

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ЕНЕРГЕТИКИ, АВТОМАТИКИ І
ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ**

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ

**Завідувач кафедри
інженерії енергосистем**

К.Т.Н., доц. _____ / **АНТИПОВ Є.О.**
(підпис)

« _____ » _____ 2026 р.

—

БАКАЛАВРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему: **«Система енергопостачання комплексу споруд
Прилуцького фахового технічного коледжу»**

Спеціальність 144 „Теплоенергетика”

Гарант освітньої програми

К.Т.Н., доцент _____ **Шеліманова О.В.**
(науковий ступінь та вчене звання) (підпис) (ПІБ)

Керівник дипломного проекту бакалавра

К.Т.Н., доцент _____ **Шеліманова О.В.**
(науковий ступінь та вчене звання) (підпис) (ПІБ)

Виконав _____ **Кізим Д.Д.**
(підпис) (ПІБ)

КИЇВ – 2026

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ЕНЕРГЕТИКИ, АВТОМАТИКИ І
ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ**

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
інженерії енергосистем

К.Т.Н., доц. _____ / **АНТИПОВ Є.О.** /

(підпис)

« _____ » _____ 2026 р.

ЗАВДАННЯ

на виконання бакалаврської кваліфікаційної роботи студенту
Кізіму Денису Дмитровичу

Спеціальність 144 „Теплоенергетика”

Тема дипломного проєкту: «Система енергопостачання комплексу споруд
Прилуцького фахового технічного коледжу»

затверджена наказом ректора НУБіП України від 24.10.2025 №2514"С".

Термін подання завершеного проєкту на кафедру 01 . 06 . 2026

Вихідні дані до дипломного проєкту бакалавра

1. Завдання кафедри на дипломне проектування;
2. Матеріали виробничої практики
3. Нормативні документи по проектуванню енергетичних об'єктів.

Перелік питань, які необхідно розробити

1. Загальна характеристика об'єкту проектування
2. Розрахунок теплової потужності та вибір опалювально-вентиляційного
устаткування тваринницької ферми
3. Автономна котельня фермерського господарства
4. Основні особливості сонячних колекторів різних типів
5. Розрахунок та вибір обладнання сонячної системи гарячого водопостачання

Дата видачі завдання 28.10.2026 р.

Керівник дипломного проєкту бакалавра _____ / **Шеліманова О.В.** /
(підпис) (ПІБ)

Завдання прийняв до виконання _____ / **Кізім Д.Д.** /
(підпис) (ПІБ)

ЗМІСТ

ВСТУП	4
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ОБ'ЄКТА ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ІСНУЮЧОЇ СИСТЕМИ ЕНЕРГОПОСТАЧАННЯ	8
1.1 Загальна характеристика комплексу споруд та режимів роботи коледжу	8
1.2 Аналіз існуючої системи теплопостачання, опалення та гарячого водопостачання	10
1.3 Кліматичні умови і нормативні вихідні дані для теплотехнічних розрахунків	12
РОЗДІЛ 2. РОЗРАХУНОК РІЧНОГО СПОЖИВАННЯ ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ ТА ВИБІР РЕЖИМІВ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ	16
2.1 Визначення розрахункових параметрів зовнішнього та внутрішнього повітря	16
2.2 Розрахунок тепловтрат через огорожувальні конструкції будівель	19
2.3 Розрахунок теплового навантаження на опалення.....	23
2.4 Розрахунок теплового навантаження на гаряче водопостачання.....	27
2.5. Визначення сумарного розрахункового та річного споживання теплової енергії.....	31
РОЗДІЛ 3. МОДЕРНІЗАЦІЯ СИСТЕМ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ ТА АВТОМАТИЗАЦІЯ ТЕПЛООВОГО ПУНКТУ КОМПЛЕКСУ СПОРУД КОЛЕДЖУ	36
3.1 Обґрунтування схеми індивідуального теплового пункту.....	36
3.2 Розрахунок та підбір теплообмінного обладнання	38
3.3 Гідравлічний розрахунок та підбір циркуляційних насосів.	41
3.4 Автоматизація та погодні регулювання теплового пункту	42
РОЗДІЛ 4. ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ, ОХОРОНА ПРАЦІ ТА НАВКОЛИШНЄ СЕРЕДОВИЩЕ	45
4.1 Розрахунок енергетичного та економічного ефекту від модернізації ІТП	45
4.2 Охорона праці та безпека при експлуатації теплового пункту	48
4.3 Екологічна оцінка проекту та захист навколишнього середовища	50
ВИСНОВКИ	52
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	55

ВСТУП

Системи теплопостачання громадських і навчальних будівель належать до найбільш енергоємних інженерних систем, оскільки забезпечують підтримання нормативних параметрів мікроклімату в холодний період року. Для закладів освіти це питання має особливе значення, адже стабільна робота систем опалення, вентиляції та гарячого водопостачання безпосередньо впливає на комфорт, безпеку та санітарно-гігієнічні умови перебування студентів, викладачів і персоналу.

Традиційні системи теплопостачання, що експлуатуються в будівлях тривалий час без комплексної модернізації, часто характеризуються підвищеними втратами теплоти, нерівномірним розподілом теплоносія, недостатнім рівнем автоматичного регулювання та значним споживанням енергоресурсів. У таких умовах актуальним є технічне обґрунтування заходів з підвищення енергоефективності, уточнення теплових навантажень, аналізу фактичного стану системи та вибору раціональних інженерних рішень.

Об'єктом розрахунку в роботі є комплекс споруд Прилуцького фахового технічного коледжу, розташований у місті Прилуки Чернігівської області. Комплекс включає навчальні аудиторії, лабораторії, майстерні, адміністративні, санітарно-побутові, допоміжні та технічні приміщення. Для такого об'єкта характерне сезонне теплове споживання, нерівномірний добовий режим роботи та необхідність забезпечення нормативної температури внутрішнього повітря в різних функціональних зонах. Згідно з прийнятими вихідними даними, розрахунки виконуються для м. Прилуки, де розрахункова температура зовнішнього повітря для опалення становить $-22\text{ }^{\circ}\text{C}$, а базова температура навчальних приміщень приймається $+18\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Існуюча система теплопостачання комплексу розглядається як система з надходженням теплової енергії від зовнішнього постачальника та подальшим

розподілом теплоносія внутрішніми мережами будівель. До складу теплового навантаження входять потреби на опалення, вентиляцію, інфільтрацію зовнішнього повітря та гаряче водопостачання. Основними проблемами такої системи можуть бути втрати теплоти в трубопроводах, недостатнє гідравлічне балансування, відсутність або обмеженість погодного регулювання, а також невідповідність фактичного теплового режиму сучасним вимогам енергоефективності.

Проведені попередні розрахунки показують, що тепловтрати через огорожувальні конструкції комплексу становлять 233,6 кВт, а з урахуванням експлуатаційного запасу - 257,0 кВт. Найбільша частка тепловтрат припадає на зовнішні стіни та віконні блоки, що вказує на доцільність подальшого аналізу заходів з утеплення, ущільнення світлопрозорих конструкцій і впорядкування режимів роботи системи опалення. Прийняте розрахункове навантаження на опалення становить 260 кВт, що використовується як основна складова теплового балансу комплексу.

Актуальність теми кваліфікаційної роботи зумовлена необхідністю підвищення енергоефективності системи тепlopостачання навчального комплексу, зменшення непродуктивних втрат теплової енергії, забезпечення нормативних параметрів мікроклімату та раціонального використання паливно-енергетичних ресурсів. В умовах зростання вартості енергоносіїв і посилення вимог до енергетичної ефективності будівель особливого значення набуває розрахункове обґрунтування теплового навантаження, вибір технічно доцільних рішень модернізації та оцінювання очікуваного ефекту від їх впровадження.

Метою кваліфікаційної роботи є розроблення технічних рішень щодо підвищення енергоефективності системи тепlopостачання комплексу споруд Прилуцького фахового технічного коледжу на основі аналізу існуючої системи, визначення теплових навантажень, розрахунку параметрів системи опалення,

вентиляції та гарячого водопостачання, а також обґрунтування заходів з модернізації інженерного обладнання.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі **завдання**:

- надати загальну характеристику комплексу споруд Прилуцького фахового технічного коледжу та режимів його роботи;
- проаналізувати існуючу систему теплопостачання, опалення та гарячого водопостачання об'єкта;
- визначити кліматичні та нормативні вихідні дані для виконання теплотехнічних розрахунків;
- встановити розрахункові параметри зовнішнього і внутрішнього повітря для основних груп приміщень;
- виконати розрахунок тепловтрат через огорожувальні конструкції будівель комплексу;
- визначити розрахункове теплове навантаження на систему опалення;
- розрахувати теплове навантаження на вентиляцію, інфільтрацію та гаряче водопостачання;
- сформулювати тепловий баланс комплексу споруд і визначити сумарну потребу в тепловій енергії;
- обґрунтувати технічні рішення щодо модернізації системи теплопостачання та підвищення її енергоефективності;
- виконати оцінювання очікуваного енергетичного ефекту від запропонованих заходів;
- розробити заходи з охорони праці та безпеки експлуатації обладнання системи теплопостачання.

Об'єктом дослідження є система теплопостачання комплексу споруд Прилуцького фахового технічного коледжу як сукупність технічних засобів забезпечення будівель тепловою енергією для опалення, вентиляції та гарячого водопостачання.

Предметом дослідження є теплотехнічні параметри, теплові навантаження та технічні рішення модернізації системи теплопостачання навчального комплексу, спрямовані на підвищення енергоефективності та зменшення втрат теплової енергії.

Практична значущість роботи полягає у розробленні розрахунково обґрунтованих технічних рішень для підвищення ефективності роботи системи теплопостачання комплексу споруд Прилуцького фахового технічного коледжу. Запропонований підхід дозволяє визначити фактичну потребу будівель у тепловій енергії, встановити основні джерела втрат, обґрунтувати напрями модернізації системи та забезпечити більш раціональне використання енергоресурсів під час експлуатації навчального закладу.

РОЗДІЛ 1.

АНАЛІЗ ОБ'ЄКТА ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ІСНУЮЧОЇ СИСТЕМИ ЕНЕРГОПОСТАЧАННЯ

1.1 Загальна характеристика комплексу споруд та режимів роботи коледжу

Об'єктом дослідження є система енергопостачання комплексу споруд Прилуцького технічного фахового коледжу, розташованого у місті Прилуки Чернігівської області. За офіційними контактними даними закладу та Реєстром суб'єктів освітньої діяльності юридична адреса коледжу: вул. Київська, 178, м. Прилуки, Чернігівська область, 17500 [1; 2]. У Реєстрі також наведено офіційну назву закладу, вебсайт ptfc.com.ua та рік заснування 1931 [2].

У теплоенергетичному відношенні комплекс коледжу розглядається як група громадських будівель навчального призначення з вираженим сезонним споживанням теплоти. До основних споживачів теплової енергії належать навчальні аудиторії, лабораторії, майстерні, адміністративні приміщення, коридори, санітарно-побутові вузли та допоміжні приміщення. Для подальших розрахунків їх доцільно групувати за режимом роботи, оскільки саме графік використання приміщень впливає на навантаження опалення, вентиляції та гарячого водопостачання.

Максимальне теплове навантаження комплексу формується у холодний період року, коли одночасно діють втрати теплоти через огорожувальні конструкції, інфільтрація зовнішнього повітря та потреба у вентиляції навчальних приміщень. Для закладу освіти характерна різниця між денним робочим режимом і нічним черговим режимом, тому система тепlopостачання повинна забезпечувати погодне регулювання, можливість зниження подачі теплоти у неробочі години та швидке відновлення комфортних параметрів перед початком занять.

Таблиця 1.1

Розрахункова характеристика функціональних зон комплексу споруд коледжу

Функціональна зона	Призначення	Типовий режим роботи	Вплив на теплове навантаження
Навчальні аудиторії та кабінети	Заняття, консультації, самостійна робота	Переважно 8:00–18:00 у навчальні дні	Основне навантаження на опалення та підтримання нормативного мікроклімату
Лабораторії та майстерні	Практична підготовка, робота навчального обладнання	За розкладом занять, нерівномірно протягом дня	Опалення, вентиляція, можливі локальні тепловиділення від обладнання
Адміністративні приміщення	Робочі місця персоналу, управління, документообіг	Переважно 8:00–17:00	Стабільне денне навантаження з помірною потребою у вентиляції
Коридори, вестибюлі, сходові клітки	Переміщення студентів і персоналу	Протягом навчального дня	Втрати теплоти через інфільтрацію під час відкривання дверей
Санітарно-побутові та допоміжні приміщення	Гігієнічні потреби, технічне обслуговування, склади	Періодичне або нерівномірне використання	ГВП, мінімальний температурний режим і підтримання працездатності інженерних вузлів

Нормативною базою для подальшого проєктування є ДБН В.2.5-67:2013, який установлює вимоги до систем опалення, внутрішнього теплопостачання, вентиляції, кондиціонування та раціонального використання енергетичних ресурсів [3]. Для оцінювання теплотехнічного стану огорожувальних конструкцій і вибору заходів з енергоефективності використовуються положення ДБН В.2.6-31:2021, що визначають технічні параметри енергетичної ефективності будівель і вимоги до зменшення споживання енергії [4].

Отже, комплекс споруд коледжу є громадським навчальним об'єктом із сезонним тепловим споживанням, нерівномірним добовим графіком роботи та підвищеними вимогами до стабільності мікроклімату. Наведена характеристика використовується як вихідна база для аналізу існуючої системи

теплопостачання, вибору розрахункових параметрів та подальшого визначення теплових навантажень.

1.2 Аналіз існуючої системи теплопостачання, опалення та гарячого водопостачання

Існуюча система теплопостачання комплексу споруд Прилуцького технічного фахового коледжу розглядається як сукупність зовнішнього джерела теплової енергії, теплового вводу, внутрішніх систем опалення, трубопроводів розподілу теплоносія, приладів тепловіддачі, засобів обліку та регулювання. На офіційній сторінці публічних закупівель коледжу наведено документи щодо предмета закупівлі «Пара, гаряча вода та пов'язана продукція (постачання теплової енергії за адресою: Чернігівська область, м. Прилуки, вул. Київська, 178)» [1]. Тому в роботі приймається розрахункова схема, за якою тепла енергія надходить до комплексу споруд від зовнішнього постачальника, а далі розподіляється внутрішніми мережами будівель.

Система повинна забезпечувати нормативні параметри мікроклімату в аудиторіях, лабораторіях, майстернях, адміністративних і допоміжних приміщеннях. ДБН В.2.5-67:2013 установлює вимоги до систем опалення, внутрішнього теплопостачання та вентиляції з урахуванням санітарних параметрів, безпеки й раціонального використання енергоресурсів [2]. Для ділянок теплових мереж, теплових ввідів, теплових пунктів та пов'язаного обладнання враховуються вимоги ДБН В.2.5-39:2008 [3].

Для навчального закладу характерне нерівномірне споживання теплоти: найбільше навантаження припадає на навчальний час у холодний період року, а вночі, у вихідні та канікулярні періоди доцільним є перехід до чергового режиму. Тому технічна оцінка існуючої системи має охоплювати не лише достатність теплової потужності, а й можливість погодного та добового регулювання подачі теплоносія.

Сумарне теплове навантаження комплексу доцільно подавати у вигляді

$$Q_{\Sigma} = Q_{\text{оп}} + Q_{\text{вент}} + Q_{\text{ГВП}},$$

де Q_{Σ} - сумарне теплове навантаження комплексу, кВт; $Q_{\text{оп}}$ - навантаження на опалення; $Q_{\text{вент}}$ - навантаження на вентиляцію та інфільтрацію; $Q_{\text{ГВП}}$ - навантаження системи гарячого водопостачання.

Таблиця 1.2

Аналіз основних елементів існуючої системи тепlopостачання

Елемент системи	Призначення	Технічна оцінка для роботи
Джерело або постачальник теплової енергії	Постачання теплової енергії для опалення та ГВП	Приймається зовнішнє тепlopостачання; параметри уточнюються за договорами, актами та показами обліку
Тепловий ввід, вузол обліку	Приймання теплоносія, облік споживання, відокремлення зовнішньої мережі від внутрішньої	Потрібна перевірка наявності лічильника, запірної арматури, фільтрів, термометрів, манометрів і регулювання
Система опалення корпусів	Передавання теплоти до навчальних, адміністративних і допоміжних приміщень	Основне сезонне навантаження; необхідні перевірка гідравлічного балансування та рівномірності прогріву
Система ГВП	Забезпечення санітарно-побутових потреб студентів і персоналу	Навантаження нерівномірне; доцільно оцінити графік водорозбору та втрати в циркуляційних ділянках
Трубопроводи, ізоляція, автоматика	Транспортування теплоносія, зменшення втрат, підтримання температурного графіка	Критичні місця: корозія, пошкоджена теплоізоляція, відсутність погодного або добового регулювання

Найбільш імовірними технічними проблемами існуючої системи є завищені втрати теплоти в трубопроводах, нерівномірний розподіл теплоносія між корпусами, недостатнє регулювання за температурою зовнішнього повітря та неповна відповідність фактичного споживання розрахунковим тепловтратам

будівель. Для обґрунтування модернізації необхідно порівняти розрахункову потребу в тепловій енергії з фактичними витратами, перевірити стан ізоляції, вузла обліку, запірно-регулювальної арматури та режимів роботи системи.

Отже, для подальших розрахунків існуюча система приймається як водяна система з постачанням теплової енергії від зовнішнього джерела, внутрішнім розподілом по будівлях та окремими складовими навантаження на опалення, вентиляцію й гаряче водопостачання. У наступних розділах ця модель використовується для визначення теплових навантажень, вибору джерела або теплового пункту, розрахунку теплових мереж та оцінки енергоефективних заходів відповідно до вимог ДБН В.2.6-31:2021 [4].

1.3 Кліматичні умови і нормативні вихідні дані для теплотехнічних розрахунків

Кліматичні умови району розташування об'єкта є вихідною базою для визначення максимального теплового навантаження системи опалення, розрахунку річної потреби в тепловій енергії, підбору джерела теплоти, теплових мереж, насосного обладнання та засобів автоматичного регулювання. Для комплексу споруд Прилуцького фахового технічного коледжу розрахунки виконуються для м. Прилуки Чернігівської області. Територія належить до району з помірно-континентальним кліматом, для якого характерні холодний опалювальний період, значна різниця між внутрішньою та зовнішньою розрахунковою температурою і необхідність стабільного забезпечення нормативного мікроклімату в навчальних приміщеннях.

Нормативні параметри зовнішнього повітря приймаються за ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010 «Будівельна кліматологія» та довідковими кліматичними даними для м. Прилуки. Для освітніх будівель внутрішні розрахункові температури та вимоги до повітрообміну задаються згідно з ДБН В.2.2-3:2018 «Заклади освіти», а вимоги до систем опалення, вентиляції та внутрішнього

теплопостачання узгоджуються з ДБН В.2.5-67:2013. Під час подальшого визначення теплових втрат огорожувальні конструкції перевіряються за вимогами ДБН В.2.6-31:2021 щодо теплової ізоляції та енергетичної ефективності будівель.

Таблиця 1.3

Нормативні та кліматичні вихідні дані для теплотехнічних розрахунків

Показник	Позначення	Прийняте значення	Призначення у розрахунках
Район будівництва	—	м. Прилуки, Чернігівська область	Прив'язка кліматичних даних
Розрахункова температура зовнішнього повітря для опалення	t_z	-22 °C	Максимальні тепловтрати будівель
Середня температура опалювального періоду	$t_{cp.op}$	-1,7 °C	Оцінка сезонного споживання теплоти
Тривалість опалювального періоду	z_{op}	192 доби	Розрахунок річної потреби в теплоті
Середньорічна температура повітря	t_{pik}	+7,0 °C	Загальна кліматична характеристика
Середня температура січня	t_I	-5,9 °C	Оцінка холодного періоду року
Середня температура липня	t_{VII}	+19,2 °C	Оцінка теплого періоду року
Розрахункова температура навчальних аудиторій, кабінетів, майстерень	$t_{вн}$	+18 °C	Базова температура внутрішнього повітря
Розрахункова температура кабінетів інформатики	$t_{вн.к}$	+20 °C	Уточнені розрахунки для окремих приміщень
Нормативна глибина промерзання глинистих і суглинчастих ґрунтів	$h_{пр}$	0,9 м	Прокладання теплових мереж і фундаментних вводів
Нормативна глибина промерзання піщаних і супіщаних ґрунтів	$h_{пр}$	1,1 м	Уточнення глибини прокладання мереж

За даними табл. 1.3 базовою для подальших розрахунків приймається температура внутрішнього повітря навчальних і адміністративно-побутових приміщень $t_{вн} = 18$ °C. Для кабінетів інформатики, приміщень із підвищеними вимогами до теплового комфорту та окремих адміністративних кабінетів

допускається уточнення до 20 °С. У розрахунках теплового навантаження максимальна різниця температур визначається за формулою:

$$\Delta t_{\text{розр}} = t_{\text{вн}} - t_{\text{з}}, \text{ } ^\circ\text{C} \quad (1.1)$$

де $\Delta t_{\text{розр}}$ — розрахункова різниця температур між внутрішнім і зовнішнім повітрям, °С; $t_{\text{вн}}$ — нормативна температура внутрішнього повітря, °С; $t_{\text{з}}$ - розрахункова температура зовнішнього повітря для опалення, °С.

Для основної групи навчальних приміщень коледжу:

$$\Delta t_{\text{розр}} = 18 - (-22) = 40 \text{ } ^\circ\text{C}. \quad (1.2)$$

Отримане значення $\Delta t_{\text{розр}} = 40 \text{ } ^\circ\text{C}$ використовується під час розрахунку тепловтрат через зовнішні стіни, покриття, перекриття, вікна, двері та інфільтрацію зовнішнього повітря. Для приміщень із розрахунковою температурою 20 °С різниця температур становить 42 °С, тому їх теплове навантаження визначається окремо або з урахуванням поправки на підвищену температуру внутрішнього повітря.

Для попередньої оцінки сезонної потреби в теплоті доцільно застосовувати градусо-добу опалювального періоду. Вони враховують середню температуру зовнішнього повітря протягом опалювального сезону та його тривалість:

$$D_{\text{оп}} = (t_{\text{вн}} - t_{\text{ср.оп}}) \cdot z_{\text{оп}}, \text{ } ^\circ\text{C} \cdot \text{доб} \quad (1.3)$$

де $D_{\text{оп}}$ - градусо-добу опалювального періоду, °С·доб; $t_{\text{ср.оп}}$ - середня температура зовнішнього повітря за опалювальний період, °С; $z_{\text{оп}}$ - тривалість опалювального періоду, діб.

$$D_{\text{оп}} = (18 - (-1,7)) \cdot 192 = 3782,4 \text{ } ^\circ\text{C} \cdot \text{доб}. \quad (1.4)$$

Таким чином, для подальших теплотехнічних розрахунків комплексу споруд коледжу приймаються: розрахункова температура зовнішнього повітря - 22 °С, середня температура опалювального періоду -1,7 °С, тривалість опалювального періоду 192 доби, базова температура навчальних приміщень

+18 °C. Ці параметри є основою для визначення теплової потужності системи опалення, розрахунку теплового балансу будівель, вибору теплоенергетичного обладнання та оцінювання енергоефективності запропонованих технічних рішень.

РОЗДІЛ 2.

РОЗРАХУНОК РІЧНОГО СПОЖИВАННЯ ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ ТА ВИБІР РЕЖИМІВ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ

2.1 Визначення розрахункових параметрів зовнішнього та внутрішнього повітря

Розрахункові параметри зовнішнього та внутрішнього повітря визначають тепловий режим будівель і є початковою базою для подальшого розрахунку тепловтрат через огорожувальні конструкції, інфільтраційних втрат, теплового навантаження на опалення, вентиляцію та гаряче водопостачання. Для комплексу споруд Прилуцького фахового технічного коледжу розрахунки виконуються для м. Прилуки Чернігівської області з урахуванням кліматичних даних, наведених у підрозділі 1.3, і вимог чинних будівельних норм щодо закладів освіти, опалення, вентиляції та енергоефективності будівель.

Зовнішні параметри приймаються для холодного періоду року, оскільки саме він визначає максимальне навантаження системи теплопостачання. Розрахункова температура зовнішнього повітря для опалення приймається $t_z = -22$ °С. Для сезонних оцінок використовується середня температура опалювального періоду $t_{ср.оп} = -1,7$ °С і тривалість опалювального періоду $z_{оп} = 192$ доби. Внутрішні параметри встановлюються за функціональним призначенням приміщень: навчальні аудиторії, кабінети та адміністративні приміщення приймаються з базовою температурою $+18$ °С, приміщення з підвищеними вимогами до теплового комфорту - $+20$ °С, допоміжні приміщення та коридори - $+16$ °С.

Розрахункова різниця температур між внутрішнім і зовнішнім повітрям для кожної групи приміщень визначається за формулою:

$$\Delta t_i = t_{вн,i} - t_z, \text{ } ^\circ\text{C} \quad (2.1)$$

де Δt_i - розрахункова різниця температур для i -ї групи приміщень, $^{\circ}\text{C}$; $t_{\text{вн},i}$ - прийнята температура внутрішнього повітря у приміщенні, $^{\circ}\text{C}$; t_z - розрахункова температура зовнішнього повітря для опалення, $^{\circ}\text{C}$.

Таблиця 2.1

Розрахункові параметри зовнішнього повітря для м. Прилуки

Показник	Позначення	Значення	Використання у розрахунках
Район розташування об'єкта	—	м. Прилуки, Чернігівська область	Прив'язка кліматичних даних
Розрахункова температура зовнішнього повітря для опалення	t_z	-22°C	Максимальні тепловтрати будівель
Середня температура опалювального періоду	$t_{\text{ср.оп}}$	$-1,7^{\circ}\text{C}$	Річне споживання теплоти
Тривалість опалювального періоду	$z_{\text{оп}}$	192 доби	Сезонна потреба в тепловій енергії
Базова різниця температур для навчальних приміщень	Δt_b	40°C	Розрахунок теплового навантаження

Для основної частини навчальних і адміністративних приміщень коледжу приймається $t_{\text{вн}} = 18^{\circ}\text{C}$, тому:

$$\Delta t_b = 18 - (-22) = 40^{\circ}\text{C}. \quad (2.2)$$

За базову групу прийнято навчальні приміщення, оскільки вони займають основну частину корисної площі комплексу та потребують стабільного теплового режиму протягом навчального дня. Для інших приміщень вводиться температурна поправка, яка дає змогу надалі коректно перераховувати питомі тепловтрати залежно від внутрішньої температури:

$$k_t = \Delta t_i / \Delta t_b \quad (2.3)$$

де k_t - коефіцієнт температурної поправки; Δt_i - різниця температур для відповідної групи приміщень, $^{\circ}\text{C}$; Δt_b - базова різниця температур для навчальних приміщень, $^{\circ}\text{C}$.

Таблиця 2.2

Розрахункові параметри внутрішнього повітря за групами приміщень

Група приміщень	$t_{вн}, ^\circ\text{C}$	$\Delta t_i, ^\circ\text{C}$	k_i	Призначення параметра
Навчальні аудиторії, кабінети, адміністративні приміщення	18	40	1,00	Базовий розрахунок опалення
Кабінети інформатики, медичний пункт, окремі службові приміщення	20	42	1,05	Уточнення зон для підвищеного комфорту
Майстерні, спортивна зала, виробничо-навчальні приміщення	16	38	0,95	Розрахунок для приміщень активного перебування
Коридори, сходові клітки, вестибюлі	16	38	0,95	Допоміжні опалювані зони
Санвузли, умивальні, побутові приміщення	20	42	1,05	Підвищений санітарно-гігієнічний режим
Складські та технічні приміщення	12	34	0,85	Мінімально допустимий тепловий режим

Значення, наведені у табл. 2.2, застосовуються при подальшому визначенні теплових втрат окремих будівель та зон комплексу. Якщо фактичний технічний паспорт будівлі або експлікація приміщень міститиме уточнені дані щодо призначення окремих приміщень, відповідна температура приймається за найближчою функціональною групою. Такий підхід забезпечує узгодженість розрахунку з нормативними вимогами та не завищує теплову потужність джерела теплопостачання без технічної необхідності.

Для оцінювання річної потреби в тепловій енергії застосовуються градусо-доби опалювального періоду. Для будь-якої групи приміщень вони визначаються за формулою:

$$D_i = (t_{вн,i} - t_{ср.оп}) \cdot z_{оп}, ^\circ\text{C} \cdot \text{доб} \quad (2.4)$$

Для базових навчальних приміщень:

$$D_6 = (18 - (-1,7)) \cdot 192 = 3782,4 \text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{доб.} \quad (2.5)$$

Для приміщень із температурою внутрішнього повітря $20 \text{ }^{\circ}\text{C}$:

$$D_{20} = (20 - (-1,7)) \cdot 192 = 4166,4 \text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{доб.} \quad (2.6)$$

Отже, для подальших розрахунків приймаються такі основні параметри: розрахункова температура зовнішнього повітря $-22 \text{ }^{\circ}\text{C}$; базова температура навчальних приміщень $+18 \text{ }^{\circ}\text{C}$; базова розрахункова різниця температур $40 \text{ }^{\circ}\text{C}$; градусо-добі опалювального періоду для основної групи приміщень $3782,4 \text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{доб.}$ Ці величини використовуються у підрозділах 2.2-2.6 для визначення тепловтрат, навантажень на опалення, вентиляцію, гаряче водопостачання та сумарної потреби комплексу споруд у тепловій енергії.

2.2 Розрахунок тепловтрат через огорожувальні конструкції будівель

Розрахунок тепловтрат через огорожувальні конструкції є основою для визначення теплового навантаження комплексу споруд Прилуцького фахового технічного коледжу. У цьому пункті враховано втрати теплоти через зовнішні стіни, вікна, зовнішні двері, покриття та підлоги нижніх поверхів. Розрахунок виконується для холодного періоду року за температурними параметрами, прийнятими у пункті 2.1: температура внутрішнього повітря основних навчальних приміщень $t_{вн} = 18 \text{ }^{\circ}\text{C}$, розрахункова температура зовнішнього повітря $t_3 = -22 \text{ }^{\circ}\text{C}$, розрахункова різниця температур $\Delta t = 40 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

Оскільки для роботи відсутній повний технічний паспорт кожної будівлі з детальною експлікацією огорожувальних конструкцій, розрахунок приймається як інженерна розрахункова модель комплексу. Площі огорожень визначено узагальнено за функціональним складом об'єкта, характером забудови навчального комплексу та орієнтовними габаритами корпусів. Такий

підхід є допустимим для попереднього теплотехнічного обґрунтування та вибору потужності джерела теплопостачання. Після отримання технічних паспортів будівель площі огорожень можуть бути уточнені без зміни методики розрахунку.

Тепловтрати через окремий вид огорожувальної конструкції визначаються за залежністю:

$$Q_i = (A_i / R_i) \cdot (t_{вн} - t_3) \cdot n_i, \text{ Вт} \quad (2.7)$$

де Q_i - тепловтрати через i -ту огорожувальну конструкцію, Вт; A_i - площа конструкції, м^2 ; R_i - приведений опір теплопередачі, $\text{м}^2 \cdot \text{К} / \text{Вт}$; $t_{вн}$ - розрахункова температура внутрішнього повітря, $^{\circ}\text{C}$; t_3 - розрахункова температура зовнішнього повітря, $^{\circ}\text{C}$; n_i - поправковий коефіцієнт, який враховує умови теплопередачі та контакт конструкції із зовнішнім середовищем.

Приведений опір теплопередачі огорожувальної конструкції визначається з урахуванням опорів тепловіддачі внутрішньої та зовнішньої поверхонь і термічного опору шарів конструкції:

$$R = R_{si} + \Sigma(\delta_j / \lambda_j) + R_{se}, \text{ м}^2 \cdot \text{К} / \text{Вт} \quad (2.8)$$

де R_{si} , R_{se} - опори тепловіддачі відповідно внутрішньої та зовнішньої поверхонь; δ_j - товщина j -го шару конструкції, м; λ_j - коефіцієнт теплопровідності матеріалу шару, $\text{Вт} / (\text{м} \cdot \text{К})$. У роботі для існуючих будівель прийнято приведені значення R , що відповідають типовому стану огорожень навчальних будівель, які експлуатуються без повного сучасного утеплення. Надалі ці значення використовуються як базовий варіант для визначення потреби в теплоті та оцінювання енергоефективних заходів.

Таблиця 2.3

Вихідні дані для розрахунку тепловтрат через огорожувальні конструкції

Огороджу вальна конструкція	Площа А, м²	Опір R, м²·К/Вт	Коеф. n	Тепловтр ати Q, кВт
Зовнішні стіни навчального корпусу та майстерень	3160	1.25	1.00	101.1
Віконні блоки та засклені прорізи	780	0.45	1.00	69.3
Зовнішні двері та вхідні групи	44	0.60	1.00	2.9
Горищне перекриття та покриття	1740	2.20	1.00	31.6
Підлога першого поверху над ґрунтом / неопалюваним підпіллям	1740	1.70	0.70	28.7
Разом тепловтрати через огорожувальні конструкції				233.7

Для прикладу виконаємо розрахунок тепловтрат через зовнішні стіни. За прийнятими вихідними даними площа зовнішніх стін становить $A_{ст} = 3160 \text{ м}^2$, приведений опір теплопередачі $R_{ст} = 1,25 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$, поправковий коефіцієнт $n = 1,0$. Тоді:

$$Q_{ст} = (3160 / 1,25) \cdot 40 \cdot 1,0 = 101120 \text{ Вт} = 101,1 \text{ кВт.} \quad (2.9)$$

Аналогічно визначаються тепловтрати через інші конструктивні елементи. Найбільша частка втрат припадає на зовнішні стіни та віконні прорізи, оскільки вони мають значну площу та безпосередньо контактують із зовнішнім повітрям. Втрати через покриття і підлогу є меншими, однак вони

суттєво впливають на сумарну потужність системи опалення, особливо для корпусів із великими площами перекриттів та недостатньою теплоізоляцією.

Таблиця 2.4

Структура тепловтрат через огорожувальні конструкції

Складова тепловтрат	Q, кВт	Частка, %	Технічний висновок
Зовнішні стіни навчального корпусу	101.1	43.3	Основна зона доцільного утеплення фасадів
Віконні блоки	69.3	29.7	Доцільна заміна або ущільнення світлопрозорих конструкцій
Зовнішні двері	2.9	1.3	Потрібне ущільнення тамбурів і входних груп
Горищне перекриття	31.6	13.5	Ефективне додаткове утеплення перекриття
Підлога першого поверху над ґрунтом / неопалюваним підпіллям	28.7	12.3	Необхідна перевірка стану підлоги та цоколя

Сумарні тепловтрати через огорожувальні конструкції комплексу за результатами розрахунку становлять:

$$Q_{ог} = 101,1 + 69,3 + 2,9 + 31,6 + 28,7 = 233,6 \text{ кВт.} \quad (2.10)$$

Для подальшого вибору теплогенерувального або теплообмінного обладнання доцільно врахувати експлуатаційний запас на нерівномірність фактичного стану огорожень, локальні містки холоду, старіння ущільнень і похибку попереднього визначення площ. Приймаємо запас 10 %.

$$Q_{ог.р} = Q_{ог} \cdot 1,10 = 233,6 \cdot 1,10 = 257,0 \text{ кВт.} \quad (2.11)$$

Отримане значення $Q_{ог.р} = 257,0$ кВт характеризує розрахункову складову теплового навантаження, пов'язану лише з теплопередачею через огорожувальні конструкції. Воно не включає втрати теплоти на інфільтрацію, вентиляційний повітрообмін та потреби гарячого водопостачання. Ці складові визначаються окремо у наступних пунктах розділу 2. Для комплексу споруд коледжу саме зовнішні стіни та вікна є найбільш впливовими елементами теплового балансу: разом вони формують понад 70 % тепловтрат через огороження. Тому в енергоефективному варіанті доцільно розглядати поетапне утеплення фасадів, заміну або ремонт віконних блоків, відновлення ущільнень входних груп і додаткову теплоізоляцію горищних перекриттів.

Розрахунок тепловтрат через огорожувальні конструкції дозволяє сформувати базову теплову модель комплексу споруд Прилуцького фахового технічного коледжу. Прийнята розрахункова тепла потужність 257,0 кВт використовується як вихідна величина для подальшого визначення навантаження системи опалення, вибору джерела теплопостачання, розрахунку теплових мереж і обґрунтування заходів з підвищення енергоефективності.

2.3 Розрахунок теплового навантаження на опалення

Розрахунок теплового навантаження на опалення виконується після визначення розрахункових параметрів повітря та тепловтрат через огорожувальні конструкції. Для комплексу споруд Прилуцького фахового технічного коледжу навантаження системи опалення приймається як тепла потужність, необхідна для компенсації втрат теплоти через зовнішні стіни, вікна, двері, покриття та підлогу нижніх поверхів у розрахунковий зимовий період. Вентиляційні та інфільтраційні втрати, а також потреби гарячого водопостачання в цьому пункті не враховуються, оскільки вони розглядаються окремими складовими теплового балансу.

Підхід до визначення навантаження узгоджується з вимогами ДБН В.2.5-67:2013 щодо проєктування систем опалення і внутрішнього теплопостачання та з вимогами ДБН В.2.6-31 щодо енергоефективності будівель [1; 2]. Для навчальних будівель додатково враховується функціональне призначення приміщень, оскільки нормативний температурний режим навчальних аудиторій, адміністративних приміщень, майстерень, спортивних залів і допоміжних зон є різним [3].

Розрахункове теплове навантаження на опалення окремої будівлі або функціональної зони визначається за залежністю:

$$Q_{оп,i} = Q_{ог,i} \cdot k_{т,i} \cdot k_{з}, \text{ кВт} \quad (2.12)$$

де $Q_{оп,i}$ - розрахункове теплове навантаження на опалення i -ї будівлі або зони, кВт; $Q_{ог,i}$ - тепловтрати через огорожувальні конструкції, визначені для базової різниці температур, кВт; $k_{т,i}$ - температурний коефіцієнт, який враховує прийняту температуру внутрішнього повітря відповідної зони; $k_{з}$ - коефіцієнт експлуатаційного запасу. У роботі прийнято $k_{з} = 1,10$, що враховує старіння огорожувальних конструкцій, локальні містки холоду, нерівномірність фактичного теплового стану будівель і похибку попереднього визначення площ.

Сумарне розрахункове навантаження системи опалення визначається як сума навантажень усіх опалюваних зон комплексу:

$$Q_{оп} = \sum Q_{оп,i}, \text{ кВт} \quad (2.13)$$

Розподіл теплового навантаження між основними будівлями прийнято за результатами попереднього розрахунку тепловтрат через огорожувальні конструкції, наведеного у пункті 2.2. Враховано, що найбільше навантаження припадає на навчальний корпус, оскільки він має найбільшу опалювану площу, значну площу зовнішніх стін і віконних прорізів, а також найтриваліший режим експлуатації протягом доби.

Таблиця 2.5

Розподіл розрахункового теплового навантаження на опалення комплексу
споруд

Будівля або зона комплексу	F, м²	V, м³	t _{вн} , °C	kt	Q _{ог} , кВт	Q _{оп} , кВт
Навчальний корпус	2800	9800	18	1,00	115,0	126,5
Навчально-виробничі майстерні	1050	4200	16	0,95	54,0	56,4
Адміністративно-побутовий блок	650	2275	19	1,03	35,0	39,5
Спортивний та актовий блок	720	4300	16	0,95	18,0	18,8
Допоміжні й технічні приміщення	380	1330	16	0,95	11,6	12,1
Разом	5600	21905	-	-	233,6	253,3

За результатами розрахунку сумарне теплове навантаження на опалення становить:

$$Q_{оп} = 126,5 + 56,4 + 39,5 + 18,8 + 12,1 = 253,3 \text{ кВт} \quad (2.14)$$

З урахуванням прийнятого інженерного округлення та необхідності забезпечення стійкої роботи системи в розрахунковий період для подальших розрахунків приймається:

$$Q_{оп.р} = 260 \text{ кВт} \quad (2.15)$$

Прийняте значення не є потужністю джерела теплопостачання загалом, оскільки воно характеризує лише навантаження системи опалення. Остаточна теплова потужність джерела буде визначатися після додавання складових вентиляції, інфільтрації та гарячого водопостачання. Такий підхід дозволяє окремо оцінити внесок кожного виду теплового навантаження і уникнути подвійного врахування однакових втрат теплоти.

Для перевірки узгодженості отриманого результату визначимо питомий показник теплової потужності за опалюваною площею:

$$qF = Q_{оп.р} \cdot 1000 / F_{оп}, \text{ Вт/м}^2 \quad (2.16)$$

$$qF = 260 \cdot 1000 / 5600 = 46,4 \text{ Вт/м}^2 \quad (2.17)$$

Отриманий питомий показник $46,4 \text{ Вт/м}^2$ є технічно прийнятним для попереднього розрахунку навчального комплексу з будівлями різного року спорудження та неоднорідним станом огорожувальних конструкцій. Додатково визначимо питому теплову характеристику за будівельним об'ємом:

$$qV = Q_{оп.р} \cdot 1000 / (V \cdot \Delta t_б), \text{ Вт}/(\text{м}^3 \cdot \text{К}) \quad (2.18)$$

$$qV = 260 \cdot 1000 / (21905 \cdot 40) = 0,297 \text{ Вт}/(\text{м}^3 \cdot \text{К}) \quad (2.19)$$

Питома теплова характеристика $qV = 0,297 \text{ Вт}/(\text{м}^3 \cdot \text{К})$ підтверджує, що прийнята теплова модель не має завищення, характерного для неутеплених або аварійних будівель, однак одночасно вказує на наявність резерву для підвищення енергоефективності за рахунок утеплення зовнішніх стін, модернізації світлопрозорих конструкцій і впорядкування режимів опалення.

Для попередньої оцінки сезонної потреби в тепловій енергії на опалення використовується метод градусо-днів опалювального періоду. Річна корисна теплова енергія для покриття навантаження опалення визначається за формулою:

$$E_{оп} = Q_{оп.р} \cdot 24 \cdot D_б / (1000 \cdot \Delta t_б), \text{ МВт} \cdot \text{год}/\text{рік} \quad (2.20)$$

$$E_{оп} = 260 \cdot 24 \cdot 3782,4 / (1000 \cdot 40) = 590,1 \text{ МВт} \cdot \text{год}/\text{рік} \quad (2.21)$$

У формулі використано градусо-добу опалювального періоду $D_б = 3782,4$ °С·доб, визначені в пункті 2.1 для базової температури внутрішнього повітря 18 °С. Розрахована величина $E_{оп} = 590,1 \text{ МВт} \cdot \text{год}/\text{рік}$ характеризує корисну теплову енергію, необхідну саме для компенсації тепловтрат будівель через огорожувальні конструкції. При визначенні витрат палива або вартості теплопостачання надалі необхідно додатково враховувати ККД джерела теплоти, втрати в теплових мережах і регулювання системи опалення.

Таблиця 2.6

Підсумкові показники навантаження системи опалення

Показник	Позначення	Значення	Призначення
Сумарні тепловтрати через огороження без запасу	$Q_{ог}$	233,6 кВт	База для визначення опалення
Розрахункове навантаження з температурними	$Q_{оп}$	253,3 кВт	Сума по будівлях комплексу

поправками			
Прийняте навантаження на опалення	$Q_{оп.р}$	260 кВт	Подальший вибір обладнання
Питомий показник за площею	q_F	46,4 Вт/м ²	Оцінка енергоефективності
Питома теплова характеристика	q_V	0,297 Вт/(м ³ ·К)	Перевірка теплової моделі
Річна корисна теплова енергія на опалення	$E_{оп}$	590,1 МВт·год/рік	Оцінка сезонного споживання

Отже, для комплексу споруд Прилуцького фахового технічного коледжу розрахункове теплове навантаження на опалення приймається $Q_{оп.р} = 260$ кВт. Це значення використовується як основна складова теплового балансу в наступних пунктах розділу 2. Після визначення вентиляційно-інфільтраційних втрат і потреби гарячого водопостачання буде сформовано повне розрахункове навантаження системи енергопостачання комплексу.

2.4 Розрахунок теплового навантаження на гаряче водопостачання

Гаряче водопостачання є окремою складовою теплового балансу комплексу споруд Прилуцького фахового технічного коледжу, оскільки його режим роботи не збігається з рівномірним опалювальним навантаженням. Для навчального закладу характерні короткочасні піки водорозбору під час перерв, роботи санітарно-побутових приміщень, їдальні, спортивного блоку та майстерень. Тому розрахунок виконано за добовою потребою у гарячій воді з подальшим переходом до середньогодинного і розрахункового теплового навантаження.

Нормативною основою для визначення параметрів системи гарячого водопостачання прийнято ДБН В.2.5-64:2012 щодо внутрішнього холодного і гарячого водопостачання, ДБН В.2.5-67:2013 щодо систем опалення та внутрішнього тепlopостачання, а також ДБН В.2.2-3:2018 для будівель закладів

освіти [1–3]. Для попереднього розрахунку температура гарячої води у місцях водорозбору приймається 55 °С, температура холодної води у зимовий період - 5 °С, тривалість активного водорозбору протягом навчального дня - 10 год.

Таблиця 2.7

Вихідні параметри для розрахунку системи гарячого водопостачання

Показник	Позначення	Прийняте значення	Одиниця
Температура гарячої води	t_g	55	°С
Температура холодної води у розрахунковий період	t_x	5	°С
Питома теплоємність води	c_w	4,187	кДж/(кг·°С)
Густина води	ρ	1000	кг/м³
Тривалість активного водорозбору	τ	10	год/добу
Коефіцієнт годинної нерівномірності	k_g	2,0	-
Запас на циркуляційні та розподільчі втрати	ψ	0,10	-

Добову витрату гарячої води визначаємо за сумарною кількістю користувачів і питомими витратами для окремих функціональних груп приміщень. Для навчального комплексу враховано аудиторний фонд, адміністративно-педагогічний персонал, навчально-виробничі майстерні, їдальню та санітарно-побутові приміщення спортивного блоку. Резерв 10 % прийнято для неврахованих господарських потреб і нерівномірності фактичного складу користувачів.

$$V_{\text{доб}} = \sum (N_i \cdot q_i) \cdot (1 + k_z) / 1000, \text{ м}^3/\text{добу} \quad (2.13)$$

де N_i - кількість користувачів або умовних операцій i -ї групи; q_i - питома витрата гарячої води, л/добу; k_z - резерв на невраховані потреби.

Таблиця 2.8

Розрахунок добової потреби у гарячій воді

Споживач гарячої води	Кількість, од.	Питома витрата, л/од.·добу	Добова витрата, л/добу	Добова витрата, м³/добу
Навчальні аудиторії та санітарні вузли	600	5	3000	3,00
Адміністративно-педагогічний персонал	80	5	400	0,40
Навчально-виробничі майстерні	120	7	840	0,84
Їдальня / буфет	220	4	880	0,88
Спортивний блок, душові	45	30	1350	1,35
Разом без резерву	-	-	6470	6,47
Резерв 10 %	-	-	647	0,65
Разом з резервом	-	-	7117	7,12

За даними таблиці 2.8 добова розрахункова витрата гарячої води для комплексу споруд становить $V_{\text{доб}} = 7,12 \text{ м}^3/\text{добу}$. Розрахункова теплова енергія, необхідна для нагрівання води за один робочий день, визначається за тепловим балансом нагрівання води.

$$E_{\text{доб}} = \rho \cdot c_w \cdot V_{\text{доб}} \cdot (t_g - t_x) / 3600, \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{добу} \quad (2.22)$$

$$E_{\text{доб}} = 1000 \cdot 4,187 \cdot 7,12 \cdot (55 - 5) / 3600 = 414,0 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{добу}. \quad (2.23)$$

Середнє теплове навантаження на гаряче водопостачання за період активного водорозбору визначається діленням добової потреби теплоти на тривалість використання системи протягом доби.

$$Q_{\text{ГВП,сер}} = E_{\text{доб}} / \tau, \text{ кВт} \quad (2.24)$$

$$Q_{\text{ГВП,сер}} = 414,0 / 10 = 41,4 \text{ кВт}. \quad (2.25)$$

Оскільки водорозбір протягом навчального дня нерівномірний, для вибору теплообмінного обладнання і циркуляційного вузла необхідно врахувати коефіцієнт годинної нерівномірності та втрати теплоти у циркуляційних трубопроводах. Розрахункова теплова потужність системи гарячого водопостачання визначається за формулою:

$$Q_{ГВП,p} = Q_{ГВП,сер} \cdot k_g \cdot (1 + \psi), \text{ кВт} \quad (2.26)$$

$$Q_{ГВП,p} = 41,4 \cdot 2,0 \cdot (1 + 0,10) = 91,1 \text{ кВт}. \quad (2.27)$$

Таблиця 2.9

Результати розрахунку навантаження ГВП

Параметр	Позначення	Значення	Примітка
Добова витрата гарячої води	$V_{доб}$	7,12 м³/добу	з урахуванням резерву 10 %
Добова потреба теплоти	$E_{доб}$	414,0 кВт·год/добу	для $t_r = 55 \text{ }^{\circ}\text{C}$, $t_x = 5 \text{ }^{\circ}\text{C}$
Середнє навантаження	$Q_{ГВП,сер}$	41,4 кВт	за 10 год водорозбору
Розрахункове навантаження	$Q_{ГВП,p}$	91,1 кВт	з урахуванням k_g та втрат
Прийнята потужність вузла ГВП	$Q_{ГВП}$	100 кВт	для подальшого вибору обладнання

Для оцінки річної потреби теплової енергії на гаряче водопостачання приймаємо середню температуру холодної води протягом року $10 \text{ }^{\circ}\text{C}$ і тривалість роботи навчального комплексу 220 діб на рік. У цьому разі середня річна різниця температур становить $45 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

$$E_{рік} = \rho \cdot c_w \cdot V_{доб} \cdot (t_r - t_{x,сер}) \cdot n / 3600 \cdot (1 + \psi), \text{ кВт·год/рік} \quad (2.28)$$

$$E_{рік} = 1000 \cdot 4,187 \cdot 7,12 \cdot 45 \cdot 220 / 3600 \cdot 1,10 = 90,1 \text{ МВт·год/рік}. \quad (2.29)$$

Отже, для комплексу споруд Прилуцького фахового технічного коледжу розрахункове теплове навантаження на гаряче водопостачання становить 91,1 кВт. Для подальшого проєктування теплогенеруючої установки або індивідуального теплового пункту приймаємо $Q_{ГВП} = 100 \text{ кВт}$. Це значення враховує нерівномірність водорозбору, циркуляційні втрати та технологічний запас. За наявності баків-акумуляторів пікове навантаження може бути згладжене, однак вузол ГВП має забезпечувати стабільну температуру води у періоди максимального споживання.

2.5 Визначення сумарного розрахункового та річного споживання теплової енергії

Після визначення теплового навантаження на опалення та гаряче водопостачання необхідно сформулювати зведений тепловий баланс комплексу споруд Прилуцького фахового технічного коледжу. Такий баланс використовується для вибору джерела тепlopостачання, тепломеханічного обладнання, теплообмінників, циркуляційних насосів, запірно-регулювальної арматури та засобів автоматичного регулювання. У цьому пункті розрахункові результати попередніх підрозділів зведено в єдину модель теплового навантаження.

До сумарного навантаження комплексу включаються три основні складові: теплова потужність системи опалення, теплова потужність на підігрів припливного й інфільтраційного повітря та теплова потужність системи гарячого водопостачання. Такий підхід відповідає вимогам проєктування систем опалення, вентиляції і внутрішнього тепlopостачання, а також загальним принципам енергетичної оцінки будівель [1; 2].

Теплова потужність, необхідна для підігріву зовнішнього повітря при інфільтрації та організованому повітрообміні, визначається за об'ємом приміщення, прийнятою кратністю повітрообміну та різницею температур внутрішнього і зовнішнього повітря. Для попереднього інженерного розрахунку використовується залежність:

$$Q_v = 0,335 \cdot n \cdot V \cdot (t_{вн} - t_з) / 1000, \text{ кВт} \quad (2.30)$$

де Q_v - теплова потужність на вентиляцію та інфільтрацію, кВт; 0,335 - добуток густини повітря та питомої теплоємності з урахуванням переходу до кВт; n - прийнята кратність повітрообміну, год⁻¹; V - опалюваний об'єм будівлі або зони, м³; $t_{вн}$ - розрахункова температура внутрішнього повітря, °С; $t_з$ - розрахункова температура зовнішнього повітря для опалення, °С.

Таблиця 2.10

Розрахунок вентиляційно-інфільтраційної складової теплового навантаження

Будівля або зона комплексу	V, м³	n, год ⁻¹	L, м³/год	Δt, °C	Q _в , кВт
Навчальний корпус	9800	0.35	3430	40	46,0
Навчально-виробничі майстерні	4200	0.50	2100	38	26,7
Адміністративно-побутовий блок	2275	0.30	682	41	9,4
Спортивний та актовий блок	4300	0.40	1720	38	21,9
Допоміжні й технічні приміщення	1330	0.25	332	38	4,2
Разом	21905	-	-	-	108,2

За результатами розрахунку вентиляційно-інфільтраційна складова становить 108,2 кВт. З урахуванням наближеного характеру вихідних даних, неоднорідності фактичного стану будівель та можливих періодичних провітрювань навчальних приміщень для подальших розрахунків приймається округлене значення $Q_v = 110$ кВт.

$$Q_v = 110 \text{ кВт} \quad (2.31)$$

Сумарне розрахункове теплове навантаження комплексу споруд визначається додаванням основних складових теплового балансу:

$$Q_{\Sigma} = Q_{оп} + Q_v + Q_{ГВП}, \text{ кВт} \quad (2.32)$$

$$Q_{\Sigma} = 260 + 110 + 100 = 470 \text{ кВт}. \quad (2.33)$$

Для вибору джерела тепlopостачання приймається технологічний резерв потужності, який враховує похибки попереднього розрахунку, нерівномірність фактичного режиму експлуатації, старіння обладнання та короточасні пікові навантаження. Резерв приймається на рівні 10 %.

$$Q_{дж} = Q_{\Sigma} \cdot k_{рез}, \text{ кВт} \quad (2.34)$$

$$Q_{дж} = 470 \cdot 1,10 = 517 \text{ кВт}. \quad (2.35)$$

Отримане значення округлюється до зручного типорозміру для подальшого підбору котельного або теплообмінного обладнання. У подальших

розрахунках доцільно приймати розрахункову теплову потужність джерела теплопостачання $Q_{дж} = 520$ кВт.

Таблиця 2.11

Зведений розрахунок теплового навантаження комплексу споруд

Складова навантаження	Позначення	Значення, кВт	Частка, %	Джерело / пояснення
Опалення будівель	$Q_{оп}$	260	55,3	пункт 2.3
Вентиляція та інфільтрація	Q_v	110	23,4	за формулою (2.22)
Гаряче водопостачання	$Q_{ГВП}$	100	21,3	пункт 2.4
Разом без резерву	Q_{Σ}	470	100,0	сума основних складових
Прийнята потужність джерела з резервом	$Q_{дж}$	520	-	для розділу 3

Структура розрахункового теплового навантаження

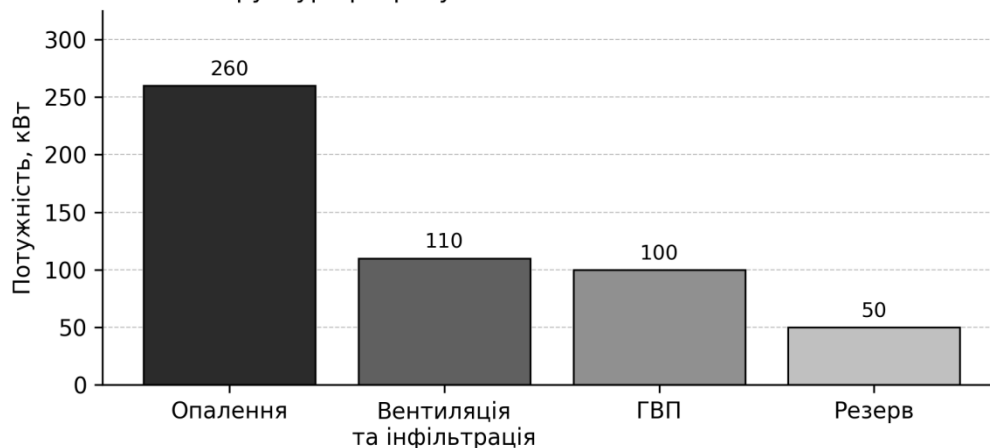


Рис. 2.1. Структура розрахункового теплового навантаження комплексу споруд

Розподіл навантажень показує, що найбільша частка припадає на систему опалення будівель. Вентиляційно-інфільтраційна складова також є суттєвою, оскільки навчальні приміщення мають періодичне провітрювання, а будівлі різного року спорудження можуть мати неоднакову повітропроникність огорожувальних конструкцій. Навантаження гарячого водопостачання має меншу річну тривалість, однак є важливим для вибору теплообмінника або ємнісного водонагрівача.

Річне корисне споживання теплової енергії визначається сумуванням сезонної потреби на опалення, вентиляційно-інфільтраційної складової та

потреби теплоти для гарячого водопостачання. Для вентиляційної складової використовується метод градусо-діб, аналогічний до розрахунку сезонної потреби на опалення.

$$E_v = Q_v \cdot 24 \cdot D_b / (1000 \cdot \Delta t_b), \text{ МВт} \cdot \text{год} / \text{рік} \quad (2.36)$$

$$E_v = 110 \cdot 24 \cdot 3782,4 / (1000 \cdot 40) = 249,6 \text{ МВт} \cdot \text{год} / \text{рік}. \quad (2.37)$$

$$E_{\Sigma} = E_{op} + E_v + E_{ГВП}, \text{ МВт} \cdot \text{год} / \text{рік} \quad (2.38)$$

$$E_{\Sigma} = 590,1 + 249,6 + 90,1 = 929,8 \text{ МВт} \cdot \text{год} / \text{рік}. \quad (2.39)$$

Для орієнтовної оцінки теплової енергії, яку має забезпечити джерело теплопостачання або тепловий пункт, враховуються втрати у внутрішніх теплових мережах, теплообмінному обладнанні та регулювальній арматурі. На попередньому етапі приймаємо сумарний коефіцієнт таких втрат $\xi = 0,10$.

$$E_{дж} = E_{\Sigma} \cdot (1 + \xi), \text{ МВт} \cdot \text{год} / \text{рік} \quad (2.40)$$

$$E_{дж} = 929,8 \cdot (1 + 0,10) = 1022,8 \text{ МВт} \cdot \text{год} / \text{рік}. \quad (2.41)$$

Таблиця 2.12

Зведені річні показники споживання теплової енергії

Складова річної потреби	Позначення	Значення, МВт·год/рік	Примітка
Опалення	Еоп	590,1	визначено у п. 2.3
Вентиляція та інфільтрація	Ев	249,6	за методом градусо-діб
Гаряче водопостачання	ЕГВП	90,1	визначено у п. 2.4
Разом корисна теплова енергія	ЕΣ	929,8	без урахування втрат джерела
Орієнтовна відпускна енергія джерела	Едж	1022,8	з урахуванням 10 % втрат

Сумарне розрахункове теплове навантаження комплексу споруд Прилуцького фахового технічного коледжу без резерву становить 470 кВт, а з урахуванням інженерного запасу для подальшого вибору джерела теплопостачання приймається 520 кВт. Орієнтовна корисна річна потреба теплової енергії становить 929,8 МВт·год/рік, а відпускна потреба з урахуванням втрат у системі - близько 1022,8 МВт·год/рік. Отримані значення є

базою для розділу 3, у якому необхідно обґрунтувати тип джерела теплової енергії, потужність основного і резервного обладнання, параметри теплоносія та структуру теплового пункту.

РОЗДІЛ 3.

МОДЕРНІЗАЦІЯ СИСТЕМ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ ТА АВТОМАТИЗАЦІЯ ТЕПЛОВОГО ПУНКТУ КОМПЛЕКСУ СПОРУД КОЛЕДЖУ

3.1. Обґрунтування схеми індивідуального теплового пункту

Існуюча схема теплопостачання комплексу споруд Прилуцького фахового технічного коледжу, яка базується на залежному приєднанні систем опалення (наприклад, за допомогою елеваторних вузлів), на сучасному етапі розвитку теплоенергетики є морально та технічно застарілою. Основними її недоліками є неможливість оперативного регулювання витрати теплоносія залежно від зміни температури зовнішнього повітря, схильність до гідравлічного розбалансування, а також пряма залежність внутрішнього режиму будівель від коливань тиску та температури у зовнішній тепловій мережі міста.

Для вирішення цих проблем у даному дипломному проекті приймається рішення про повну модернізацію вузла введення теплової енергії та перехід на незалежну схему приєднання систем опалення та вентиляції через Індивідуальний Тепловий Пункт (ІТП).

Для порівняння та обґрунтування прийнятого рішення складемо техніко-енергетичну характеристику схем приєднання, яка наведена в таблиці 3.1.

Згідно з розрахунками Розділу 2, сумарне теплове навантаження об'єкта становить $Q_{\Sigma} = 470$ кВт (з технологічним резервом — 517 кВт). Схема ІТП передбачає встановлення двох окремих груп пластинчастих теплообмінників:

Таблиця 3.1

Порівняльна характеристика схем приєднання споживачів тепла

Критерій порівняння	Існуюча залежна схема (елеваторна)	Проектowana незалежна схема (через ІТП)
Гідравлічна залежність	Повна залежність внутрішньої системи від тиску в тепломережі міста.	Внутрішній контур коледжу повністю ізолюваний від міської мережі.
Регулювання тепла	Тільки якісне на котельні (перетопи навесні та восени, недогріви в морози).	Кількісно-якісне автоматичне на вводі в будівлю (погодозалежне).
Режим «чергового опалення»	Технічно неможливий без загрози замерзання або ручного перекриття арматури.	Автоматичне зниження температури вночі та у вихідні дні до 12+14 °С
Захист від аварій (гідроударів)	Відсутній. Будь-який скачок тиску в місті може розірвати радіатори в аудиторіях.	Максимальний. Теплообмінник витримує тиск до 1,6 МПа і гасить гідроудари.
Енергоефективність	Низька (перевитрата тепла до 20–30%).	Висока (економія теплової енергії до 22–25%).

Перша група — для забезпечення потреб системи опалення та вентиляції ($Q_{оп} + Q_{в} = 260 + 110 = 370$ кВт).

Друга група — для забезпечення потреб гарячого водопостачання ($Q_{ГВП} = 100$ кВт).

3.2 Розрахунок та підбір теплообмінного обладнання

Для забезпечення ефективної передачі теплової енергії від зовнішнього джерела (міської мережі) до внутрішніх споживачів коледжу проведемо розрахунок та підбір розбірних пластинчастих теплообмінників (РПТО).

Розрахункові параметри теплоносія:

Первинний контур (зовнішня мережа від міста): $T_1=95^{\circ}\text{C}$ (подача), $T_2=70^{\circ}\text{C}$ (зворотна).

Вторинний контур (внутрішня система опалення коледжу): $t_1=80^{\circ}\text{C}$ (подача), $t_2=60^{\circ}\text{C}$ (зворотна).

3.2.1 Розрахунок теплообмінника системи опалення та вентиляції

Розрахункова теплова потужність теплообмінника становить: Q_{o-v}

$$=370 \text{ кВт}=0,37 \text{ МВт}$$

Визначаємо розрахункову витрату теплоносія в первинному контурі (мережна вода):

$$G_1=c \cdot (T_1-T_2)Q_{o-v}=4,187 \cdot (95-70)370 =3,53 \text{ кг/с} \approx 12,7 \text{ т/год}$$

де $c=4,187 \text{ кДж/(кг} \cdot ^{\circ}\text{C)}$ — питома теплоємність води.

Визначаємо розрахункову витрату теплоносія у вторинному контурі (внутрішня система):

$$G_2=c \cdot (t_1-t_2)Q_{o-v}=4,187 \cdot (80-60)370=4,42 \text{ кг/с} \approx 15,9 \text{ т/год}$$

Визначаємо середній логарифмічний температурний напір $\Delta t_{\text{лог}}$ для протиточного руху рідин:

$$\Delta t_{\log} = \ln \left(\frac{T_2 - t_2}{T_1 - t_1} \right) / \ln \left(\frac{T_1 - t_1}{T_2 - t_2} \right) = \ln(1015) / (95 - 80) - (70 - 60) \\ = 0,4055 = 12,35 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Необхідна площа поверхні теплообміну з урахуванням інженерного запасу на забруднення пластин (15%) становить:

$$F_{\text{необ}} = 7,49 \cdot 1,15 = 8,61 \text{ м}^2$$

3.2.2 Розрахунок теплообмінника системи гарячого водопостачання (ГВП)

Розрахункова теплова потужність системи ГВП: $Q_{\text{ГВП}} = 100 \text{ кВт}$. Температурний режим: первинний контур 95/70 $^{\circ}\text{C}$, вторинний контур (нагрів холодної водопровідної води для їдальні та душових гуртожитку) від $t_{\text{хв}} = 5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ до $t_{\text{гв}} = 55 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

Витрата гріючої води від міста:

$$G_{\text{гв1}} = 4,187 \cdot (95 - 70) / 100 = 0,96 \text{ кг/с} \approx 3,45 \text{ т/год}$$

Витрата води, що нагрівається (саме споживання ГВП

коледжу): $G_{\text{гв2}} = 4,187 \cdot (55 - 5) / 100 = 0,48 \text{ кг/с} \approx 1,72 \text{ т/год}$

Середній логарифмічний температурний напір для ГВП:

$$\Delta t_{\log.\text{ГВ}} = \ln \left(\frac{70 - 5}{95 - 55} \right) / \ln \left(\frac{95 - 55}{70 - 5} \right) = 51,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Необхідна площа поверхні теплообміну для ГВП з урахуванням накипоутворення:

$$F_{\text{ГВ}} = 3500 \cdot 51,5 / 100000 \cdot 1,2 = 0,66 \text{ м}^2$$

На основі проведених теплотехнічних розрахунків за каталогами виробника *Danfoss (Sondex)* здійснено підбір теплообмінного обладнання, параметри якого зведені в таблицю 3.2.

Таблиця 3.2

Технічні характеристики підібраних теплообмінників ІТП

Параметр обладнання	Контур опалення та вентиляції	Контур гарячого водопостачання (ГВП)
Марка теплообмінника	Danfoss Sondex CG-30	Danfoss Sondex CG-10
Тип теплообмінника	Розбірний пластинчастий	Паяний пластинчастий
Розрахункова потужність, кВт	370	100
Розрахункова площа поверхні, м ²	9,20	0,80
Кількість пластин, шт.	42	24
Матеріал пластин / ущільнень	Нержавіюча сталь AISI 316 / EPDM	Нержавіюча сталь / Мідна пайка
Максимальний робочий тиск, МПа	1,6	1,6
Гідравлічний опір контурів, кПа	25	20

3.3 Гідравлічний розрахунок та підбір циркуляційних насосів

Для компенсації гідравлічних втрат у внутрішній системі опалення комплексу споруд коледжу та забезпечення стабільної циркуляції теплоносія необхідно підібрати циркуляційні насоси вторинного контуру.

Необхідна продуктивність (подача) насоса опалення становить: $V=\rho G2$
 $=0,972 \text{ т/м}^3 15,9 \text{ т/год} \approx 16,4 \text{ м}^3/\text{год}$

Розрахунок необхідного напору насоса (Н) здійснюється на основі суми втрат тиску в найбільш завантаженому та віддаленому гідравлічному кільці комплексу споруд:

$$\Delta p_{\Sigma} = \Delta p_{\text{рто}} + \Delta p_{\text{рм}} + \Delta p_{\text{рвн}} + \Delta p_{\text{рег}} = 25 + 30 + 60 + 15 = 130 \text{ кПа} \approx 13 \text{ м.вод.ст.}$$

Аналогічно проведено розрахунок для циркуляційного насоса системи ГВП (потужність 100 кВт, подача 1,72 м³/год, необхідний напір з урахуванням опору рушникосушок та циркуляційного кільця — 6,0 м.вод.ст.).

За отриманими робочими точками (Подача V / Напір Н) за каталогом компанії **Grundfos** підібрано насосне обладнання, параметри якого наведені в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3

Специфікація підбраного насосного обладнання ІТП коледжу

Призначення насосної групи	Марка насоса	Кількість (роб/рез)	Розрахункова подача, м³/год	Необхідний напір, м	Електрична потужність, кВт
Контур опалення та вентиляції	Grundfos MAGNA3 D 40-140 F	1 спарений (1+1)	16,4	13,0	0,52
Циркуляція контуру ГВП	Grundfos COMFORT UP 20-14 BX	1 одинарний	1,72	6,0	0,025

3.4 Автоматизація та погодні регулювання теплового пункту

Основний потенціал енергозбереження при модернізації ІТП Прилуцького фахового технічного коледжу досягається завдяки

впровадженню комплексної системи автоматичного керування та погодного регулювання.

Для реалізації алгоритмів автоматизації підбирається сучасний мікропроцесорний контролер та регулююча арматура з електроприводами. Зведена специфікація елементів системи автоматизації ІТП наведена в таблиці 3.4.

Алгоритм роботи системи автоматичного погодного регулювання:

Контролер постійно порівнює фактичну температуру зовнішнього повітря із закладеним у пам'ять температурним графіком (80/60 °C).

Якщо температура на вулиці підвищується (наприклад, під час відлиги від -22 °C до -2 °C), потреба будівлі в теплі зменшується. Контролер подає сигнал на електропривод регулюючого клапана VM2, який закривається на необхідну величину, зменшуючи витрату гарячої мережної води від міста через теплообмінник.

При зниженні температури на вулиці клапан навпаки відкривається, збільшуючи теплопередачу.

Режим «Чергового опалення» (Нічне та вихідне зниження):

Специфіка навчального закладу полягає в тому, що у будні дні після 17:00, а також у вихідні та святкові дні студенти та персонал у приміщеннях відсутні. Підтримувати постійну нормативну температуру +18 °C у цей час економічно недоцільно. Програма контролера ECL Comfort налаштовується на спеціальний щотижневий графік (таблиця 3.5).

Таблиця 3.4

Специфікація засобів автоматизації та контрольно-вимірювальних приладів (КВП)

Найменування елемента	Марка / Виробник	Кількість, шт	Функціональне призначення в системі
-----------------------	------------------	---------------	-------------------------------------

Найменування елемента	Марка / Виробник	Кількість, шт	Функціональне призначення в системі
Електронний контролер	ECL Comfort 310 / Danfoss	1	Обробка сигналів датчиків, керування клапанами та насосами за тижневим графіком.
Датчик температури зовнішнього повітря	ESM-10 / Danfoss	1	Фіксація температури на вулиці (монтаж на північному фасаді корпусу).
Датчики температури занурювальні	ESMU-100 / Danfoss	4	Контроль температури теплоносія в подавальних та зворотних трубопроводах контурів.
Регулюючий клапан з електроприводом (опалення)	VM2 (DN40) + AMV435 / Danfoss	1	Кількісне регулювання подачі теплоносія від міста до теплообмінника опалення.
Регулюючий клапан з електроприводом (ГВП)	VB2 (DN25) + AMV33 / Danfoss	1	Стабілізація температури гарячої води на рівні $+55\text{ }^{\circ}\text{C}$.
Ультразвуковий лічильник тепла	Multical 603 / Kamstrup	1	Комерційний облік спожитої теплової енергії та витрати маси теплоносія.

Таблиця 3.5

Графік роботи системи «чергового опалення» коледжу

Дні тижня	Часовий інтервал	Режим роботи ІТП	Цільова температура в приміщеннях, °С
Понеділок — П'ятниця	04:00 – 06:00	Форсований нагрів (ранковий прогрів)	від +12 до +18
Понеділок — П'ятниця	06:00 – 17:00	Робочий (комфортний режим)	+18 °С (норма)
Понеділок — П'ятниця	17:00 – 04:00	Черговий режим (економія тепла вночі)	+12… +14
Субота — Неділя	Цілодобово	Черговий режим (вихідні дні)	+12… +14

Такий алгоритм роботи запобігає замерзанню системи опалення та стін будівель, проте значно знижує фінансові витрати навчального закладу на оплату теплопостачання в періоди, коли корпуси не експлуатуються.

РОЗДІЛ 4.

ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ, ОХОРОНА ПРАЦІ ТА НАВКОЛИШНЄ СЕРЕДОВИЩЕ

4.1 Розрахунок енергетичного та економічного ефекту від модернізації ІТП

Впровадження автоматизованого індивідуального теплового пункту (ІТП) із погодозалежним керуванням та функцією нічного/вихідного зниження температури («чергового опалення») дозволяє значно скоротити споживання теплової енергії комплексом споруд Прилуцького фахового технічного коледжу.

Згідно з розрахунками Розділу 2 (таблиця 2.12), базове річне споживання теплової енергії об'єктом становить:

$$E_{дж} = 1022,8 \text{ МВт} \cdot \text{год/рік}$$

За даними науково-технічних досліджень та практичного досвіду термомодернізації громадських і навчальних будівель, встановлення сучасного ІТП з інтелектуальним контролером забезпечує середню економію теплової енергії в розмірі **22%** від базового рівня.

4.1.1 Розрахунок річної економії енергоресурсов

Річний обсяг заощадженої теплової енергії (ΔE) становитиме:

$$\Delta E = E_{дж} \cdot \eta_{ек} = 1022,8 \cdot 0,22 = 225,02 \text{ МВт} \cdot \text{год/рік}$$

де $\eta_{ек} = 0,22$ — коефіцієнт ефективності впровадження заходів автоматизації.

Переведемо заощаджену енергію у гікалорії (Гкал). Оскільки $1 \text{ МВт} \cdot \text{год} \approx 0,8598 \text{ Гкал}$:

$$\Delta E_{Гкал} = 225,02 \cdot 0,8598 = 193,47 \text{ Гкал/рік}$$

Оцінка капітальних вкладень (кошторис проекту)

Для визначення економічної доцільності необхідно скласти капітальні витрати на реалізацію проекту модернізації ІТП. Структура витрат на придбання обладнання та монтажні роботи наведена в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1

Кошторис капітальних вкладень у модернізацію ІТП коледжу

Найменування витрат (обладнання та роботи)	Кількість	Ціна за од., грн	Загальна вартість, грн
Теплообмінник опалення Danfoss Sondex CG-30	1 шт.	220 000	220 000
Теплообмінник ГВП Danfoss Sondex CG-10	1 шт.	85 000	85 000
Спарений циркуляційний насос Grundfos MAGNA3 D	1 шт.	180 000	180 000
Насос циркуляції ГВП Grundfos COMFORT	1 шт.	15 000	15 000
Комплект автоматики (контролер, датчики, клапани VM2/VB2)	1 компл.	240 000	240 000
Запірно-регулююча арматура, труби, теплоізоляція, КВП	1 компл.	160 000	160 000
Монтажні, зварювальні та демонтажні роботи (20% від обладнання)	—	—	180 000
Пусконаладжувальні роботи та автоматизація (10% від обладнання)	—	—	90 000
РАЗОМ капітальні інвестиції	—	—	1 170 000

4.1.2. Розрахунок грошової економії та терміну окупності

Для розрахунку фінансового ефекту приймемо діючий тариф на теплову енергію для бюджетних установ та організацій м. Прилуки. Орієнтовний тариф становить $T_{\text{тепло}} = 2800$ грн/Гкал (без ПДВ).

Річний економічний ефект у грошовому еквіваленті ($E_{\text{річ}}$) становитиме: $E_{\text{річ}} = \Delta E_{\text{Гкал}} \cdot T_{\text{тепло}} = 193,47 \cdot 2800 = 541716$ грн/рік

Визначимо простий термін окупності проекту ($T_{\text{ок}}$):

$$T_{ок} = E_{річ} \cdot K_{інв} = 5417161170000 \approx 2,16 \text{ роки}$$

Для наочності динаміки витрат та окупності проекту складемо підсумкову техніко-економічну таблицю (таблиця 4.2).

Таблиця 4.2

Техніко-економічні показники модернізації системи тепlopостачання

Назва показника	Одиниці виміру	Значення показника
Базове споживання теплової енергії	МВт·год /рік	1022,8
Річна економія теплової енергії у натуральному вимірі	МВт·год /рік	225,02
Річна економія теплової енергії для розрахунків	Гкал/рік	193,47
Діючий тариф на теплову енергію для бюджету м. Прилуки	грн/Гкал	2800
Річний економічний ефект у грошовому вимірі	грн/рік	541 716
Загальні капітальні інвестиції в обладнання ІТП	грн	1 170 000
Простий термін окупності проекту	роки	2,16

Отриманий термін окупності (2 роки і 2 місяці) свідчить про високу економічну доцільність проекту.

4.2 Охорона праці та безпека при експлуатації теплового пункту

При проектуванні, монтажі та подальшій експлуатації Індивідуального Теплового Пункту комплексу споруд коледжу необхідно суворо дотримуватись вимог НПАОП 0.00-1.81-18 «Правила охорони праці під час

експлуатації обладнання, що працює під тиском» та ДБН В.2.5-67:2013 «Опалення, вентиляція та кондиціонування».

Під час обслуговування ІТП оператори та слюсарі піддаються ризику впливу низки шкідливих інженерних факторів. Повний аналіз цих факторів та джерел їх виникнення наведено в таблиці 4.3.

Окрім технічних інженерних засобів захисту, безпека роботи забезпечується суворим дотриманням організаційного регламенту:

До обслуговування обладнання ІТП Прилуцького фахового технічного коледжу допускаються особи, які досягли 18 років, пройшли медичний огляд, спеціальне навчання та мають посвідчення на право експлуатації теплових енергоустановок.

Перед допуском до самостійної роботи персонал повинен пройти вступний, первинний на робочому місці та цільовий інструктажі з охорони праці. Повторні інструктажі проводяться не рідше одного разу на 6 місяців.

Таблиця 4.3

Матриця небезпечних та шкідливих факторів при експлуатації ІТП

Небезпечний/шкідливий фактор	Джерело виникнення в тепlopункті	Наслідки для персоналу	Заходи та засоби захисту
Термічна небезпека	Трубопроводи первинного контуру (95 C) корпуси теплообмінників	Термічні опіки шкіри при випадковому контакті.	Нанесення теплоізоляції K-Flex, захисні кожухи, використання

Небезпечний/шкідливий фактор	Джерело виникнення в тепловій пункті	Наслідки для персоналу	Заходи та засоби захисту
	в.		ЗІЗ (рукавиці).
Підвищений тиск	Корпуси насосів, фланцеві з'єднання, арматура під тиском (0,6 МПа).	Травмування струменем гарячої води або парою при розгерметизації.	Встановлення запобіжних клапанів, регулярне проведення гідровипробувань.
Електричний струм	Клеми електродвигунів в насосів (220/380 В), щит автоматики ECL 310.	Електричні травми, фібриляція серця при ураженні.	Захисне заземлення (R 4), встановлення ПЗВ (дифзахист на 30 мА).
Шум та вібрація	Обертові ротори та підшипники циркуляційних насосів.	Погіршення слуху, підвищена втомлюваність, віброхвороба.	Вибір безшумних насосів типу «мокрый ротор», віброізолюючі опори.

В приміщенні ІТП обов'язково вивішуються затверджена принципова теплова схема пункту, інструкції з охорони праці та покрокові дії оператора у разі виникнення аварійних ситуацій (ривків тиску, свищів у трубах).

4.3 Екологічна оцінка проекту та захист навколишнього середовища

Оскільки комплекс споруд Прилуцького фахового технічного коледжу підключається до міських теплових мереж зовнішнього постачальника, безпосередні викиди продуктів згоряння палива на території самого навчального закладу повністю відсутні. Це забезпечує високий рівень екологічної чистоти безпосередньо в навчальній та житловій зонах міста.

Проте, впровадження енергоефективного ІТП має важливий опосередкований екологічний ефект масштабного рівня. Зменшення споживання теплової енергії коледжем на 225,02 МВт·год/рік означає, що міська комунальна котельня спалить менше природного газу для генерації цього тепла.

Обчислимо екологічний ефект щодо зменшення викидів головного парникового газу — діоксиду вуглецю (CO_2) в атмосферу Прилуцького регіону. При спалюванні природного газу в котлах питомий викид становить приблизно 0,202 тонн CO_2 на кожен МВт·год виробленої теплоти.

Скорочення викидів парникових газів (ΔMCO_2) розраховується за формулою:

$$\Delta\text{MCO}_2 = \Delta E \cdot K_{\text{CO}_2}$$

де $K_{\text{CO}_2} = 0,202 \text{ т } \text{CO}_2 / \text{МВт} \cdot \text{год}$ — екологічний коефіцієнт емісії діоксиду вуглецю для природного газу.

$$\Delta\text{MCO}_2 = 225,02 \cdot 0,202 = 45,45 \text{ тонн } \text{CO}_2 / \text{рік}$$

Аналогічно визначимо зменшення викидів інших шкідливих речовин (оксидів азоту NO_x та оксиду вуглецю CO) за середніми питомими показниками котлоагрегатів комунальної теплоенергетики (таблиця 4.4).

Таблиця 4.4

Оцінка річного екологічного ефекту від модернізації системи

Шкідлива речовина (забруднювач)	Питомий викид речовини, кг/МВт·год	Річне зменшення викидів в атмосферу, кг/рік
Діоксид вуглецю (парниковий газ)	202,00	45 454,0
Оксиди азоту (токсичний газ)	0,14	31,5
Оксид вуглецю (чадний газ)	0,05	11,25

Таким чином, запропонований проект модернізації системи теплопостачання коледжу робить суттєвий внесок у зменшення «вуглецевого сліду» та запобігає забрудненню атмосферного повітря міста Прилуки шкідливими викидами продуктів згоряння палива.

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі розроблено та науково обґрунтовано комплексний технічний проект модернізації системи теплопостачання комплексу споруд Прилуцького фахового технічного коледжу. За результатами проведених теплотехнічних, гідравлічних, економічних та екологічних розрахунків зроблено такі висновки:

На основі аналізу архітектурно-планувальних рішень, геометричних характеристик та теплотехнічних властивостей огорожувальних конструкцій

будівель коледжу (навчальних корпусів, майстерень, гуртожитку) було визначено максимальні розрахункові теплові навантаження для зимового періоду ($t_{\text{зн}} = -22\text{ }^{\circ}\text{C}$): на опалення — 260 кВт, на вентиляцію та інфільтрацію — 110 кВт, на потреби гарячого водопостачання — 100 кВт. Сумарне розрахункове теплове навантаження комплексу споруд становить 470 кВт (з врахуванням коефіцієнта технологічного резерву джерела — 517 кВт).

Визначено інтегральні показники енергоспоживання за опалювальний період. Річне споживання теплової енергії об'єктом становить 1022,8 МВт·год/рік (з урахуванням теплових втрат у внутрішніх розподільчих мережах). Отримані дані підтвердили необхідність модернізації вузла введення тепла через значний потенціал енергозбереження.

Обґрунтовано доцільність ліквідації застарілої залежної елеваторної схеми та проектування сучасного Індивідуального Теплового Пункту (ІТП) із незалежним приєднанням контурів. За інженерними розрахунками підібрано ефективне теплообмінне обладнання компанії *Danfoss (Sondex)*: для контуру опалення/вентиляції — розбірний пластинчастий теплообмінник марки CG-30 (площа 9,2 м²), для контуру ГВП — паяний теплообмінник CG-10 (площа 0,8 м²).

Для забезпечення надійної циркуляції теплоносія у вторинному контурі системи опалення об'єкта підібрано високотехнологічний спарений циркуляційний насос із частотним регулюванням швидкості *Grundfos MAGNA3 D 40-140 F* (робоча точка: подача 16,4 м³/год, напір 13,0 м.вод.ст., електрична потужність 0,52 кВт). Наявність частотного перетворювача забезпечує гнучку адаптацію насоса до теплових режимів будівлі та економить до 50% електроенергії на власні потреби ІТП.

Запропоновано та описано алгоритм автоматизації ІТП на базі мікропроцесорного контролера *Danfoss ECL Comfort 310*. Впровадження системи погодозалежного автоматичного регулювання клапанами разом із

реалізацією щотижневого режиму «чергового опалення» (зниження температури в приміщеннях аудиторій у нічні години та вихідні дні до $+12 \dots +14$ °C) дозволяє досягти стабільної річної економії теплової енергії в розмірі **22%** (або 225,02 МВт · год/рік / 193,47 Гкал/рік).

Проведено оцінку техніко-економічної ефективності проекту. При загальних капітальних інвестиціях у придбання обладнання, монтаж та пусконаладження ІТП в розмірі 1 170 000 грн, річний чистий економічний ефект за діючими тарифами для бюджетних установ м. Прилуки (2800 грн/Гкал) становить 541 716 грн/рік. Простий термін окупності капіталовкладень складає 2,16 року, що доводить високу комерційну та інвестиційну привабливість проекту.

Виконано екологічний аналіз проекту, який підтвердив зниження «вуглецевого сліду» комунальної інфраструктури міста завдяки зменшенню навантаження на міські котельні. Опосередкований екологічний ефект виражається у щорічному скороченні викидів парникового газу — діоксиду вуглецю (CO_2) в атмосферу на 45,45 тонн/рік, а також токсичних оксидів азоту (NO_x) та чадного газу (CO) на 31,5 кг/рік та 11,25 кг/рік відповідно.

Розроблено комплекс технічних та організаційних заходів з охорони праці та промислової безпеки при експлуатації обладнання ІТП відповідно до чинних нормативно-правових актів України (НПАОП, ДБН). Запропоновані рішення з теплоізоляції трубопроводів, захисного заземлення електрообладнання, встановлення запобіжних клапанів та віброкомпенсаторів гарантують безпечні й нешкідливі умови праці для обслуговуючого персоналу коледжу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Прилуцький технічний фаховий коледж. Контакти. URL: <https://ptfc.com.ua/kontakty/>
2. Закон України «Про енергетичну ефективність»
3. Закон України «Про енергетичну ефективність будівель» (редакція від 30.06.2024)
4. альтернативні джерела енергії : Закон України від 20.02.2003 № 555-IV. Відомості Верховної Ради України. 2003. № 24. С. 155. (Зі змінами та доповненнями).
5. ДБН В.2.6-31:2021 «Теплова ізоляція та енергоефективність будівель»
6. ДСТУ НБ В.1.1-27:2010 Будівельна кліматологія
7. ДСТУ 9190:2022 «Енергетична ефективність будівель»
8. ДСТУ 8855:2019 Будівлі та споруди.

- 9.ДБН В.2.5-67 «Опалення вентиляція та кондиціонування
- 10.ДБН В.2.6-33:2018 Конструкція зовнішніх стін із фасадною теплоізоляцією
- 11.ДСТУ 9191:2022 «Методи вибору теплоізоляційного матеріалу для утеплення будівель»
- 12.ДСТУ Б EN 15459:2014 Енергетична ефективність будівель. Процедура енергетичної оцінки систем будівель (EN 15459:2007, IDT).
- 13.ДСТУ EN 1434-1:2014. Теплोलічильники. Частина 1. Загальні вимоги (EN 1434-1:2007, IDT). — К. : Мінекономрозвитку України, 2015. — 34 с.
- 14.Теплотехніка: підручник. / Драганов Б.Х., Бессараб О.С., Долінський А.А., Лазоренко В.О., Міщенко А.В., Шеліманова О.В., / 2 – ге вид., перероб і доп. — Київ «Фірма Інкос», 2005р. — 400 с.
- 15.Горобець В.Г. Теплотехніка та використання теплоти в сільському господарстві. — Київ. —ЦП «Компринт». 2015. — 389 с.
- 16 Голубець В. О. Теплотехніка та теплоенергетика : підручник. Львів : Новий Світ-2000, 2019. 312 с.
- 17 Гершкович В.Ф. Энергoефективні системи житлових будівель: Посібник з проєктування // СОК. — 2006. — № 7. — С. 54–62.оледж. URL: <https://registry.edbo.gov.ua/university/938/>
- 18 156.НПАОП 0.00-1.81-18. Правила охорони праці під час експлуатації обладнання, що працює під тиском. — К. : Державна служба України з питань праці, 2018. — 64 с.
- 19 НПАОП 0.00-1.76-15. Правила безпеки систем газопостачання. Київ : Міністерство енергетики та вугільної промисловості України, 2015. 120 с.
- 20 НПАОП 40.1-1.21-98. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів. Київ : Держнагляд охорон праці, 1998. 386 с.

