рамках спільного Проєкту МОН та ЄІБ «Вища освіта України» для всіх навчальних корпусів і гуртожитків НУВГП, що розташовані на території студентського містечка, а також для навчального корпусу № 1 і гуртожитків № 7 та 8, що розташовані за його межами на території міста, були проведені енергоаудити ТОВ "ЕСКО Україна" [3]. Будівлі корпусів № 1-7 (табл. 1) були відібрані МОН для фінансування їхньої термомодернізації в рамках кредитного Проєкту [1] з метою покращення їх енергоефективності.

Таблиця 1. Загальні дані щодо навчальних корпусів

Показники	Навчальні корпуси НУВГП						
	№1	№2	№3	№4	№5	№6	№7
Рік введення в експлуатацію	1959	1971	1962	1961	1959	1976	1986
Кількість поверхів	4	4	3	4	3	6	3
Опалювана площа, м ²	6890	7212	3902	6812	2537	7081	12804
Опалюваний об'єм, м ³	25374	25374	16197	25940	8139	24941	49254

Відповідно до рекомендацій звітів з енергоаудиту навчальних корпусів були запропоновані заходи з підвищення їх енергоефективності [3], що описані нижче. Також були визначені потенціал економії теплової й електричної енергії порівняно з базовим рівнем її споживання та період окупності цих заходів (табл. 2).

1. *Теплоізоляція стін, даху та підлоги.* Загалом конструкції зовнішніх стін будівель не відповідають чинним стандартам щодо забезпечення нормативних опорів теплопередачі [4]. Для підвищення енергоефективності будівель необхідно здійснити теплоізоляцію всіх зовнішніх стін з використанням негорючого теплоізоляційного матеріалу. Для деяких корпусів необхідно утеплити плити перекриття горища та забезпечити належну гідроізоляцію для запобігання протікання води в теплоізоляційний шар і будівельні конструкції. Для деяких корпусів необхідно виконати теплоізоляцію підлог нижніх поверхів.

2. *Заміна вікон і дверей.* Наявні вікна та двері знаходяться переважно у незадовільному стані та мають низькі показники енергоефективності, тому запропонована їхня заміна. Більша частина віконних отворів обладнана застарілими віконними конструкціями (у вигляді подвійного скління в дерев'яних рамах), що потребують заміни. Необхідно також замінити встановлені металопластикові вікна з однокамерними склопакетами, теплоізоляційні характеристики яких не відповідають чинним вимогам щодо мінімального опору теплопередачі [4].

3. *Модернізація автоматизованих вузлів регулювання теплової енергії.* Запропоновано модернізувати існуючі АВРТЕ. Модернізація індивідуальних теплових пунктів з автоматичним регулюванням температури теплоносія буде мати значний енергоощадний ефект [5]. Таке рішення дозволить адаптувати обсяги постачання тепла до будівель відповідно до фактичного його споживання. Модернізовані АВРТЕ повинні також дозволяти програмувати зниження температури теплоносія у вихідні та святкові дні, в неробочий час або згідно з іншим необхідним робочим графіком.

4. *Теплоізоляція трубопроводів.* Основні трубопроводи опалення прокладені в опалюваному просторі будівель. Під частиною будівель є неопалювані підвали, де знаходиться ввід мережі тепlopостачання в будівлю та частково прокладені трубопроводи системи опалення, що потребують заміни. В даний час трубопроводи знаходяться у незадовільному стані та мають зношену теплову ізоляцію. Запропоновано теплоізолювати трубопроводи в неопалюваних приміщеннях для запобігання втратам теплової енергії [5]. Водночас частина трубопроводів перебуває в незадовільному стані та потребує заміни. Запірно-регулювальна арматура великих діаметрів потребує спеціальної теплової ізоляції у вигляді кожухів.

5. *Модернізація системи опалення.* Існуючі опалювальні прилади (радіатори) зношені та знаходяться в незадовільному стані. На них впливають корозія, утворення накипу та відкладень, що знижує їхню теплову ефективність. Системи опалення корпусів гідравлічно незбалансовані, через що розподілення теплоносія в них є нерівномірним. Запропоновано провести промивання системи опалення, виконати встановлення термостатичних і балансувальних клапанів, що дозволить підтримувати температуру повітря в приміщенні відповідно до заданої, здійснити гідравлічне балансування системи [5].

6. *Влаштування системи вентиляції з рекуперацією теплоти витяжного повітря.* Після утеплення стін та встановлення нових герметичних вікон рівень інфільтрації повітря у приміщення знизиться, а вентиляція будівлі необхідна для забезпечення нормативного повітрообміну. Для досягнення необхідного рівня вентиляції в будівлях запропоновано встановити децентралізовані вентиляційні системи з блоками утилізації тепла викидного вентиляційного повітря. Установки утилізації тепла повинні мати сезонний ККД не нижче 70 %. Автоматичне управління у вентиляційній системі повинно підтримувати необхідну температуру припливного повітря. Графік роботи вентиляторів має відповідати режиму роботи приміщень, що ними обслуговуються. Повітроводи повинні мати теплоізоляцію, яка відповідає сучасним вимогам [5].

7. *Модернізація системи освітлення.* Існуючі системи освітлення будівель включають переважно люмінесцентні світильники. Запропоновано виконати їхню заміну на світильники з LED лампами.

8. *Впровадження систем енерго-моніторингу та диспетчеризації.* Наразі для будівель не створено системи моніторингу споживання енергії. Моніторинг споживання енергії – це систематичні процедури для щотижневої реєстрації та контролю споживання енергії й експлуатаційних умов у будівлях. Порівнюючи щотижня вимірюване споживання з розрахунковими показниками, працівники, що відповідають за експлуатацію та обслуговування, матимуть можливість забезпечити оптимальну роботу технічних установок будівель. Впровадження системи енергомоніторингу дасть змогу верифікувати рівень досягнутої економії від інших енергозберігаючих заходів. Водночас запровадження системи диспетчеризації забезпечить можливість оперативного контролю джерела теплопостачання та АВРТЕ.

Таблиця 2. Потенціал річної економії енергії (ЕЕ) та період окупності (ПО) заходів з енергоефективності

Рекомендовані заходи з енергоефективності	Навчальні корпуси НУВГП					
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5	№ 6
	в чисельнику – ЕЕ, кВт·год, у знаменнику – ПО, років					
Теплоізоляція стін	<u>99402</u> 16,2	<u>244371</u> 13,7	<u>223812</u> 12,7	<u>314525</u> 13,9	<u>111861</u> 11,7	<u>346531</u> 15
Теплоізоляція покрівлі	<u>46135</u> 24,0	<u>105834</u> 26,1	<u>101347</u> 25,5	<u>148784</u> 22,5	<u>42250</u> 39,2	-
Теплоізоляція підлоги нижніх поверхів	<u>20805</u> 24,3	-	<u>18475</u> 21	-	-	-
Заміна вікон і дверей	<u>147375</u> 12,4	<u>151771</u> 10,7	<u>103710</u> 11,8	<u>121190</u> 12,4	<u>74658</u> 10,3	<u>228526</u> 10
Модернізація АВРТЕ	<u>36930</u> 3,4	<u>104298</u> 1,3	<u>52067</u> 2,6	<u>106062</u> 1,3	<u>34116</u> 3,9	<u>73299</u> 1,8
Теплоізоляція трубопроводів	<u>20314</u> 3,1	<u>19051</u> 0,5	<u>13715</u> 2,9	-	<u>17916</u> 2,3	<u>66008</u> 1,9
Модернізація системи опалення	<u>30472</u> 25,7	<u>28577</u> 28,2	<u>20572</u> 24,5	<u>35911</u> 32,6	<u>26874</u> 12,9	<u>99012</u> 13,5
Влаштування системи вентиляції з рекуперацією теплоти витяжного повітря	<u>77049</u> 93,5	<u>68606</u> 87,8	<u>45786</u> 97	<u>82659</u> 79,5	<u>29623</u> 94,4	<u>76528</u> 91
Модернізація системи освітлення	<u>8677</u> 12,2	<u>22246</u> 18,5	<u>7571</u> 7,3	<u>24194</u> 3,9	<u>10958</u> 3,6	<u>15728</u> 11,6
Впровадження системи енергомоніторингу і системи диспетчеризації	<u>24620</u> 5,1	<u>125098</u> 1,6	<u>22757</u> 7,6	<u>146203</u> 1	<u>17932</u> 8,2	<u>34568</u> 4,2
Всього	<u>511779</u> 23,7	<u>869853</u> 16,5	<u>610082</u> 19,3	<u>979529</u> 16,4	<u>366188</u> 18,5	<u>940200</u> 16,5

Було проаналізоване енергоспоживання до та після впровадження заходів з енергоефективності навчальних корпусів [3, 6, 7] та визначена прогнозована економія енергетичних ресурсів після впровадження цих заходів (рис. 1). При виконанні порівняння враховано базовий рівень енергоспоживання, що був розрахований за умови дотримання нормативних вимог щодо кратності повітрообміну та внутрішньої температури повітря в приміщеннях [8]. Потенціал

економії теплової та електричної енергії, порівняно з фактичним енергоспоживанням, становить 28-54 % (табл. 3), та порівняно з базовим рівнем – 51-72 %. Після впровадження описаних заходів прогнозується підвищення класу енергоефективності навчальних корпусів (табл. 3). Всі навчальні корпуси після впровадження заходів з енергоефективності досягнуть класу енергоефективності А, крім 7-го корпусу, який на даний момент має клас енергоефективності G.

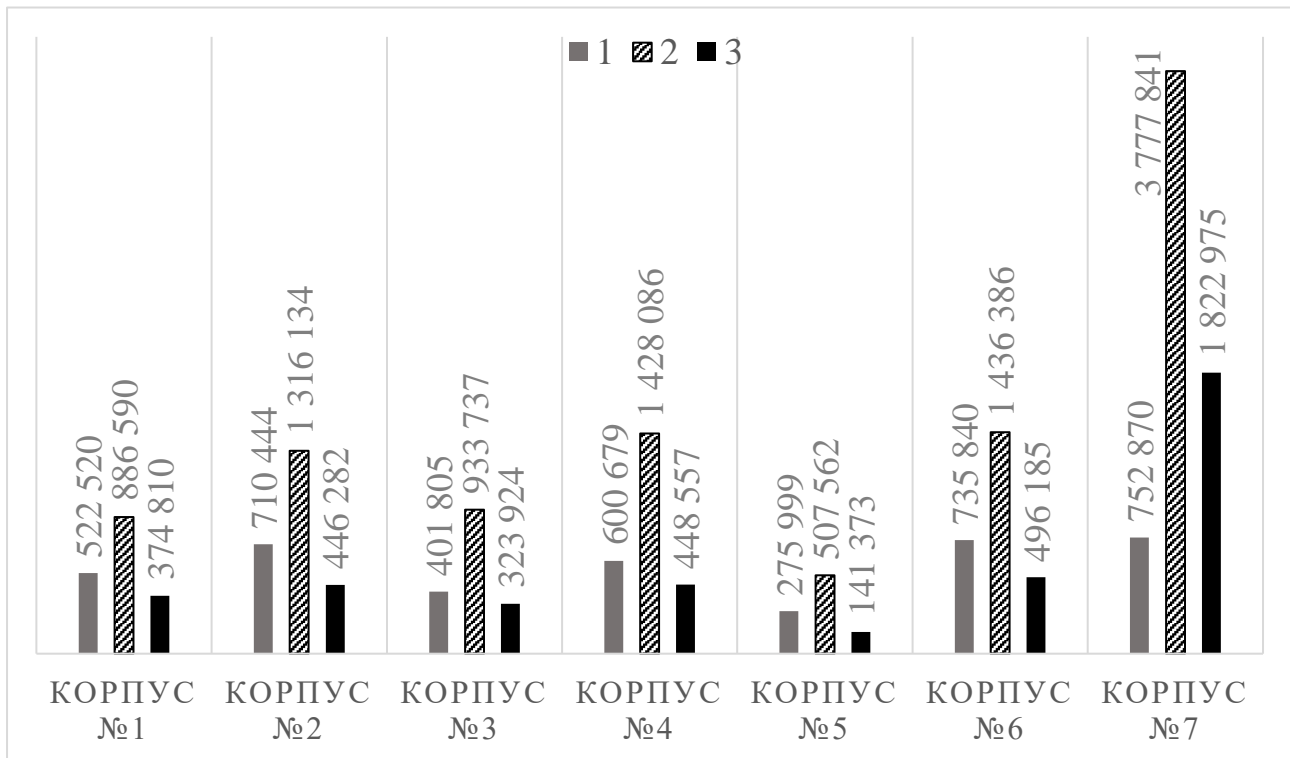


Рис. 1. Порівняння енергоспоживання навчальними корпусами НУВГП, кВт·год/рік:

- 1, 2 – фактичні значення та базовий рівень енергоспоживання до впровадження заходів з енергоефективності;
- 3 – розраховані значення енергоспоживання після впровадження заходів з підвищення енергоефективності

Згідно з [9, п. 4] рекомендації з енергозбереження містять в основному високовитратні заходи (капітальна модернізація енергетичних установок та інженерних систем, заходи з термомодернізації зовнішніх конструкцій огороження, встановлення комплексних систем керування, утилізація теплоти витяжного повітря).

Таблиця 3. Величини скорочення обсягу споживання теплової та електричної енергії після впровадження енергоефективних заходів порівняно з фактичним та базовим рівнями споживання

	Корпус № 1	Корпус № 2	Корпус № 3	Корпус № 4	Корпус № 5	Корпус № 6	Корпус № 7
Загальна економія енергії після впровадження заходів (від фактичного споживання), %	28,3	43	29,3	34,6	54,5	42,7	-
Загальна економія енергії після впровадження заходів (від базового споживання), %	57,7	66,1	65,3	68,6	72,1	65,5	51,7
Клас енергоефективності до впровадження енергоефективних заходів	B	C	E	D	E	D	G
Клас енергоефективності після впровадження енергоефективних заходів	A	A	A	A	A	A	B

У разі проведення окремих енергоефективних заходів за таким критерієм ранжування, як період окупності, для навчальних корпусів початковими є такі заходи:

- корпус № 1 та № 2 – теплоізоляція трубопроводів, модернізація АВРТЕ, впровадження системи енергомоніторингу та системи диспетчеризації;
- корпус № 3 – модернізація АВРТЕ, теплоізоляція трубопроводів, модернізація системи освітлення;
- корпус № 4 – впровадження системи енергомоніторингу та системи диспетчеризації, модернізація АВРТЕ, модернізація системи освітлення;
- корпус № 5 – теплоізоляція трубопроводів, модернізація системи освітлення, модернізація АВРТЕ;
- корпус № 6 – модернізація АВРТЕ, теплоізоляція трубопроводів, впровадження системи енергомоніторингу та системи диспетчеризації;
- корпус № 7 – впровадження системи енергомоніторингу та системи диспетчеризації, влаштування теплової ізоляції покриття, зовнішніх стін та модернізація системи опалення разом з модернізацією АВРТЕ та влаштуванням теплової ізоляції трубопроводів опалення.

Такий енергоефективний захід, як встановлення системи вентиляції з рекуперацією повітря, потребуватиме найбільше часу для своєї окупності.

Перевагу слід надавати не впровадженню окремих заходів з

енергоефективності, а комплексним рішенням, що дозволить забезпечити більший і триваліший ефект. Однак, слід враховувати, що при виборі комплексних рішень не можна робити простого арифметичного додавання показників, що наведені в табл. 2. За даними [10], комплексне впровадження енергоефективних заходів дозволяє отримати загальне скорочення споживання теплової енергії від 30 до 70 %, залежно від переліку обраних заходів, технічних рішень та початкового стану будівлі.

Впровадження енергоефективних заходів у навчальних корпусах НУВГП також призведе до зменшення викиду парникових газів від 38 до 63 % (табл. 4).

Таблиця 4. Зменшення викидів парникових газів після впровадження заходів з енергоефективності

Викиди парникових газів (CO ₂)	Навчальні корпуси НУВГП						
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5	№ 6	№ 7
Базовий рівень викидів CO ₂ , т/рік	326	458	297	425	155	447	1231
Рівень викидів CO ₂ після впровадження енергоефективних заходів, т/рік	201	227	138	166	56	200	703
Зменшення викидів парникових газів, %	38,3	50,4	53,5	60,9	63,9	55,3	42,1

Висновки. Проаналізовано заходи з підвищення енергоефективності навчальних корпусів НУВГП, які заплановано впровадити в рамках спільного Проекту МОН України та ЄІБ «Вища освіта України», основними з яких є влаштування теплової ізоляції зовнішніх стін, конструкції покрівлі, підлоги нижніх поверхів, заміна вікон і дверей, влаштування теплової ізоляції трубопроводів опалення, модернізація АВРТЕ, систем освітлення та опалення, впровадження систем енергомоніторингу та диспетчеризації, влаштування системи вентиляції з рекуперацією тепла витяжного повітря. Заходами, що мають найкоротший термін окупності, є влаштування теплоізоляції трубопроводів, здійснення модернізації АВРТЕ та освітлення, впровадження систем енергомоніторингу та диспетчеризації. Такий енергоефективний захід, як влаштування системи вентиляції з рекуперацією теплоти витяжного повітря, потребуватиме найбільш тривалого часу для своєї окупності, проте він дозволить значно зменшити витрати теплової енергії на підігрівання зовнішнього припливного повітря в холодний період року.

Впровадження описаних заходів дозволить знизити споживання енергії та відповідних витрат на 60 %, а саме – на 6 232 тис. кВт·год/рік (порівняно з базовим рівнем витрат на енергозабезпечення 10 286 тис. кВт·год/рік), а також

одночасно підвищити функціональність та комфортність будівель (привести умови мікроклімату у приміщеннях у відповідність до нормативних вимог). Впровадження енергоефективних заходів у навчальних корпусах НУВГП також призведе до зменшення викиду парникових газів на 50 %, а саме на 1648 т/рік.

Перспективи подальших досліджень. Терміни та зміст реалізації заходів Проєкту змінюються постійно, що пов'язано з останніми подіями в Україні. Також на фінансування заходів з енергоефективності вплинуть зміни вимог до деяких теплотехнічних параметрів будівель, які за період 2020-2023 років набули чинності [4] і стали більш жорсткими з точки зору енергоефективності, а, отже, і більш вартісними, що також потрібно врахувати. Крім того, за час, що минув з моменту подання заявки на участь у Проєкті (5 років), з'явилася потреба в заміні мереж теплопостачання і гарячого водопостачання, що живляться від котельні студмістечка, які набули вже аварійного стану і не були включені в перелік заходів Субпроєкту від НУВГП. З метою врахування змін у фінансуванні заходів з енергоефективності для Субпроєктів закладів вищої освіти і визначення остаточного зменшення енергоспоживання будівлями навчальних корпусів студмістечка, після реалізації цих заходів заплановано гідравлічне моделювання теплових мереж з уточненням діаметрів нових трубопроводів теплових мереж і гарячого водопостачання. Це дозволить значно зекономити на реконструкції теплових мереж у недалекому майбутньому (з невеликим терміном окупності) і підготувати більш актуальну проєктно-кошторисну документацію для можливого включення в Проєкт «Вища освіта України» для додаткового фінансування або в інший кредитний чи грантовий Проєкти.

References

1. "Ministerstvo osvity i nauky Ukrainy - Za pidtrymky YeIB ta YeS ukrainski universytety pidvyshchat enerhoefektyvnist ta onovliat navchalni budivli y hurtozhytky." Holovna. Ministerstvo osvity i nauky Ukrainy, mon.gov.ua/ua/news/za-pidtrimki-yeib-ta-yes-ukrayinski-universiteti-pidvishat-energoefektivnist-ta-onovlyat-navchalni-budivli-j-gurtozhitki. Accessed 20 August 2023.
2. Kizyeyev M., Soroka V., Dovbenko V., Novytska O., Protsenko S. "Energy auditing, certification and thermo-modernization of NUWEE buildings". Budownictwo o Zoptymalizowanym Potencjale Energetycznym, т. 10, № 2/2020, 2020, с. 95-102, doi:10.17512/bozpe.2020.2.12.
3. Zvity z enerhetychnoho audytu navchal'nykh korpusiv № 1-6, TOV "ESKO Ukraina", 2020. (in Ukrainian)
4. Teplova izolyatsia ta enerhoefektyvnist' budivel'. DBN V.2.6-31:2021, Ukrarkhbudinformat, 2022. (in Ukrainian)
5. Opalennia, ventyliatsiia ta kondytsionuvannia. DBN V.2.5-67:2013,

Ukrarkhbudininform, 2013. (in Ukrainian)

6. Enerhetychna efektyvnist' budivel'. Metod rozrakhunku enerhospozhyvannya pid chas opalennya, okholodzhennya, ventylyatsii, osvitlennya ta haryachoho vodopostachannia. DSTU 9190:2022, DP «UkrNDNTS», 2022. (in Ukrainian)

7. Opys subproyektu «Vyshcha osvita Ukrainy» dlya Natsional'noho universytetu vodnoho hospodarstva ta pryrodokorystuvannya, TOV «ESKO Ukraina», 2020. (in Ukrainian)

8. Zaklady osvity. Budynky i sporudy. DBN V.2.2-3:2018, Ministerstvo rehional'noho rozvytku, budivnytstvata zhytlovo-komunal'noho hospodarstva Ukrainy, 2018. (in Ukrainian)

9. Metodyka obstezhennya inzhenernykh system budivnytstva. Nakaz Minrehionu Ukrainy vid 11 lypnya 2018 roku № 173 (potochna redaktsia — Redaktsia vid 07.05.2021) Rezhym dostupu: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0826-18#n14>. Accessed 20 August 2023. (in Ukrainian)

10. Metodychni rekomendatsiyi dlya spivvlasnykiv bahatokvartyrnykh budynkiv: rozrobka enerhoefektyvnykh proektiv. Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH, 2016. (in Ukrainian)

UDC 693:[628.8:628.9]

PhD, Assoc. Prof. **Mykola Kizyeyev**,

m.d.kizieiev@nuwm.edu.ua, ORCID: 0000-0002-1491-1695,

PhD, Assoc. Prof. **Olha Novytska**,

o.s.novytska@nuwm.edu.ua, ORCID: 0000-0001-7286-9731,

PhD, Assoc. Prof. **Nataliia Kravchenko**,

n.v.kravchenko@nuwm.edu.ua, ORCID: 0000-0003-1336-4893,

PhD, Assoc. Prof. **Serhii Protsenko**,

s.b.protsenko@nuwm.edu.ua, ORCID: 0000-0002-1292-0651,

National University of Water and Environmental Engineering

ANALYSIS OF MEASURES TO INCREASE THE ENERGY EFFICIENCY OF EDUCATIONAL BUILDINGS OF THE NATIONAL UNIVERSITY OF WATER AND ENVIRONMENTAL ENGINEERING

The implementation of energy-efficient measures at the National University of Water and Environmental Engineering (NUWEE) was started since 2000. The buildings of NUWEE are located in different parts of Rivne city and Rivne region. Buildings № 1-7 were selected by the Ministry of Education and Science of Ukraine for financing their thermal modernization as part of the loan project "Higher Education of Ukraine. Energy efficiency and sustainable development" with the aim of

increasing their energy efficiency. The authors analyzed the measures to increase the energy efficiency of the educational buildings of the NUWEE, namely, the installation of thermal insulation of facades, roofs, floors on the ground and first surfaces, replacement of windows and doors, installation of thermal insulation of pipelines, modernization of automated thermal energy regulation units (ATERU), heating system and lighting, implementation of the energy monitoring and dispatching system, installation of the ventilation system with exhaust air heat recovery. Implementation of the proposed measures will reduce energy consumption and related costs by 60 %, namely by 6,232 MWh/year (compared to the baseline level of energy consumption of 10,286 MWh/year). It will result increasing of the buildings' comfort and functionality. After the implementation of the described measures, the increase of the energy efficiency class of educational buildings is predicted. The implementation of energy-efficient measures will also lead to the reduction of greenhouse gas emissions by 50 %, namely by 1,648 t/year. Measures that can pay off as soon as possible are the implementation of thermal insulation of pipelines, modernization of ATERU and lighting, implementation of energy monitoring and dispatching systems. The longest payback period will require the installation of ventilation air heat recovery, but this measure is necessary in view of the current reduction in heat energy costs for heating the external supply air in the cold period of the year.

Keywords: energy efficiency of buildings; thermal modernization; energy efficiency measures; saving energy resources; greenhouse emissions.