

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ ЕНЕРГЕТИКИ, АВТОМАТИКИ І ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

Допускається до захисту
Завідувач кафедри,
електротехніки, електромеханіки та
електротехнологій
(назва кафедри)

_____ ктн., доцент Окушко О.В.
(підпис)

„_____” _____ 2026 р.

БАКАЛАВРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему: Удосконалення електротехнічного обладнання в котельні з використанням біопалива

Спеціальність 141 "Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка"

02.03 – КР. 2708 "С" 2025.11.07 005 ПЗ

Гарант освітньої програми

Кандидат технічних наук Доцент, _____ Синявський О.Ю.

Керівник доктор технічних наук, професор. _____ Чміль А.І.

Виконав Глусь Назар Юрійович

(ПІБ студента)

КИЇВ – 2026

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ
ІННІ ЕНЕРГЕТИКИ, АВТОМАТИКИ І ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

затверджую
Завідувач кафедри
електротехніки, електромеханіки та електротехнологій
(назва кафедри)

_____ ктн., доцент Окушко О.В.
(підпис)

”_____” _____ 2026 р.

Завдання

На виконання бакалаврської кваліфікаційної роботи студенту

Глусь Назару Юрійовичу

Спеціальність (напрямок підготовки): 141 "Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка"

Тема бакалаврської кваліфікаційної роботи: Удосконалення електротехнічного обладнання в котельні з використанням біопалива

затверджена наказом ректора НУБіП України від "07" 11. 2025 р. № 2708 «С»

Термін подання завершеної роботи на кафедру "___" _____ р.

Вихідні дані до бакалаврської кваліфікаційної роботи: Об'єктом дипломного проектування являється котельня, в якій спалюється біомаса, для обігріву приміщень, які знаходяться на території підприємства, розмірами 24х12х4м.

В котельні встановлено установку для автоматизованої подачі біопалива до котла <<Живе дно>>.

Перелік питань, які потрібно вирішити: Аналіз технологічного процесу роботи котельні на біопаливі та вибір енергоефективного електротехнічного обладнання. Розрахунок параметрів силової та освітлювальної мереж котельні. Проектування системи зовнішнього електропостачання котельні та вибір трансформаторної підстанції. Огляд способів подачі та спалювання біопалива і вибір технологічного обладнання котельної установки. Розробка функціональної схеми автоматизації роботи котельні на біопаливі. Дослідження економічної ефективності модернізації електротехнічного обладнання котельні та розробка заходів з охорони праці.

Перелік _____ додаткових _____ матеріалів: презентація, графічна частина

Дата видачі завдання: _____

Керівник роботи

Доктор технічних наук, Професор.
Завдання прийняв до виконання

Чміль А.І.
Глусь Н. Ю.

ЗМІСТ

ВСТУП

РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА КОТЕЛЬНОЇ ТА ОСНОВИ ВИКОРИСТАННЯ БІОПАЛИВА

1.1. Вихідні дані та характеристика об'єкта проєктування

1.2. Характеристика біопалива, підготовка біомаси та технологія її спалювання

1.3. Видалення, зберігання та утилізація золи

РОЗДІЛ 2. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА ПРОЄКТУ

2.1. Розрахунок теплової потужності котельні та вибір котла

2.2. Розробка системи водопостачання і вибір технологічного обладнання

2.3. Розрахунок та вибір насосного агрегату й електродвигуна

2.4. Підготовка та знезараження води в системі котельні

РОЗДІЛ 3. ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНА ЧАСТИНА ТА УДОСКОНАЛЕННЯ ОБЛАДНАННЯ

3.1. Аналіз електроспоживання та проєктування освітлювальної установки котельні

3.2. Розрахунок електричних навантажень і заходи з енергозбереження

3.3. Модернізація системи подачі та транспортування біопалива

3.4. Вибір, перевірка електродвигуна та розробка електричної схеми керування

РОЗДІЛ 4. ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ, БЕЗПЕКА ТА ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ПРОЄКТУ

4.1. Проєктування внутрішніх силових електропроводок і вибір апаратів захисту

4.2. Вибір ввідно-розподільного обладнання котельні

4.3. Охорона праці, пожежна безпека та захист навколишнього середовища

					ДР.НУБіП.141.____.2026.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		3

4.4. Економічне обґрунтування удосконалення електротехнічного обладнання

ВИСНОВКИ

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

ДОДАТКИ

					ДР.НУБіП.141.____.2026.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		4

ВСТУП

Сучасний розвиток енергетики та промислової інфраструктури вимагає не лише стабільного забезпечення споживачів тепловою енергією, а й постійного підвищення енергоефективності, надійності та безпеки роботи теплотехнічних установок. Особливої актуальності ці питання набувають для котелень, у яких поряд із традиційними енергоносіями дедалі ширше застосовуються альтернативні види палива, зокрема біопаливо. Використання біомаси дає можливість зменшити залежність від дорогих викопних палив, скоротити експлуатаційні витрати, підвищити екологічність теплогенерації та створити передумови для більш раціонального використання місцевих паливних ресурсів. Разом із тим перехід котельного господарства на біопаливо потребує не лише зміни паливної бази, а й комплексного удосконалення електротехнічного обладнання, яке забезпечує подачу палива, роботу допоміжних механізмів, живлення силових та освітлювальних мереж, автоматизацію технологічних процесів, захист і контроль режимів роботи. Таке технічне переоснащення є важливою умовою безпечної, економічно доцільної та безперебійної експлуатації котельні.

Актуальність теми дипломної роботи зумовлена необхідністю модернізації існуючих котелень у напрямі підвищення їх енергетичної ефективності та адаптації до використання біопалива. Традиційні схеми теплопостачання часто характеризуються значними витратами на паливо, недостатнім рівнем автоматизації, підвищеними трудовими затратами на обслуговування та обмеженими можливостями гнучкого регулювання роботи обладнання. У разі використання біопалива додаткового значення набуває надійність електромеханічних систем транспортування і дозованої подачі біомаси, правильний вибір електродвигунів, засобів керування, захисту та внутрішніх електромереж. Саме тому удосконалення електротехнічного

					ДР.НУБіП.141.____.2026.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		5

обладнання котельні з використанням біопалива слід розглядати як важливий напрям підвищення техніко-економічних показників роботи об'єкта та покращення умов його експлуатації.

Вихідні дані роботи свідчать, що об'єктом проектування є котельня, у якій спалюється біомаса для обігріву приміщень, розташованих на території підприємства, розмірами $24 \times 12 \times 4$ м. У котельні передбачено встановлення автоматизованої системи подачі біопалива до котла типу «Живе дно», а в технологічній частині за результатами розрахунку теплового навантаження обрано котел торгової марки «КРІГЕР» КВм а 0,50 потужністю 0,5 МВт. Такі вихідні параметри визначають практичну спрямованість роботи, оскільки потребують технічно обґрунтованого вибору силового, освітлювального, приводного та комутаційно-захисного обладнання для забезпечення ефективної роботи всієї котельної установки.

Метою дипломної роботи є обґрунтування та розроблення технічних рішень щодо удосконалення електротехнічного обладнання котельні, яка працює з використанням біопалива, з урахуванням вимог енергоефективності, надійності, безпеки експлуатації та економічної доцільності. Досягнення поставленої мети передбачає вирішення таких основних завдань: проаналізувати вихідні дані та дати загальну характеристику котельні як об'єкта проектування; розглянути особливості біопалива, підготовки біомаси, її спалювання та поводження із золою; виконати розрахунок теплової потужності котельні й обрати основне технологічне обладнання; розробити систему водопостачання, підібрати насосний агрегат та електродвигун; здійснити аналіз електроспоживання об'єкта та спроектувати освітлювальну установку; розрахувати електричні навантаження та запропонувати заходи з енергозбереження; модернізувати систему подачі й транспортування біопалива; вибрати та перевірити електродвигун приводу, розробити електричну схему керування; виконати вибір внутрішніх силових електропроводок, апаратів захисту та ввідно-розподільчого обладнання;

					ДР.НУБіП.141.____.2026.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

обґрунтувати заходи з охорони праці, пожежної безпеки, захисту навколишнього середовища та визначити економічну ефективність запропонованих рішень.

Об'єктом дослідження є котельня з використанням біопалива як виробничо-технічна система теплопостачання. Предметом дослідження є електротехнічне обладнання котельні, а також технічні рішення щодо його удосконалення в умовах застосування біомаси як основного або альтернативного виду палива. Теоретичну і методичну основу роботи становлять положення електротехніки, теплотехніки, електропривода, електропостачання промислових об'єктів, автоматизації технологічних процесів, а також розрахункові методи вибору силового та допоміжного обладнання. У процесі виконання роботи використано методи технічного аналізу, інженерних розрахунків, порівняння варіантів, вибору обладнання за технічними параметрами, перевірки режимів роботи електропривода та оцінки економічної ефективності запропонованих заходів.

Практичне значення одержаних результатів полягає в тому, що запропоновані в роботі технічні рішення можуть бути використані під час модернізації котельень, які переходять на біопаливо або вже експлуатують біомасу в якості одного з видів палива. Реалізація запропонованих заходів сприятиме підвищенню надійності роботи системи подачі палива, зниженню витрат на експлуатацію, покращенню умов праці обслуговуючого персоналу, підвищенню рівня електробезпеки та пожежної безпеки, а також скороченню витрат на опалення за рахунок використання більш доступного та екологічно прийняттого палива. Окремого значення набуває автоматизація виробничих процесів, оскільки вона дає змогу зменшити трудомісткість обслуговування котельні та підвищити стабільність її роботи.

Структурно дипломна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків. У першому розділі наведено загальну характеристику котельні та основ використання біопалива.

					ДР.НУБіП.141.____.2026.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

У другому розділі розроблено технологічну частину проєкту. У третьому розділі розглянуто електротехнічну частину та питання удосконалення обладнання. У четвертому розділі подано рішення щодо електропостачання, безпеки та економічної ефективності проєкту. Така побудова роботи дає можливість послідовно перейти від аналізу вихідних даних та технологічних передумов до інженерного обґрунтування конкретних технічних рішень щодо модернізації котельні з використанням біопалива.

					ДР.НУБіП.141.____.2026.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА КОТЕЛЬНОЇ ТА ОСНОВИ ВИКОРИСТАННЯ БІОПАЛИВА

1.1. Вихідні дані та характеристика об'єкта проєктування

Об'єктом проєктування є котельня, призначена для забезпечення тепловою енергією виробничих і допоміжних приміщень підприємства, у якій як основний енергоресурс передбачається використання біомаси. За вихідними даними котельня обслуговує приміщення розмірами $24 \times 12 \times 4$ м, а подача палива до котлоагрегату здійснюється автоматизованою системою типу «живе дно». Така технологічна схема характерна для сучасних твердопаливних котелень малої та середньої потужності, оскільки забезпечує рівномірне переміщення палива зі складу до зони дозованої подачі, зменшує частку ручних операцій і підвищує надійність роботи теплогенерувальної установки.

Компоновка котельні та прийнятий спосіб паливоподачі визначають підвищені вимоги до узгодженої роботи всіх електротехнічних елементів об'єкта. Безперервність спалювання біомаси досягається не лише за рахунок правильного вибору котла, а й завдяки стабільному електроживленню приводів, надійному запуску допоміжних механізмів, коректній роботі шафи керування, достатньому рівню освітленості робочих зон та можливості контролю технічного стану системи в робочому і пусковому режимах.

Первинна характеристика об'єкта проєктування доцільно виконується за геометричними та питомими показниками. Такий підхід дає можливість узгодити масштаб приміщення з тепловою потужністю котельні, оцінити

					ДР.НУБіП.141.____.2026.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

щільність теплового навантаження та підготувати базу для подальших технологічних, електротехнічних і конструктивних рішень.

Площа приміщення котельні визначається як добуток довжини та ширини:

$$S = A \cdot B = 24 \cdot 12 = 288 \text{ м}^2$$

Будівельний об'єм котельні визначається множенням площі на висоту приміщення:

$$V = A \cdot B \cdot H = 24 \cdot 12 \cdot 4 = 1152 \text{ м}^3$$

Для узагальненої оцінки навантаження на одиницю об'єму використовують питомий показник теплової потужності, який відображає співвідношення між встановленою тепловою потужністю котельні та будівельним об'ємом приміщення. За подальшими розрахунками проекту для котельні приймається котел потужністю 0,5 МВт, тобто 500 кВт.

$$q_v = P_k / V = 500 / 1152 = 0,434 \text{ кВт/м}^3$$

Отримане значення $q_v = 0,434 \text{ кВт/м}^3$ свідчить про те, що котельня належить до компактних теплогенерувальних об'єктів із достатньо високою щільністю встановленої теплової потужності. За такої компоновки особливого значення набувають раціональне розміщення паливоподавального обладнання, безпечні проходи для обслуговування, продумане розташування силової апаратури та виключення випадків перегріву електротехнічних вузлів у зоні котлоагрегату.

Характерною особливістю об'єкта є поєднання теплотехнічної та електромеханічної складових. З одного боку, котельня є джерелом теплової енергії для потреб підприємства. З іншого боку, її безперервна робота забезпечується транспортерами, приводами, системою автоматизованої подачі біопалива, пристроями контролю та шафою керування. Саме тому удосконалення електротехнічного обладнання має проводитися з урахуванням

					ДР.НУБіП.141.____.2026.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

реальних вихідних даних об'єкта, складу паливної системи та особливостей режиму спалювання біомаси.

Таблиця 1.1 – Вихідні та розрахункові характеристики об'єкта проєктування

Показник	Позначення	Значення	Одиниця виміру	Примітка
Довжина приміщення	A	24	м	За вихідними даними
Ширина приміщення	B	12	м	За вихідними даними
Висота приміщення	H	4	м	За вихідними даними
Площа приміщення	S	288	м ²	Розраховано
Будівельний об'єм	V	1152	м ³	Розраховано
Теплова потужність котла	P _k	0,50	МВт	Прийнято для подальших розрахунків
Питома потужність на 1 м ²	q _s	1,736	кВт/м ²	Розраховано
Питома потужність на 1 м ³	q _v	0,434	кВт/м ³	Розраховано
Система паливоподачі	—	«живе дно»	—	Автоматизована механізована подача

1.2. Характеристика біопалива, підготовка біомаси та технологія її спалювання

					ДР.НУБіП.141.____.2026.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

Для котельні, оснащеної механізованою системою подачі палива, вибір біомаси повинен здійснюватися не лише за теплою згоряння, а й за гранулометричним складом, вологістю, зольністю, сипучістю, стабільністю складу та зручністю зберігання. Для системи типу «живе дно» найбільш придатними є подрібнені деревні відходи, щепи, пелети та брикети, оскільки саме ці види палива можуть бути подані до котла у механізованому режимі без значних простоїв та без надмірного навантаження на транспортні механізми.

Біомаса як паливний ресурс має низку переваг для даного об'єкта. Вона належить до місцевих відновлюваних джерел енергії, дає можливість замінити частину або весь обсяг традиційного палива, зменшити залежність від нестабільних цін на викопні енергоносії та підвищити енергетичну автономність підприємства. Водночас паливо з біомаси потребує правильно організованої підготовки перед спалюванням, оскільки саме від стану палива залежить стійкість горіння, ККД котлоагрегату, кількість золи та інтенсивність забруднення поверхонь нагріву.

Підготовка біомаси для даної котельні має передбачати приймання палива, вхідний контроль вологості та фракційного складу, видалення сторонніх включень, накопичення експлуатаційного запасу, а також подальшу механізовану подачу до зони спалювання. Для деревної щепи найбільш доцільним є використання фракції середнього розміру без великих кускових включень, які можуть ускладнювати роботу системи «живе дно». Вологість палива повинна підтримуватися на рівні, що забезпечує стабільне горіння без значних перевитрат тепла на випаровування внутрішньої вологи.

З технологічного погляду спалювання біомаси у котельні даного типу доцільно реалізовувати у шарових або колосникових топках із послідовною подачею первинного та вторинного повітря. Первинне повітря забезпечує сушіння, прогрів і часткову газифікацію шару палива, тоді як вторинне повітря створює умови для допалювання летких компонентів у надшаровому просторі.

					ДР.НУБіП.141.____.2026.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

Для автоматизованої системи подачі палива це рішення є раціональним, оскільки поєднує технологічну простоту, відносно невисоку вартість обладнання та достатню гнучкість щодо використання кількох типів біомаси.

Потребу в паливі для забезпечення теплової потужності котельні можна оцінити за узагальненою формулою годинної витрати біопалива:

$$B = 3600 \cdot P_k / (Q_i \cdot \eta_k)$$

де B – годинна витрата палива, кг/год; P_k – теплова потужність котельні, МВт; Q_i – нижча теплота згоряння палива, МДж/кг; η_k – коефіцієнт корисної дії котлоагрегату. Для порівняльної оцінки приймаємо $\eta_k = 0,82$, що відповідає реалістичному режиму роботи котельні на твердому біопаливі.

Для деревної щепи з теплою згоряння 12,0 МДж/кг годинна витрата палива становитиме $B = 3600 \cdot 0,50 / 12,0 \cdot 0,82 = 182,9$ кг/год. За цілодобового режиму роботи потреба в такому паливі складе близько 4,39 т/добу. Це підтверджує, що для сталої експлуатації котельні потрібно передбачити не лише механізовану подачу, а й достатню місткість паливного складу, можливість ритмічного поповнення запасів і захист біомаси від атмосферного зволоження.

Порівняння можливих видів біопалива показує, що мінімальну масову витрату мають паливні пелети, однак вони є більш чутливими до умов зберігання та, як правило, вимагають вищої культури паливного господарства. Деревна щепка має більшу годинну витрату, проте краще відповідає конструкції системи «живе дно», легко інтегрується в механізовану схему транспортування та є технологічно доцільною для підприємств, що мають доступ до відходів деревообробки або місцевої деревної сировини. З огляду на це для даного проєкту саме деревна щепка або подрібнені деревні відходи розглядаються як базовий вид біопалива.

					ДР.НУБіП.141.____.2026.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

Таблиця 1.2 – Порівняльна характеристика можливих видів біопалива для котельні потужністю 0,5 МВт

Вид біопалива	Вологість, %	Зольність, %	Q _i , МДж/кг	Витрата, кг/год	Технологічна оцінка
Деревна щеп	30	2,0	12,0	182,9	Найкраща сумісність із системою «живе дно», придатна для механізованої подачі
Паливні пелети	10	0,7	17,0	129,1	Висока теплота згоряння, але вища вимогливість до сухого зберігання
Паливні брикети	12	0,8	16,0	137,2	Стабільні паливні властивості, зручні для резервного використання
Пелети з лушпиння соняшника	12	3,5	15,5	141,6	Енергетично ефективні, але мають підвищену зольність

					ДР.НУБіП.141.____.2026.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		
						14

1.3. Видалення, зберігання та утилізація золи

Організація поводження із золою є обов'язковою складовою технології роботи котельні на біопаливі. Кількість зольного залишку безпосередньо залежить від виду використаної біомаси, її зольності, стабільності складу та умов згоряння. Для проєктованого об'єкта це питання має не лише санітарно-експлуатаційне, а й електротехнічне значення, оскільки несвоєчасне видалення золи призводить до погіршення теплового режиму топки, збільшення навантаження на механізми паливоподачі та підвищення ризику нештатних режимів роботи.

Розрахунок маси золи, що утворюється під час спалювання біопалива, доцільно виконувати за формулою:

$$G_z = B \cdot A_z / 100$$

де G_z – маса золи, що утворюється за 1 год роботи, кг/год; B – годинна витрата біопалива, кг/год; A_z – зольність палива, %. Для переходу від маси золи до потрібного об'єму накопичення використовується залежність

$$V_z = G_z / \rho_z$$

де ρ_z – насипна густина сухої золи. Для орієнтовної оцінки в роботі приймається $\rho_z = 250 \text{ кг/м}^3$, що відповідає легкій деревній золі після охолодження та зберігання у сухому стані.

За використання деревної щепи зольністю 2,0 % при годинній витраті 182,9 кг/год маса золи становитиме 3,66 кг/год. За цілодобової роботи котельні це відповідає 87,8 кг/добу, тобто приблизно 0,35 м³/добу. Отже, навіть для відносно малозольної деревної біомаси необхідно передбачити закритий зольний контейнер, зручний для щоденного або черездобового очищення без порушення нормальної експлуатації котельні.

Зберігання золи має здійснюватися у металевих або іншого негорючого матеріалу контейнерах, розташованих у сухій зоні, захищеній від атмосферних

					ДР.НУБіП.141.____.2026.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

опадів і повторного зволоження. До моменту остаточного охолодження зольний залишок не допускається складувати поблизу паливного складу або кабельних трас. За умови спалювання чистої деревної біомаси без домішок полімерів, лакофарбових покриттів та сторонніх включень зола може розглядатися як цінний мінеральний залишок з підвищеним вмістом калію та кальцію.

Раціональними напрямками поводження із золою для даного об'єкта є тимчасове контрольоване накопичення, подальше вивезення на санкціонований майданчик або використання як допоміжного меліоранта після лабораторного підтвердження безпечного хімічного складу. У випадку переходу на біопаливо з підвищеною зольністю, зокрема на паливо з лушпиння соняшника, вимоги до очищення топки та частота видалення золи зростатимуть, що має враховуватися під час вибору зольного господарства та режиму технічного обслуговування котельні.

Таблиця 1.3 – Розрахунок утворення золи та організація поводження з нею

Вид біопалива	Зольність, %	Зола, кг/год	Зола, кг/добу	Об'єм, м³/добу	Рекомендований режим поводження
Деревна щепи	2,0	3,66	87,8	0,35	Щоденне видалення, сухе контейнерне зберігання, можливе агротехнічне використання після контролю
Паливні пелети	0,7	0,90	21,7	0,09	Видалення 1 раз на 1–2 доби, мінімальне зольне навантаження

					ДР.НУБіП.141.____.2026.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

Вид біопалива	Зольність, %	Зола, кг/год	Зола, кг/добу	Об'єм, м³/добу	Рекомендований режим поведіння
Паливні брикети	0,8	1,10	26,3	0,11	Періодичне видалення, резервний режим експлуатації
Пелети з лушпиння соняшника	3,5	4,96	119,0	0,48	Посилений контроль шлакоутворення і більш часте очищення топки

Отже, аналіз вихідних даних об'єкта, властивостей біопалива та режимів утворення зольного залишку підтверджує доцільність удосконалення котельні саме у напрямі механізованої роботи з деревною біомасою.

РОЗДІЛ 2. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА ПРОЄКТУ

2.1. Розрахунок теплової потужності котельні та вибір котла

Технологічна частина проєкту виконується на основі вихідних даних, відповідно до яких об'єктом є котельня з механізованою подачею біопалива до котла типу «живе дно». Для опрацювання технологічних рішень приймаємо геометричні розміри приміщення котельні $24 \times 12 \times 4$ м, а також враховуємо прийняте у вихідних матеріалах рішення щодо використання водогрійного котла торгової марки «КРИГЕР» КВм(а)-0,50 з номінальною тепловою потужністю 0,5 МВт. Такий підхід відповідає методичній логіці проєктування, коли спочатку визначають теплове навантаження, а далі на його основі уточнюють тип та основні технічні характеристики котельного агрегату.

Площа приміщення котельні визначається за формулою:

$$S = A \cdot B = 24 \cdot 12 = 288 \text{ м}^2. \quad (2.1)$$

					ДР.НУБіП.141.____.2026.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

Будівельний об'єм котельні становить:

$$V = A \cdot B \cdot H = 24 \cdot 12 \cdot 4 = 1152 \text{ м}^3. \quad (2.2)$$

Для орієнтовної оцінки питомого теплового навантаження використовуємо відношення встановленої потужності котла до будівельного об'єму:

$$q_v = Q_k / V = 500 / 1152 = 0,434 \text{ кВт/м}^3. \quad (2.3)$$

Отримане значення q_v свідчить про достатньо інтенсивний режим теплогенерації, що є характерним для виробничих котелень, які забезпечують теплопостачання не лише власного приміщення, а й суміжних об'єктів підприємства. Вибір котла потужністю 0,5 МВт у таких умовах є технічно обґрунтованим, оскільки він забезпечує необхідний резерв по тепловій потужності, стабільність роботи та можливість використання різних видів твердого біопалива.

Для додаткового аналізу визначимо орієнтовну годинну витрату палива за формулою:

$$B_{\text{год}} = 3,6 \cdot Q_k / (\eta \cdot Q_{n^r}), \quad (2.4)$$

де Q_k – теплова потужність котла, кВт; η – коефіцієнт корисної дії котла; Q_{n^r} – нижча теплота згоряння палива, МДж/кг. Для деревної щепи при $\eta = 0,82$ і $Q_{n^r} = 8,38$ МДж/кг маємо:

$$B_{\text{год}} = 3,6 \cdot 500 / (0,82 \cdot 8,38) = 262,2 \text{ кг/год}. \quad (2.5)$$

Розрахунок показує, що для безперервної роботи котла на деревній щепі необхідна стабільна подача приблизно 0,262 т палива за годину. Це підтверджує доцільність застосування механізованої паливоподачі та спеціалізованого обладнання для приймання, накопичення та дозованого транспортування біомаси. З огляду на те, що система «живе дно» найкраще працює з насипними біопаливами, найбільш доцільним паливом для даного об'єкта є щепи або подрібнені деревні відходи. Саме цей вид палива забезпечує

					ДР.НУБіП.141.____.2026.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

технологічну сумісність із прийнятою системою подачі, задовільну теплоту згоряння та економічну доступність.

Таблиця 2.1 – Вихідні та розрахункові показники для вибору котла

Показник	Одиниця виміру	Дрова	Деревна щеп	Торф
Нижча теплота згоряння	МДж/кг	12,193	8,380	11,145
Орієнтовна годинна витрата палива Вгод	кг/год	180,2	262,2	196,9
Рекомендація для системи «живе дно»	—	обмежено	доцільно	можливо
Прийнята теплова потужність котла Qк	МВт	—	0,50	—
Розрахунковий тиск води	МПа	—	0,40	—
Розрахункова температура води	°С	—	95	—
Поверхня нагріву котла	м²	—	32	—
Об'єм водогрійного котла	м³	—	1,5	—

За результатами аналізу технічних характеристик та умов експлуатації для котельні приймається водогрійний котел «КРІГЕР» КВм(а)-0,50, який забезпечує теплову потужність 0,5 МВт, допускає використання біопалива та узгоджується з механізованою системою подачі палива.

2.2. Розробка системи водопостачання і вибір технологічного обладнання

					ДР.НУБіП.141.____.2026.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

Надійна робота котельні можлива лише за умови безперебійного водопостачання, оскільки вода використовується як теплоносій, а також як ресурс для підживлення та компенсації втрат у системі. Вихідними даними для розрахунку приймаються середньодобова витрата води $Q_{\text{ср.д}} = 10 \text{ м}^3/\text{добу}$, коефіцієнт добової нерівномірності $K_d = 1,3$, коефіцієнт годинної нерівномірності $K_g = 2,5$, коефіцієнт корисної дії системи $\eta_v = 0,9$. Джерелом води є свердловина, з якої вода заглибним насосом подається у водонапірну башту, а далі – до споживачів та в контур котельні.

Максимальну добову витрату води визначаємо за формулою:

$$Q_{\text{(макс.д)}} = Q_{\text{(ср.д)}} \cdot K_d = 10 \cdot 1,3 = 13 \text{ м}^3/\text{добу}. \quad (2.6)$$

Максимальна годинна витрата води становить:

$$Q_{\text{(макс.г)}} = Q_{\text{(ср.д)}} \cdot K_d \cdot K_g / (24 \cdot \eta_v) = 10 \cdot 1,3 \cdot 2,5 / (24 \cdot 0,9) = 1,50 \text{ м}^3/\text{год}. \quad (2.7)$$

Максимальна секундна витрата води дорівнює:

$$Q_{\text{(макс.с)}} = Q_{\text{(макс.г)}} / 3600 = 1,50 / 3600 = 0,00042 \text{ м}^3/\text{с}. \quad (2.8)$$

Регульований запас води у баку водонапірної башти визначається за формулою:

$$V_{\text{(рег)}} = Q_{\text{(макс.д)}} \cdot K_{\epsilon} = 13 \cdot 0,13 = 1,69 \text{ м}^3, \quad (2.9)$$

де $K_{\epsilon} = 0,13$ – коефіцієнт ємкості. Об'єм протипожежного запасу становить:

$$V_{\text{(пож)}} = Q_{\text{(пож)}} \cdot t_{\text{(пож)}} \cdot n = 0,005 \cdot 600 \cdot 1 = 3,0 \text{ м}^3. \quad (2.10)$$

Аварійний запас визначаємо як:

$$V_{\text{(ав)}} = Q_{\text{(макс.г)}} \cdot t_{\text{(ав)}} = 1,50 \cdot 2 = 3,0 \text{ м}^3. \quad (2.11)$$

Розрахунковий об'єм баку водонапірної башти складає:

$$V_{\text{(б.р)}} = V_{\text{(рег)}} + V_{\text{(пож)}} + V_{\text{(ав)}} = 1,69 + 3,0 + 3,0 = 7,69 \approx 7,7 \text{ м}^3. \quad (2.12)$$

					ДР.НУБіП.141.____.2026.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

Оскільки розрахунковий об'єм бака становить 7,7 м³, для системи доцільно обрати збірноблочну водонапірну башту БР-15У з місткістю бака 15 м³ і висотою до дна бака 12 м. Такий вибір забезпечує достатній робочий запас води, необхідний напір у мережі та резерв на випадок аварійної або пожежної ситуації. Для покращення якості підживлювальної води у контур котельні включається магнітодинамічний резонатор, який зменшує схильність системи до утворення відкладень і покращує експлуатаційні умови теплообмінного обладнання.

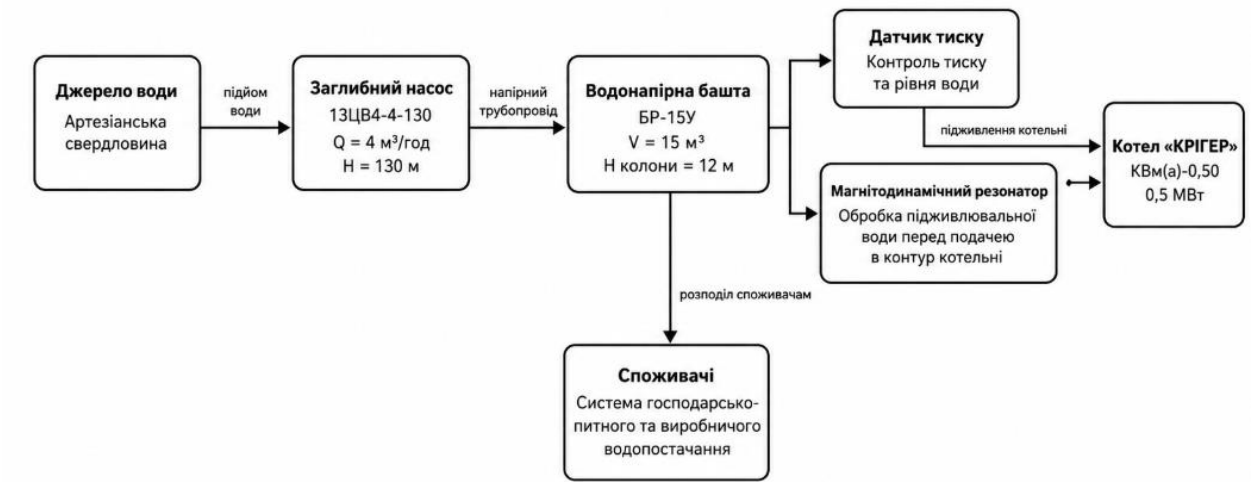


Рисунок 2.1 – Схема системи водопостачання і вибір технологічного обладнання котельні

Таблиця 2.2 – Розрахункові параметри системи водопостачання та вибір обладнання

Параметр	Позначення	Значення	Прийняте рішення
Середньодобова витрата води	Q _{ср.д}	10 м³/добу	за вихідними даними
Максимальна добова витрата	Q _{макс.д}	13 м³/добу	розраховано
Максимальна годинна витрата	Q _{макс.г}	1,50 м³/год	розраховано

Максимальна секундна витрата	$Q_{\text{макс.с}}$	0,00042 м³/с	розраховано
Регульований запас	$V_{\text{рег}}$	1,69 м³	розраховано
Протипожежний запас	$V_{\text{пож}}$	3,0 м³	розраховано
Аварійний запас	$V_{\text{ав}}$	3,0 м³	розраховано
Потрібний об'єм бака	$V_{\text{б.р}}$	7,7 м³	розраховано
Водонапірна башта	–	БР-15У	$V_{\text{б}} = 15 \text{ м}^3$; $H = 12 \text{ м}$
Засіб покращення якості води	–	магнітодинамічний резонатор	в контурі підживлення

Запропонована система водопостачання є функціонально простою, надійною та придатною до експлуатації в умовах невеликої виробничої котельні. Вона поєднує джерело водопостачання, обладнання для підйому та накопичення води, засоби контролю тиску і якісної підготовки води, що дозволяє забезпечити стабільність роботи всієї технологічної системи.

2.3. Розрахунок та вибір насосного агрегату й електродвигуна

Насосний агрегат для водопостачання котельні повинен забезпечувати подачу не менше максимальної годинної витрати води та створювати напір, достатній для подачі води у водонапірну башту і далі до споживачів. Умови вибору насосного агрегату можна записати так: $Q_{\text{н.ном}} \geq Q_{\text{макс.г}}$ та $H_{\text{н.ном}} \geq H_{\text{р}}$. За результатами попереднього розрахунку $Q_{\text{макс.г}} = 1,50 \text{ м}^3/\text{год}$, а розрахунковий напір у системі приймаємо $H_{\text{р}} = 85 \text{ м}$ водяного стовпа, що відповідає приблизно 850 кПа.

З урахуванням цих вимог приймається заглибний насос 1ЭЦВ4-4-130, який має номінальну подачу 4 м³/год і напір 130 м. Вибір насоса з певним запасом за подачею і напором є доцільним, оскільки забезпечує стійку роботу системи в умовах коливання витрати води та гідравлічних втрат у

					ДР.НУБіП.141.____.2026.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

трубопроводах. Для визначення необхідної потужності електродвигуна спочатку переводимо подачу насоса у секунди:

$$Q_H = 4 / 3600 = 0,00111 \text{ м}^3/\text{с}. \quad (2.13)$$

Розрахункова потужність електродвигуна визначається за формулою:

$$P_r = Q_H \cdot H_H / (\eta_H \cdot \eta_{\Pi}), \quad (2.14)$$

де H_H – напір насоса, кПа; η_H – коефіцієнт корисної дії насоса; η_{Π} – коефіцієнт корисної дії передачі. Для даного випадку приймаємо $\eta_H = 0,52$, $\eta_{\Pi} = 1,0$. Тоді:

$$P_r = 0,00111 \cdot 1300 / (0,52 \cdot 1,0) = 2,78 \text{ кВт}. \quad (2.15)$$

Отже, номінальна потужність електродвигуна має бути не меншою за 2,78 кВт. Виходячи з цієї умови, обираємо електродвигун ПЭДВ-2,8-140 з номінальною потужністю 2,8 кВт, струмом 6,9 А, коефіцієнтом пускового струму 5,7, номінальною частотою обертання 2850 хв^{-1} і напругою живлення 380 В. Обраний двигун забезпечує потрібний режим роботи, сумісний з насосом і може бути використаний у складі комплектної водонапірної установки «Каскад» 2,8-2-У2. Для діагностування стану насосного агрегату доцільно передбачити датчики контролю ізоляції та стану підшипників, що підвищує надійність роботи системи.

Таблиця 2.3 – Порівняння розрахункових і паспортних параметрів насосного агрегату та електродвигуна

Показник	Позначення	Розрахункове значення	Прийняте обладнання	Висновок
Максимальна витрата води	$Q_{\text{макс.г}}$	1,50 м³/год	4,0 м³/год	умова виконується
Потрібний напір	H_p	85 м	130 м	умова виконується
Розрахункова потужність двигуна	P_p	2,78 кВт	2,8 кВт	умова виконується

					ДР.НУБіП.141.____.2026.ПЗ	Арк. 23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Номінальний струм двигуна	I _н	–	6,9 А	прийнятно
Частота обертання	n _н	–	2850 хв ⁻¹	прийнятно
Напруга живлення	U _н	380 В	380 В	повна відповідність
Комплектна установка	–	–	«Каскад» 2,8-2-У2	рекомендовано

Таким чином, обраний насосний агрегат 1ЭЦВ4-4-130 та електродвигун ПЭДВ-2,8-140 повністю відповідають вихідним умовам проєкту та забезпечують надійну роботу системи водопостачання котельні.

2.4. Підготовка та знезараження води в системі котельні

Якість води істотно впливає на довговічність і надійність роботи котельного обладнання. Наявність механічних домішок, мікробіологічного забруднення та схильність води до утворення накипу призводять до підвищення теплових втрат, зниження коефіцієнта теплопередачі та скорочення ресурсу роботи обладнання. Тому в системі котельні необхідно передбачити операції з підготовки та знезараження води. У даному проєкті приймається, що вода після механічного очищення проходить бактерицидне знезараження в ультрафіолетовій установці, після чого накопичується в баку підготовленої води і подається у контур котельні.

Розрахунок бактерицидної установки виконуємо для витрати води $Q = 1,4 \text{ м}^3/\text{год}$. Необхідний бактерицидний потік визначаємо за залежністю:

$$\Phi_b = Q \cdot a \cdot k_b \cdot \lg(B_0 / B) / (1563,4 \cdot \eta_{\text{и}} \cdot \eta_{\text{в}}). \quad (2.16)$$

У розрахунку приймаємо: $a = 0,1 \text{ см}^{-1}$ – коефіцієнт поглинання води; $k_b = 2540 \text{ мкВт} \cdot \text{с}/\text{см}^2$ – коефіцієнт виживання бактерій; $B = 1$ – допустима кількість бактерій після знезараження; $B_0 = 900$ – вихідна кількість бактерій; $\eta_{\text{и}} = 0,82$ – коефіцієнт використання бактерицидного потоку; $\eta_{\text{в}} = 0,90$ – коефіцієнт ослаблення потоку у воді. За прийнятими даними отримаємо:

					ДР.НУБіП.141.____.2026.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

$$\Phi\delta = 3,6 \text{ бкт.}$$

(2.17)

Оскільки необхідний бактерицидний потік становить 3,6 бкт, для системи водопідготовки доцільно використати установку УБЗВ-60 з однією лампою ОБПС-60 потужністю 60 Вт при напрузі мережі 220 В. Така установка є конструктивно простою, недорогою в експлуатації та достатньою для забезпечення санітарної якості води в умовах даної котельні. Додатково схема підготовки води передбачає механічний фільтр для затримання зважених домішок і бак накопичення чистої води, що підвищує стабільність роботи всієї системи.

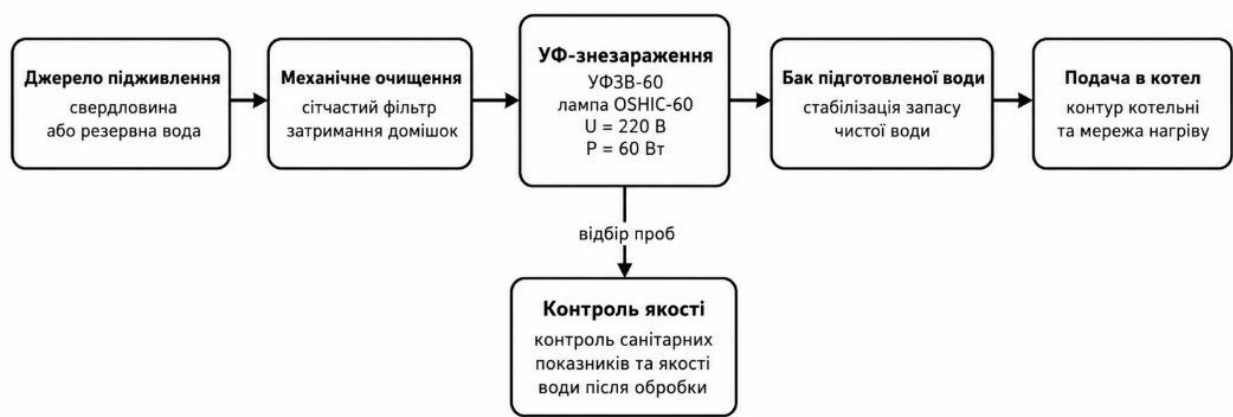


Рисунок 2.2 – Схема підготовки та знезараження води в системі котельні

Таблиця 2.4 – Розрахункові та вибрані параметри системи підготовки і знезараження води

Показник	Позначення	Значення	Примітка
Витрата води на знезараження	Q	1,4 м³/год	за розрахунком
Коефіцієнт поглинання	a	0,1 см ⁻¹	прийнято
Коефіцієнт виживання бактерій	k _б	2540 мкВт·с/см²	прийнято
Кількість бактерій до обробки	В _о	900	прийнято

					ДР.НУБіП.141.____.2026.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

Кількість бактерій після обробки	В	1	нормативна вимога
Коефіцієнт використання потоку	η_i	0,82	розраховано
Коефіцієнт ослаблення у воді	η_v	0,90	прийнято
Необхідний бактерицидний потік	Фб	3,6 бкт	розраховано
Тип установки	—	УБЗВ-60	прийнято
Тип лампи	—	ОБПС-60	1 шт.
Потужність лампи	Р	60 Вт	при U = 220 В

Запропонована схема підготовки та знезараження води забезпечує належну санітарну якість води, зменшує ризик біологічного забруднення, покращує експлуатаційні умови роботи котла і сприяє підвищенню загальної надійності системи теплопостачання.

РОЗДІЛ 3. ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНА ЧАСТИНА ТА УДОСКОНАЛЕННЯ ОБЛАДНАННЯ

					ДР.НУБіП.141.____.2026.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

3.1. Аналіз електроспоживання та проектування освітлювальної установки котельні

Електротехнічна частина проекту охоплює аналіз електроспоживання котельні, розрахунок освітлювальної установки, оцінювання електричних навантажень, а також розроблення рішень щодо удосконалення системи подачі біопалива. Вихідні дані свідчать, що приміщення котельні має розміри $24 \times 12 \times 4$ м, а отже площа приміщення становить 288 м^2 . Для нормальної та безпечної роботи обслуговуючого персоналу у котельні необхідно забезпечити нормативну освітленість 100 лк , що відповідає умовам виконання виробничих операцій, обслуговування котла, насосного устаткування і засобів автоматики.

Проектування освітлювальної установки виконуємо методом коефіцієнта використання світлового потоку. Для промислового приміщення котельні приймаємо загальне робоче освітлення з рівномірним розміщенням світильників. Розрахункова висота підвішування світильників визначається за формулою:

$$H_p = H - (h_z + h_p) = 4,0 - (1,0 + 0,5) = 2,5 \text{ м.} \quad (3.1)$$

де H – висота приміщення; h_z – висота звисання світильника; h_p – висота робочої поверхні над підлогою. Відстань між світильниками визначаємо як:

$$L = \lambda \cdot H_p = 1,6 \cdot 2,5 = 4,0 \text{ м.} \quad (3.2)$$

За довжини приміщення $A = 24$ м та ширини $B = 12$ м кількість світильників у ряду і кількість рядів становлять:

$$n_A = A / L = 24 / 4 = 6 \text{ шт.}; \quad n_B = B / L = 12 / 4 = 3 \text{ ряди.} \quad (3.3)$$

Загальна кількість світильників дорівнює:

$$N = n_A \cdot n_B = 6 \cdot 3 = 18 \text{ шт.} \quad (3.4)$$

Індекс приміщення визначаємо за формулою:

					ДР.НУБіП.141.____.2026.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

$$i = A \cdot B / [H_p \cdot (A + B)] = 24 \cdot 12 / [2,5 \cdot (24 + 12)] = 3,2. \quad (3.5)$$

Для знайденого індексу приміщення та прийнятого типу світильників коефіцієнт використання світлового потоку приймаємо $\eta = 0,43$. Розрахунковий світловий потік однієї лампи становить:

$$F_{\text{л}} = E \cdot K \cdot S \cdot Z / (N \cdot \eta) = 100 \cdot 1,15 \cdot 288 \cdot 1,1 / (18 \cdot 0,43) = 4707 \text{ лм}. \quad (3.6)$$

За розрахунковим значенням приймаємо компактну люмінесцентну лампу КЛС105/ПК зі світловим потоком 5250 лм і потужністю 105 Вт. Потужність освітлювальної установки визначаємо:

$$P_{\text{осв}} = P_{\text{л}} \cdot N \cdot 10^{-3} = 105 \cdot 18 \cdot 10^{-3} = 1,89 \text{ кВт}. \quad (3.7)$$

Отже, система освітлення котельні повинна включати 18 світильників типу НСП-23 із лампами КЛС105/ПК, рівномірно розміщеними за схемою 6×3 . Отримана потужність 1,89 кВт є вихідною величиною для подальшого розрахунку електричних навантажень і вибору апаратів захисту. Аналіз структури електроспоживання показує, що в котельні переважають два напрями споживання електроенергії: силове навантаження приводів і освітлення приміщення. Саме тому освітлювальна установка розглядається як важлива складова загальної електротехнічної системи.



Рисунок 3.1 – Схема аналізу електроспоживання та проектування освітлювальної установки котельні

					ДР.НУБіП.141.____.2026.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

Таблиця 3.1 – Розрахунок параметрів освітлювальної установки котельні

Показник	Позначення	Формула або прийняте значення	Результат	Примітка
Висота приміщення	H	прийнято	4,0 м	за вихідними даними
Розрахункова висота	H _p	$H - (h_z + h_p)$	2,5 м	$h_z = 1,0$ м; $h_p = 0,5$ м
Відстань між світильниками	L	$\lambda \cdot H_p$	4,0 м	$\lambda = 1,6$
Кількість світильників у ряду	nA	A / L	6 шт.	$A = 24$ м
Кількість рядів	nB	B / L	3	$B = 12$ м
Загальна кількість світильників	N	$nA \cdot nB$	18 шт.	схема 6×3
Індекс приміщення	i	$A \cdot B / [H_p(A + B)]$	3,2	розраховано
Коефіцієнт використання	η	прийнято	0,43	для НСП-23
Світловий потік лампи	F _л	розрахунок	4707 лм	необхідний
Прийнята лампа	–	КЛС105/ПК	5250 лм	$R_l = 105$ Вт
Потужність освітлення	P _{осв}	$R_l \cdot N$	1,89 кВт	встановлена потужність

3.2. Розрахунок електричних навантажень і заходи з енергозбереження

Розрахунок електричних навантажень котельні виконується з урахуванням усіх основних споживачів електроенергії. До їх складу входять освітлювальна установка, насосний агрегат системи водопостачання, привід системи подачі та транспортування біопалива, установка знезараження води і

					ДР.НУБіП.141.____.2026.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

кола керування та автоматики. На підставі попередніх розрахунків приймаємо такі встановлені потужності: освітлення – 1,89 кВт, насосний агрегат – 2,8 кВт, електропривід транспортера подачі біопалива – 4,0 кВт, установка знезараження води – 0,06 кВт, система автоматики і сигналізації – 0,30 кВт.

Сумарна встановлена потужність котельні становить:

$$P_{вст} = 1,89 + 2,80 + 4,00 + 0,06 + 0,30 = 9,05 \text{ кВт.} \quad (3.8)$$

Для визначення розрахункової потужності враховуємо коефіцієнти попиту. Для освітлення приймаємо $K_p = 1,0$, для насосного агрегату – 0,85, для системи подачі біопалива – 0,80, для установки знезараження – 1,0, для автоматики – 1,0. Тоді розрахункова потужність дорівнює:

$$P_p = \Sigma(P_{вст_i} \cdot K_{p_i}) = 1,89 + 2,80 \cdot 0,85 + 4,00 \cdot 0,80 + 0,06 + 0,30 = 7,83 \text{ кВт.} \quad (3.9)$$

Розрахунковий струм трифазного вводу визначаємо за формулою:

$$I_p = P_p / (\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos\varphi) = 7,83 / (1,732 \cdot 0,38 \cdot 0,85) = 14,0 \text{ А.} \quad (3.10)$$

Отриманий результат показує, що для котельні достатнім є трифазний ввід напругою 380/220 В з розрахунковим струмом близько 14 А. При виборі апаратів захисту та кабельних ліній необхідно врахувати резерв на можливе короткочасне збільшення навантаження і перспективу модернізації, тому доцільно закладати певний запас за струмом. Аналіз структури навантажень свідчить, що найбільшу частку у загальному балансі споживання має система подачі біопалива і насосний агрегат, тоді як освітлення формує близько однієї п'ятої загального навантаження.

Основні заходи з енергозбереження в котельні доцільно спрямувати на зниження питомих витрат електроенергії на освітлення і приводи. Для освітлення ефективним рішенням є заміна компактних люмінесцентних ламп потужністю 105 Вт на LED-аналоги потужністю 50 Вт при збереженні необхідного світлового потоку. Тоді встановлена потужність освітлення зменшиться до:

					ДР.НУБіП.141.____.2026.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

$$P_{LED} = 18 \cdot 50 \cdot 10^{-3} = 0,90 \text{ кВт.} \quad (3.11)$$

Економія встановленої потужності складе:

$$\Delta P = 1,89 - 0,90 = 0,99 \text{ кВт.} \quad (3.12)$$

За умови роботи освітлення 8 год на добу протягом року річна економія електроенергії складе:

$$\Delta W = 0,99 \cdot 8 \cdot 365 = 2890,8 \text{ кВт}\cdot\text{год/рік.} \quad (3.13)$$

Крім модернізації освітлення, до заходів енергозбереження належать: використання автоматичного керування подачею палива залежно від рівня у витратному бункері, застосування теплового захисту двигунів, своєчасне технічне обслуговування підшипникових вузлів, а також мінімізація холостих режимів роботи обладнання. У сукупності ці рішення дозволяють знизити витрати електроенергії, підвищити надійність роботи котельні та покращити експлуатаційні характеристики електротехнічної системи.

Таблиця 3.2 – Розрахунок електричних навантажень та енергозберігаючі показники

Електроспоживач	Р _{вст} , кВт	К _п	Р _р , кВт	Частка у Р _{вст} , %	Примітка
Освітлювальна установка	1,89	1,00	1,89	20,9	18 світильників
Насосний агрегат	2,80	0,85	2,38	30,9	система водопостачання
Подача і транспортування біопалива	4,00	0,80	3,20	44,2	електропривід
УФ-знезараження води	0,06	1,00	0,06	0,7	лампа 60 Вт
Автоматика і сигналізація	0,30	1,00	0,30	3,3	щит керування

					ДР.НУБіП.141.____.2026.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		
						31

Разом	9,05	–	7,83	100	розраховано
Освітлення після LED-модернізації	0,90	1,00	0,90	–	енергозбереження
Річна економія електроенергії	–	–	2890,8 кВт·год	–	за 8 год/добу

3.3. Модернізація системи подачі та транспортування біопалива

Для даної котельні характерним є використання механізованої системи подачі біопалива, що особливо важливо при розрахунковій годинній витраті палива понад 250 кг/год. Застосування ручної подачі за таких умов призводило б до значних трудових витрат, нерівномірності тепловиділення і зниження загальної ефективності котельні. Тому модернізація системи подачі та транспортування біопалива є одним із ключових напрямів удосконалення всього електротехнічного обладнання об'єкта.

Базою для розрахунку є годинна витрата деревної щепи, визначена у технологічній частині:

$$V_{\text{год}} = 262,2 \text{ кг/год.} \quad (3.14)$$

Для забезпечення запасу продуктивності приймаємо коефіцієнт резерву $K_z = 1,2$. Тоді необхідна продуктивність системи паливоподачі становить:

$$G_{\text{сист}} = V_{\text{год}} \cdot K_z = 262,2 \cdot 1,2 = 314,6 \text{ кг/год.} \quad (3.15)$$

За середньої насипної густини деревної щепи $\rho = 250 \text{ кг/м}^3$ об'ємна продуктивність системи дорівнює:

$$Q_v = G_{\text{сист}} / \rho = 314,6 / 250 = 1,26 \text{ м}^3/\text{год.} \quad (3.16)$$

Отримані значення підтверджують доцільність використання комплексу обладнання у складі складу палива, механізму «живе дно», скребкового транспортера, розподільної заслінки і витратного бункера котла. Система

					ДР.НУБіП.141.____.2026.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

«живе дно» забезпечує поступове переміщення шару біомаси із зони зберігання до зони відбору, скребковий транспортер виконує безперервну подачу палива до котельного відділення, а розподільна заслінка і витратний бункер забезпечують дозоване накопичення та подачу палива у топку. Застосування такої схеми дозволяє стабілізувати процес горіння, усунути простої через нестачу палива і підвищити рівень автоматизації роботи котельні.

Якщо прийняти корисний об'єм витратного бункера приблизно 1,5 м³, його запас палива у масовому вираженні становитиме:

$$M_{\text{бунк}} = V_{\text{бунк}} \cdot \rho = 1,5 \cdot 250 = 375 \text{ кг.} \quad (3.17)$$

Тоді орієнтовна тривалість автономної роботи котла від одного заповнення витратного бункера становитиме:

$$t_{\text{авт}} = M_{\text{бунк}} / V_{\text{год}} = 375 / 262,2 = 1,43 \text{ год.} \quad (3.18)$$

Отже, навіть за короткочасних перерв у подачі зі складу витратний бункер забезпечує стабільність роботи котла протягом приблизно 1,4 год. Для практичної експлуатації це є достатнім значенням, оскільки система «живе дно» та транспортер працюють в автоматичному режимі під контролем датчиків рівня та контролера шафи керування.



					ДР.НУБіП.141.____.2026.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		
						33

Рисунок 3.2 – Схема модернізації системи подачі та транспортування біопалива

Таблиця 3.3 – Основні елементи модернізованої системи подачі біопалива

Елемент системи	Функціональне призначення	Основний параметр	Прийняте значення	Примітка
Склад біопалива	зберігання запасу щепи	Вид палива	деревна щепи	основне паливо
«Живе дно»	переміщення шару біомаси	Режим роботи	автоматичний	керується контролером
Скребковий транспортер	транспортування палива	Потрібна продуктивність	314,6 кг/год	$K_z = 1,2$
Розподільна заслінка	дозування та напрям потоку	Функція	відкриття/закриття	за сигналом контролера
Витратний бункер	накопичення палива	Об'єм	1,5 м ³	умовно прийнято
Запас палива у бункері	автономність роботи	Маса палива	375 кг	$\rho = 250 \text{ кг/м}^3$
Час автономної роботи	стійкість процесу горіння	$t_{\text{авт}}$	1,43 год	розраховано
Шафа керування	автоматизація і захист	Склад	контролер, КМ, КК, SQ	система САПП

					ДР.НУБіП.141.____.2026.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		
						34

3.4. Вибір, перевірка електродвигуна та розробка електричної схеми керування

Для приводу модернізованої системи подачі та транспортування біопалива необхідно вибрати електродвигун, який буде забезпечувати тривалий режим роботи зі змінним навантаженням. За вихідними даними і прикладом розрахунку приймається асинхронний електродвигун АИР112МВ6. Його основні технічні характеристики: номінальна потужність 4,0 кВт, номінальний струм 9,2 А, частота обертання 950 хв^{-1} , коефіцієнт корисної дії 82 %, $\cos\varphi = 0,81$, кратність пускового моменту 2,0, кратність максимального моменту 2,2, кратність пускового струму 6, момент інерції ротора $0,021 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$.

Попередній вибір двигуна виконуємо за умовою забезпечення необхідного еквівалентного струму навантаження:

$$I_{н.дв} \geq I_{екв}. \quad (3.19)$$

За результатами розрахунку навантажувальної діаграми еквівалентний струм приводу становить $I_{екв} = 7,5 \text{ А}$. Для обраного двигуна $I_{н.дв} = 9,2 \text{ А}$, отже умова виконується:

$$9,2 \text{ А} > 7,5 \text{ А}. \quad (3.20)$$

Номінальний момент електродвигуна становить:

$$M_H = 9550 \cdot P_H / n_H = 9550 \cdot 4,0 / 950 = 40,2 \text{ Н}\cdot\text{м}. \quad (3.21)$$

Для робочої машини, якою є транспортер подачі біопалива, момент статичного опору приймається на рівні $26,4 \text{ Н}\cdot\text{м}$. Це означає, що двигун має достатній резерв моменту для стійкого запуску та роботи. Час пуску, визначений графоаналітичним методом, складає $t_{пуск} = 0,373 \text{ с}$. Перевірку двигуна за тепловим режимом виконуємо за формулою:

$$\tau_{\phi} = \phi_t \cdot t_{пуск} = 8,6 \cdot 0,373 = 3,21 \text{ }^{\circ}\text{С}. \quad (3.22)$$

					ДР.НУБіП.141.____.2026.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

Допустиме перевищення температури для двигуна з класом ізоляції, прийнятим у вихідному прикладі, становить 80 °С. Оскільки 3,21 °С < 80 °С, нагрівання двигуна під час пуску є допустимим. За ступенем захисту від дії навколишнього середовища двигун має виконання IP54, що є достатнім для умов експлуатації у приміщенні котельні. Кліматичне виконання – У2.

Електрична схема керування системою подачі біопалива повинна забезпечувати: пуск і зупин електродвигунів; вибір режимів роботи «живого дна»; автоматичний запуск транспортера при зниженні рівня палива у витратному бункері; зупин у разі відкриття дверей складу; аварійне вимкнення; світлову і звукову сигналізацію. Для цього в шафі керування передбачаються автоматичний вимикач QF1, автомати захисту SF1–SF2, логічний контролер, джерело живлення, пускачі KM1–KM2, теплові реле KK1–KK2, кінцеві вимикачі SQ1–SQ7, кнопки пуску і аварійного зупину, а також сигнальні лампи HL1–HL4 і звукові сигналізатори HA1–HA2. Така схема забезпечує автоматизацію процесу подачі біопалива, захист обладнання та безпеку обслуговуючого персоналу.

Таблиця 3.4 – Вибір і перевірка електродвигуна та основні елементи схеми керування

Показник	Позначення	Значення	Норматив або умова	Висновок
Тип двигуна	–	АИР112МВ6	прийнято	до використання
Номінальна потужність	P _н	4,0 кВт	повинна перевищувати розрахункову	виконується
Номінальний струм	I _{н.дв}	9,2 А	I _{н.дв} ≥ I _{екв}	виконується
Еквівалентний струм	I _{екв}	7,5 А	розраховано	допустимо
Частота обертання	n _н	950 хв ⁻¹	за умовами механізму	прийнятно

					ДР.НУБіП.141.____.2026.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

ККД двигуна	η	82 %	паспортне значення	прийнятно
Коефіцієнт потужності	$\cos\varphi$	0,81	паспортне значення	прийнятно
Номінальний момент	M_n	40,2 Н·м	розраховано	достатньо
Момент опору механізму	M_c	26,4 Н·м	розраховано	допустимо
Час пуску	$t_{\text{пуск}}$	0,373 с	розраховано	допустимо
Фактичний нагрів під час пуску	$\tau_{\text{ф}}$	3,21 °С	$\tau_{\text{ф}} < 80 \text{ °С}$	виконується
Ступінь захисту	IP	54	для котельні	достатньо
Основні апарати керування	—	QF1, SF1–SF2, KM1–KM2, KK1–KK2, SQ1–SQ7	за схемою	комплектно

РОЗДІЛ 4. ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ, БЕЗПЕКА ТА ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ПРОЄКТУ

4.1. Проєктування внутрішніх силових електропроводок і вибір апаратів захисту

Проєктування внутрішніх силових електропроводок виконується на підставі розрахункових електричних навантажень котельні, отриманих у попередньому розділі. Для даного об'єкта сумарна встановлена потужність електроспоживачів становить 9,05 кВт, а розрахункова потужність з урахуванням коефіцієнтів попиту дорівнює 7,83 кВт. До складу електроспоживачів входять освітлювальна установка, насосний агрегат системи водопостачання, привід системи подачі біопалива, установка ультрафіолетового знезараження та кола керування і сигналізації. Живлення котельні приймається від трифазної мережі 380/220 В, 50 Гц із системою

					ДР.НУБіП.141.____.2026.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

заземлення TN-S, що є найбільш доцільним рішенням для виробничого приміщення з підвищеними вимогами до електробезпеки.

Розрахунковий струм трифазного вводу визначаємо за формулою:

$$I_p = P_p / (\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos\varphi) = 7,83 / (1,732 \cdot 0,38 \cdot 0,85) = 14,0 \text{ А.} \quad (4.1)$$

За отриманим значенням розрахункового струму внутрішні силові електропроводки доцільно проєктувати окремими груповими лініями від ввідно-розподільчого щита ЩР-К. Для освітлювальної мережі приймаємо кабель ВВГнг-LS 3×1,5 мм². Для силових споживачів, зокрема насосного агрегату та системи подачі біопалива, доцільно застосувати кабель ВВГнг-LS 5×2,5 мм², що забезпечує достатній струмовий запас, механічну міцність і допустимий рівень нагрівання провідників. Для ліній невеликої потужності, таких як установка знезараження води та автоматика, достатнім є кабель ВВГнг-LS 3×1,5 мм².

Вибір апаратів захисту виконуємо за умовою:

$$I_{н.авт} \geq I_{р.лін} \text{ та } I_{доп.каб} \geq I_{н.авт}, \quad (4.2)$$

де $I_{н.авт}$ – номінальний струм автоматичного вимикача, $I_{р.лін}$ – розрахунковий струм лінії, $I_{доп.каб}$ – допустимий тривалий струм кабелю. Для освітлювальної мережі приймаємо автомат SF1 на 10 А, для насосного агрегату – автомат SF2 на 16 А, для електропривода системи подачі біопалива – автомат SF3 на 16 А, для установки знезараження – автомат SF4 на 6 А, для кін. автоматики – автомат SF5 на 6 А. На вводі передбачається триполюсний автоматичний вимикач QF1 на 25 А із запасом відносно розрахункового струму. Для підвищення електробезпеки до схеми включається пристрій захисного вимкнення на 40 А, 30 мА.

Запропонована схема внутрішніх силових електропроводок забезпечує селективність захисту, поділ навантаження на функціональні групи, зручність експлуатації та можливість швидкого локального відключення окремих ліній

					ДР.НУБіП.141.____.2026.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

під час ремонту або аварії. Використання кабелів у негорючому виконанні ВВГнг-LS також підвищує пожежну безпеку котельні.

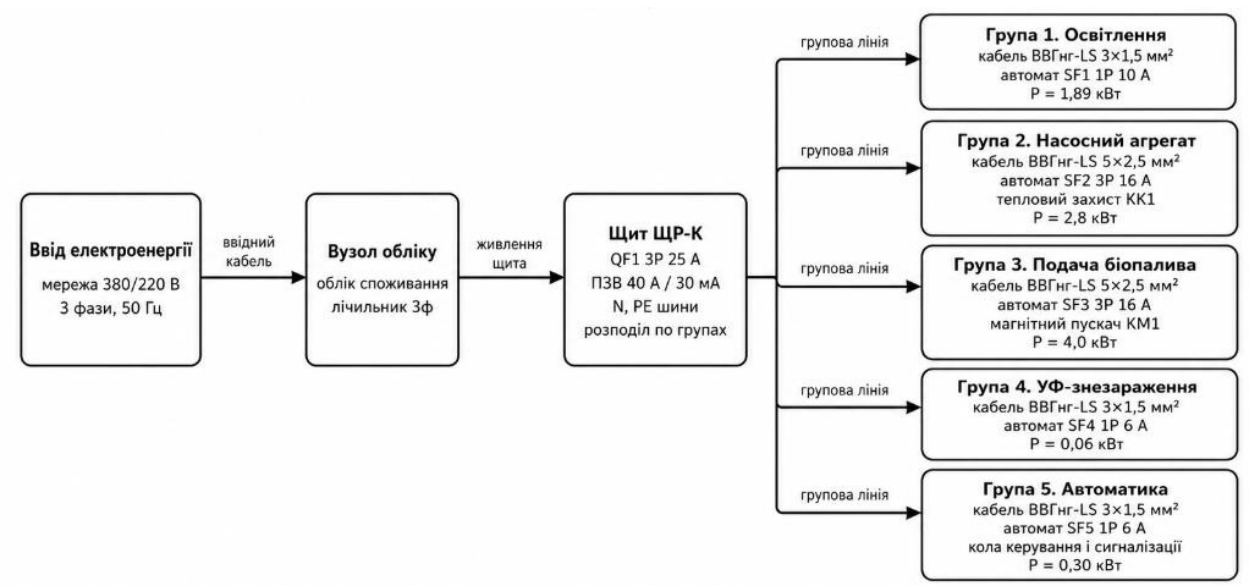


Рисунок 4.1 – Проект внутрішніх силових електропроводок і вибір апаратів захисту

Таблиця 4.1 – Вибір групових ліній та апаратів захисту

Група навантаження	Рвст, кВт	Розрахунковий струм, А	Марка кабелю	Апарат захисту	Примітка
Освітлювальна установка	1,89	8,6	ВВГнг-LS 3×1,5 мм²	SF1 1P 10 А	робоче освітлення
Насосний агрегат	2,80	6,0	ВВГнг-LS 5×2,5 мм²	SF2 3P 16 А	з тепловим захистом КК1
Подача біопалива	4,00	8,2	ВВГнг-LS 5×2,5 мм²	SF3 3P 16 А	пускач КМ1
УФ-знезараження	0,06	0,3	ВВГнг-LS 3×1,5 мм²	SF4 1P 6 А	лампа 60 Вт

Автоматика і сигналізація	0,30	1,4	ВВГнг-LS 3×1,5 мм ²	SF5 1P 6 A	щит керування
Ввід котельні	7,83	14,0	ВВГнг-LS 5×4 мм ²	QF1 3P 25 А; ПЗВ 40 А / 30 мА	ввідний захист

4.2. Вибір ввідно-розподільчого обладнання котельні

Ввідно-розподільче обладнання котельні повинно забезпечувати приймання електроенергії від зовнішньої мережі, її розподіл між груповими споживачами, облік електроенергії, комутацію, захист від коротких замикань і перевантажень, а також умови для технічно безпечного обслуговування. Для даного об'єкта доцільно передбачити ввідно-розподільчий щит ЩР-К у металевому корпусі з порошковим покриттям, ступенем захисту не нижче IP54 і можливістю монтажу всередині приміщення котельні. До складу щита входять ввідний автоматичний вимикач, вузол обліку, пристрій захисного вимкнення, нульові та заземлювальні шини, а також модульні автомати групових ліній.

Оскільки розрахунковий струм вводу становить 14,0 А, ввідний автомат QF1 на 25 А забезпечує не лише необхідний запас за струмом, але й можливість короткочасного зростання навантаження під час одночасного пуску окремих механізмів. Внутрішню компоновку щита доцільно виконувати з поділом на силову частину і частину автоматики. Це зменшує ймовірність перешкод у колах керування, покращує обслуговуваність і підвищує надійність роботи всієї системи. Для контролю споживання електроенергії встановлюється трифазний лічильник, а для оперативного контролю режиму роботи – вольтметр і сигнальні індикатори наявності фаз.

Щит має забезпечувати резерв для подальшого розширення, тому кількість вільних модулів повинна бути не менше 20 % від встановлених. Для котельні також доцільно передбачити окреме відділення або DIN-рейку для реле часу, проміжних реле, контролера та елементів світлової і звукової

					ДР.НУБіП.141.____.2026.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

сигналізації. З технічної точки зору оптимальним є використання стандартного навісного або підлогового щита на 24–36 модулів із номінальним струмом шин не менше 40 А. Таке рішення повністю відповідає навантаженню об'єкта і створює запас для подальшої модернізації.

Таблиця 4.2 – Вибір ввідно-розподільчого обладнання котельні

Елемент щита	Технічне призначення	Основний параметр	Прийняте рішення	Примітка
Корпус щита	розміщення апаратів	IP54	металевий щит ЩР-К	для приміщення котельні
Ввідний автомат QF1	захист вводу	25 А, 3Р	прийнято	із запасом за струмом
Пристрій захисного вимкнення	захист людей	40 А, 30 мА	прийнято	від витоку струму
Лічильник електроенергії	облік споживання	3 фази, 380/220 В	прийнято	окремий вузол обліку
Шини N і PE	розподіл нульового і захисного провідників	до 40 А	прийнято	система TN-S
Модульні автомати SF1–SF5	захист групових ліній	6–16 А	прийнято	за окремими лініями
Контролер і проміжні реле	автоматика і сигналізація	24/220 В	прийнято	для керування механізмами
Резерв модулів	можливість розширення	не менше 20 %	передбачено	перспектива модернізації

4.3. Охорона праці, пожежна безпека та захист навколишнього середовища

Експлуатація котельні з електротехнічним обладнанням і біопаливом потребує суворого дотримання вимог охорони праці, пожежної безпеки та природоохоронних норм. До основних небезпечних і шкідливих факторів у

					ДР.НУБіП.141.____.2026.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

котельні належать: наявність струмоведучих частин під напругою, підвищена температура нагрітих поверхонь, рухомі частини транспортерів і механізмів подачі палива, наявність пилу біомаси, пожежна небезпека горючих матеріалів, а також можливість задимлення або утворення чадного газу у разі порушення режиму спалювання. Для зниження професійного ризику працівники повинні проходити інструктаж, використовувати засоби індивідуального захисту та допускатися до роботи лише після ознайомлення з інструкцією з охорони праці.

Усі металеві неструмоведучі частини електрообладнання підлягають обов'язковому захисному заземленню. Електрощитове обладнання повинно бути замкнене, мати попереджувальні написи та забезпечуватися діелектричними килимками. Експлуатація приводів системи подачі біопалива допускається лише за умови справності кінцевих вимикачів, аварійних кнопок «Стоп» і теплового захисту двигунів. Обслуговування механізмів дозволяється виконувати тільки після повного знеструмлення та вивішування плаката «Не вмикати – працюють люди».

Пожежна безпека котельні ґрунтується на профілактиці займання біопалива і своєчасному виявленні аварійних ситуацій. У приміщенні котельні повинні бути встановлені порошкові вогнегасники, пожежний щит, ящик із піском, система світлового оповіщення та засоби вентиляції. Складування біопалива слід виконувати на визначеній відстані від гарячих поверхонь і електрощитового обладнання. Використання кабелів з пониженим димо- і газовиділенням ВВГнг-LS зменшує пожежне навантаження. Важливим профілактичним заходом є регулярне очищення приміщення від пилу, тирси і залишків біомаси.

Захист навколишнього середовища в умовах котельні передбачає раціональне використання біомаси, контроль викидів при спалюванні, безпечне поводження із золою та мінімізацію енергетичних втрат. Зола, що утворюється після спалювання деревної біомаси, може використовуватися як

					ДР.НУБіП.141.____.2026.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

мінеральна добавка або добриво за умови дотримання санітарних вимог. Додатковими екологічними перевагами проєкту є скорочення споживання викопних видів палива, зменшення втрат електроенергії завдяки сучасним схемам електропостачання і зменшення річного споживання електроенергії після модернізації освітлення.

Таблиця 4.3 – Основні заходи з охорони праці, пожежної безпеки та захисту навколишнього середовища

Напрямок заходів	Небезпечний фактор або проблема	Запропонований захід	Очікуваний результат
Електробезпека	ураження електричним струмом	заземлення, ПЗВ, закриті щити, діелектричні засоби	зниження ризику травматизму
Механічна безпека	рухомі частини транспортерів	огороження, кінцеві вимикачі, аварійний зупин	безпечне обслуговування
Теплова безпека	нагріті поверхні та гаряча вода	ізоляція, попереджувальні знаки, інструктаж	запобігання опікам
Пожежна безпека	займання біопалива та пилу	вогнегасники, пожежний щит, прибирання пилу, негорючі кабелі	зменшення ймовірності пожежі
Виробнича санітарія	задимлення і пил	вентиляція, контроль режиму горіння, засоби захисту	поліпшення умов праці
Охорона довкілля	зола та викиди	контроль викидів, раціональна утилізація золи	зниження екологічного навантаження
Енергозбереження	надмірні витрати електроенергії	LED-освітлення, автоматизація керування	зменшення споживання енергії

4.4. Економічне обґрунтування удосконалення електротехнічного обладнання

					ДР.НУБіП.141.____.2026.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

Економічне обґрунтування проєкту виконується з метою визначення доцільності впровадження запропонованих технічних рішень. До складу удосконалення електротехнічного обладнання котельні відносимо: модернізацію освітлювальної установки із застосуванням LED-джерел світла, впровадження сучасного ввідно-розподільчого щита з апаратами захисту, оновлення внутрішніх силових електропроводок, а також автоматизацію системи подачі та транспортування біопалива. Основний економічний ефект досягається за рахунок зниження споживання електроенергії на освітлення, зменшення експлуатаційних витрат на технічне обслуговування і підвищення надійності роботи обладнання.

Капітальні витрати на впровадження проєктних рішень визначаються як сума витрат на обладнання, монтаж і пусконаладжувальні роботи:

$$K = K_{\text{обл}} + K_{\text{мон}} + K_{\text{пуск}}. \quad (4.3)$$

За прийнятими даними: вартість LED-світильників та ламп – 18000 грн, вартість ввідно-розподільчого щита з апаратами захисту – 21000 грн, кабельно-провідникової продукції та комплектуючих – 10800 грн, монтажні та пусконаладжувальні роботи – 5100 грн. Тоді загальний обсяг капітальних витрат становить:

$$K = 18000 + 21000 + 10800 + 5100 = 54900.00 \text{ грн}. \quad (4.4)$$

Річна економія електроенергії від заміни існуючих ламп на LED-аналоги була визначена у попередньому підрозділі і становить 2890,8 кВт·год. За тарифу 6,50 грн за 1 кВт·год вартісна економія електроенергії дорівнює:

$$E_{\text{ел}} = 2890,8 \cdot 6,50 = 18790.20 \text{ грн/рік}. \quad (4.5)$$

Крім прямої економії електроенергії, зменшуються витрати на технічне обслуговування і заміну ламп, а також скорочуються втрати від простоїв та дрібних відмов, що для даного об'єкта оцінюємо на рівні 5200 грн за рік. Тоді сумарний річний економічний ефект становить:

					ДР.НУБіП.141.____.2026.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

$$E_p = E_{ел} + E_{обсл} = 18790.20 + 5200.00 = 23990.20 \text{ грн/рік.} \quad (4.6)$$

Строк окупності капітальних вкладень визначається за формулою:

$$T_{ок} = K / E_p = 54900.00 / 23990.20 = 2.29 \text{ року.} \quad (4.7)$$

Коефіцієнт економічної ефективності проєкту становить:

$$E_k = E_p / K = 23990.20 / 54900.00 = 0.437. \quad (4.8)$$

Отримані результати свідчать про економічну доцільність впровадження запропонованих рішень. Строк окупності 2.29 року для невеликої котельні є прийнятним, а рентабельність капіталовкладень на рівні 43.7 % підтверджує доцільність модернізації. Додатковими непрямыми вигодами є підвищення безпеки експлуатації, зменшення аварійності, поліпшення умов праці персоналу і зниження енергетичних втрат.

Таблиця 4.4 – Економічне обґрунтування удосконалення електротехнічного обладнання

Показник	Позначення	Значення	Примітка
Капітальні витрати на LED-освітлення	K1	18000 грн	обладнання
Вартість щита та апаратів захисту	K2	21000 грн	ввідно-розподільче обладнання
Кабелі та комплектуючі	K3	10800 грн	внутрішні електропроводки
Монтаж і пусконаладження	K4	5100 грн	роботи
Загальні капітальні витрати	K	54900.00 грн	розраховано
Річна економія електроенергії	ΔW	2890,8 кВт·год	LED-модернізація
Вартісна економія електроенергії	$E_{ел}$	18790.20 грн/рік	тариф 6,50 грн/кВт·год

					ДР.НУБіП.141.____.2026.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

Економія на обслуговуванні	Еобсл	5200.00 грн/рік	оцінка
Сумарний річний економічний ефект	Ер	23990.20 грн/рік	розраховано
Строк окупності	Ток	2.29 року	розраховано
Коефіцієнт ефективності	Ек	0.437	розраховано
Рентабельність вкладень	R	43.7 %	розраховано

					ДР.НУБіП.141.____.2026.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

ВИСНОВКИ

У результаті виконання дипломної роботи було обґрунтовано технічні рішення щодо удосконалення електротехнічного обладнання котельні з використанням біопалива. Встановлено, що об'єктом проєктування є котельня для обігріву приміщень підприємства розмірами $24 \times 12 \times 4$ м, у якій передбачено автоматизовану подачу біопалива до котла типу «Живе дно». Така постановка задачі визначила необхідність комплексного розгляду теплотехнічної, електротехнічної, експлуатаційної та економічної складових проєкту.

У першому розділі було охарактеризовано котельню як виробничо-технічний об'єкт і доведено доцільність використання біомаси як основного енергоресурсу. Аналіз показав, що для даної системи найбільш придатним видом палива є деревна щепка або подрібнені деревні відходи, оскільки саме вони найкраще узгоджуються з механізованою системою подачі типу «живе дно», мають достатню теплоту згоряння та забезпечують технологічну сумісність із прийнятим котельним обладнанням.

У технологічній частині визначено основні параметри роботи котельні та виконано вибір обладнання. Для об'єкта прийнято водогрійний котел «КРІГЕР» КВм а 0,50 з тепловою потужністю 0,5 МВт, розрахунковим тиском води 0,40 МПа, температурою 95 °С, поверхнею нагріву 32 м² та об'ємом 1,5 м³. Також обґрунтовано систему водопостачання котельні, для якої визначено середньодобову витрату 10 м³ на добу, максимальну добову витрату 13 м³ на добу, а джерелом води прийнято свердловину з подачею води через насос у водонапірну башту.

У процесі розрахунку технологічного обладнання встановлено, що для потреб котельні доцільно використати водонапірну башту БР-15У та заглибний насос, а для системи підготовки води передбачити бактерицидне знезараження. Це забезпечує не лише стабільне водопостачання, а й належну

					ДР.НУБіП.141.____.2026.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

якість підживлювальної води, що є важливою умовою довговічної та безпечної роботи котельної установки. Таким чином, технологічна частина підтвердила можливість надійної експлуатації котельні при роботі на біопаливі за умови правильно підбраного основного і допоміжного обладнання.

У третьому розділі було виконано аналіз електроспоживання котельні, спроектовано освітлювальну установку та обґрунтовано модернізацію системи подачі і транспортування біопалива. Для котельні прийнято 18 світильників, а встановлена потужність освітлювальної установки становить 1,89 кВт. Загальна встановлена потужність електроспоживачів дорівнює 9,05 кВт, а розрахункова потужність з урахуванням коефіцієнтів попиту становить 7,83 кВт. Розрахунок показав, що найбільшу частку в структурі електроспоживання формує система подачі біопалива, що підтверджує важливість удосконалення саме цього вузла.

У межах модернізації паливоподачі обґрунтовано використання механізованої системи, яка включає склад палива, механізм «живе дно», скребковий транспортер, розподільну заслінку, витратний бункер і шафу керування. Такий підхід дозволяє автоматизувати подачу палива, стабілізувати процес горіння, знизити трудомісткість обслуговування та підвищити надійність функціонування котельні. Для приводу системи подачі біопалива прийнято асинхронний електродвигун АИР112МВ6 потужністю 4,0 кВт, для якого підтверджено виконання умов за струмом, моментом, тепловим режимом і пусковими характеристиками. Номінальний струм двигуна 9,2 А перевищує еквівалентний струм 7,5 А, час пуску становить 0,373 с, а фактичний нагрів під час пуску дорівнює 3,21 °С, що є допустимим.

У четвертому розділі було розроблено рішення щодо електропостачання котельні, вибору внутрішніх силових електропроводок, апаратів захисту та ввідно-розподільчого обладнання. Для котельні прийнято трифазний ввід 380/220 В, а розрахунковий струм вводу становить 14,0 А. На цій основі обґрунтовано застосування окремих групових ліній для освітлення, насосного

					ДР.НУБіП.141.____.2026.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

агрегату, системи подачі біопалива, установки знезараження води та автоматики, а також вибір ввідного автоматичного вимикача QF1 на 25 А і пристрою захисного вимкнення на 40 А, 30 мА. Запропонована структура електропостачання підвищує селективність захисту, зручність обслуговування та загальну електробезпеку котельні.

Окрему увагу в роботі приділено охороні праці, пожежній безпеці та захисту навколишнього середовища. Обґрунтовано необхідність застосування захисного заземлення, закритих щитів, аварійних кнопок зупину, засобів пожежогасіння, вентиляції, а також заходів щодо запобігання накопиченню пилу і залишків біомаси. Реалізація таких рішень дає змогу знизити ризик електротравматизму, механічних ушкоджень, пожежонебезпечних ситуацій і негативного впливу на довкілля.

Економічне обґрунтування підтвердило доцільність реалізації запропонованого проєкту. Загальний обсяг капітальних витрат становить 54 900,00 грн. За рахунок модернізації освітлення річна економія електроенергії дорівнює 2890,8 кВт·год, що у вартісному вираженні становить 18 790,20 грн на рік. З урахуванням економії на технічному обслуговуванні в розмірі 5200,00 грн сумарний річний економічний ефект становить 23 990,20 грн, строк окупності дорівнює 2,29 року, а рентабельність капіталовкладень становить 43,7 %. Це свідчить про те, що удосконалення електротехнічного обладнання котельні є не лише технічно обґрунтованим, але й економічно вигідним.

Отже, поставлену в роботі мету досягнуто. У ході дослідження розроблено комплекс технічних рішень щодо удосконалення електротехнічного обладнання котельні з використанням біопалива, які охоплюють вибір котельного, насосного, електроприводного, освітлювального, комутаційно-захисного та автоматизаційного обладнання. Практичне значення одержаних результатів полягає в можливості їх використання під час модернізації реальних котелень, що переходять на

					ДР.НУБіП.141.____.2026.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

біопаливо, для підвищення їх енергоефективності, надійності, безпеки та економічної результативності.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Васи́лега П. О. Електропостачання [Електронний ресурс] : підручник / П. О. Васи́лега. – Суми : Сумський державний університет, 2019. – 521 с. – Режим доступу: <https://files.znu.edu.ua/files/Bibliobooks/Inshi69/0050457.pdf>
2. Ганженко О. М., Гументик М. Я. Теплотворні властивості твердого біопалива [Електронний ресурс] / О. М. Ганженко, М. Я. Гументик // Біоенергетика. – 2016. – № 1. – Режим доступу: <https://be.bio.gov.ua/issue/view/15250>
3. Гелету́ха Г. Г., Желе́зна Т. А. Перспективи розвитку біоенергетики як інструменту заміщення природного газу в Україні [Електронний ресурс] / Г. Г. Гелету́ха, Т. А. Желе́зна // Біоенергетика. – 2015. – № 1. – Режим доступу: https://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?2_S21P03=FILA%3D&2_S21STR=Bioen_2015_1_6&C21COM=S&I21DBN=LINK&P21DBN=UJRN&S21CNR=20&S21FMT=ASP_meta&S21REF=10&S21STN=1&Z21ID=
4. Гелету́ха Г. Г., Желе́зна Т. А. Стан та перспективи розвитку біоенергетики в Україні [Електронний ресурс] / Г. Г. Гелету́ха, Т. А. Желе́зна // Промислова теплотехніка. – 2017. – Т. 39, № 2. – Режим доступу: <https://keb.kpi.ua/wp-content/uploads/2020/07/10-Geletukha.pdf>
5. Гелету́ха Г. Г., Желе́зна Т. А. Глобальні перспективи сектору біоенергетики [Електронний ресурс] / Г. Г. Гелету́ха, Т. А. Желе́зна // Теплофізика та теплоенергетика. – 2021. – Т. 43, № 4. – Режим доступу: <https://ihe.nas.gov.ua/index.php/journal/article/download/468/396>

					ДР.НУБіП.141.____.2026.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

6. Гелету́ха Г. Г., Же́lezна Т. А., Драгне́в С. В., Башто́вий А. І. Основні тенденції та перспективи розвитку ринку моторних біопалив в ЄС та в Україні [Електронний ресурс] / Г. Г. Гелету́ха, Т. А. Же́lezна, С. В. Драгне́в, А. І. Башто́вий // Теплофізика та теплоенергетика. – 2020. – Т. 42, № 1. – Режим доступу: <https://ihe.nas.gov.ua/index.php/journal/article/download/383/319>

7. Гелету́ха Г. Г., Же́lezна Т. А., Кучеру́к П. П., Драгне́в С. В. Аналіз перспективних напрямків використання енергетичного потенціалу біомаси України [Електронний ресурс] / Г. Г. Гелету́ха, Т. А. Же́lezна, П. П. Кучеру́к, С. В. Драгне́в // Теплофізика та теплоенергетика. – 2023. – Т. 45, № 2. – Режим доступу: <https://ihe.nas.gov.ua/index.php/journal/article/download/537/461>

8. Гелету́ха Г. Г., Же́lezна Т. А., Матвеє́в Ю. Б., Кучеру́к П. П., Крама́р В. Г. Дорожня карта розвитку біоенергетики України до 2050 року [Електронний ресурс] / Г. Г. Гелету́ха, Т. А. Же́lezна, Ю. Б. Матвеє́в, П. П. Кучеру́к, В. Г. Крама́р. – Київ : Біоенергетична асоціація України, 2020. – Режим доступу: <https://uabio.org/materials/9115/>

9. Гелету́ха Г. Г., Же́lezна Т. А., Драгне́в С. В., Гайда́й О. І. Десять кроків України для відмови від російського природного газу [Електронний ресурс] / Г. Г. Гелету́ха, Т. А. Же́lezна, С. В. Драгне́в, О. І. Гайда́й. – Київ : Біоенергетична асоціація України, 2022. – Режим доступу: https://uabio.org/wp-content/uploads/2022/04/10-Krokiv-Ukrayiny-vid-PG_20-04-2022_UKR.pdf

10. Гелету́ха Г. Г., Же́lezна Т. А., Драгне́в С. В. Аналіз бар'єрів для виробництва енергії з агробіомаси в Україні. Частина 1 [Електронний ресурс] / Г. Г. Гелету́ха, Т. А. Же́lezна, С. В. Драгне́в // Теплофізика та теплоенергетика. – 2018. – Режим доступу: <https://ihe.nas.gov.ua/index.php/journal/article/download/355/296/>

11. Гелету́ха Г. Г., Же́lezна Т. А., Драгне́в С. В., Башто́вий А. І. Перспективи використання біомаси від обрізки та видалення багаторічних сільськогосподарських насаджень в Україні [Електронний ресурс] / Г. Г. Гелету́ха, Т. А. Же́lezна, С. В. Драгне́в, А. І. Башто́вий // Промислова

					ДР.НУБіП.141.____.2026.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

теплотехніка. – 2018. – Режим доступу:
<https://dspace.nbuiv.gov.ua/bitstream/handle/123456789/142467/10-Geletukha.pdf?sequence=1>

12. Гелетука Г. Г., Драгнєв С. В., Желєзна Т. А., Баштовий А. І. Аналіз напрямків енергетичного використання побічної продукції виробництва соняшнику в Україні (огляд) [Електронний ресурс] / Г. Г. Гелетука, С. В. Драгнєв, Т. А. Желєзна, А. І. Баштовий // Теплофізика та теплоенергетика. – 2020. – Т. 42, № 4. – Режим доступу: <https://ihe.nas.gov.ua/index.php/journal/article/download/423/353/>

13. Гелетука Г. Г. Аналіз виробництва пелет та брикетів з побічної продукції кукурудзи на зерно в Україні [Електронний ресурс] / Г. Г. Гелетука // Теплофізика та теплоенергетика. – 2020. – Т. 42, № 2. – Режим доступу: <https://ihe.nas.gov.ua/index.php/journal/article/download/399/329/>

14. Драгнєв С. В., Желєзна Т. А., Гелетука Г. Г. Можливості заготівлі побічної продукції кукурудзи на зерно для енергетичного використання в Україні. Частина 1 [Електронний ресурс] / С. В. Драгнєв, Т. А. Желєзна, Г. Г. Гелетука // Біоенергетика. – 2016. – № 1. – Режим доступу: <https://uabio.org/wp-content/uploads/2016/06/zheliezna-dragnev-bioenergy-2016-1-6.pdf>

15. Желєзна Т. А., Драгнєв С. В. Поточний стан та перспективи розвитку ринку біоетанолу і біодизелю в Україні [Електронний ресурс] / Т. А. Желєзна, С. В. Драгнєв // Енергетика і автоматика. – 2023. – № 4. – С. 153–162. – Режим доступу: https://search.nbuiv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuiv/cgiirbis_64.exe?C21COM=S&I21DBN=UJRN&P21DBN=UJRN&S21CNR=20&S21COLORTERMS=0&S21FMT=njuu_all&S21P01=0&S21P02=0&S21P03=I%3D&S21REF=10&S21STN=1&S21STR=EJ000142%2F2023%2F4&Z21ID=

16. Желєзна Т. А., Драгнєв С. В., Баштовий А. І. Перспективи використання біопалив другого покоління в Україні [Електронний ресурс] / Т. А. Желєзна, С. В. Драгнєв, А. І. Баштовий // Теплофізика та теплоенергетика.

					ДР.НУБіП.141.____.2026.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

– 2022. – Режим доступу:
<https://ihe.nas.gov.ua/index.php/journal/article/download/491/415>

17. Загірняк М. В., Невзлін Б. І. Електричні машини [Електронний ресурс] : підручник / М. В. Загірняк, Б. І. Невзлін. – Київ : Знання, 2009. – 399 с. – Режим доступу: https://site-557788.mozfiles.com/files/557788/141_bak_Elektrichn_mashini_aparati_Chernj_uk.pdf

18. Кобилянський О. В. Основи охорони праці. Частина 1 [Електронний ресурс] : навч. посіб. / О. В. Кобилянський. – Вінниця : ВНТУ, 2007. – Режим доступу: <https://ir.lib.vntu.edu.ua/handle/123456789/18922>

19. Колосов О. Є., Рябцев Г. Л., Сівецький В. І., Сідоров Д. Е., Пристайлов С. О. Високоєфективні засоби приготування біопалива [Електронний ресурс] / О. Є. Колосов, Г. Л. Рябцев, В. І. Сівецький, Д. Е. Сідоров, С. О. Пристайлов. – Київ : Січкап, 2010. – 152 с. – Режим доступу: https://pdf.lib.vntu.edu.ua/books/2023/Kolosov_2010_152.pdf

20. Кушлик Р. В., Постол Ю. О., Кушлик Р. Р. Джерела і установки для електричного освітлення [Електронний ресурс] : навч. посіб. / Р. В. Кушлик, Ю. О. Постол, Р. Р. Кушлик. – Мелітополь, 2020. – 145 с. – Режим доступу: <https://www.tsatu.edu.ua/ettp/wp-content/uploads/sites/25/el.-uchebnyk-117.06.20.pdf>

21. Левченко О. Г., Полукаров О. І., Зацарний В. В., Полукаров Ю. О., Землянська О. В. Охорона праці та цивільний захист [Електронний ресурс] : підручник / О. Г. Левченко, О. І. Полукаров, В. В. Зацарний, Ю. О. Полукаров, О. В. Землянська ; за ред. О. Г. Левченка. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – Режим доступу: <https://kmaesm.edu.ua/wp-content/uploads/2021/06/levchenko-o.-g.-polukarov-o.-i.-zacarnyj-v.-v.-ta-in.-2019-ohorona-praczi-ta-czyvilnyj-zahyst.pdf>

22. Назаренко Л. А., Іоффе К. І. Штучне зовнішнє освітлення [Електронний ресурс] : навч. посіб. / Л. А. Назаренко, К. І. Іоффе. – Харків :

					ДР.НУБіП.141.____.2026.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2017. – 88 с. – Режим доступу: <https://eprints.kname.edu.ua/45144/1/2015%20%D0%BF%D0%B5%D1%87.%2013%D0%9D%20%D0%9D%D0%B0%D0%B2%D1%87%D0%B0%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%B8%D0%B9%20%D0%BF%D0%BE%D1%81%D1%96%D0%B1%D0%BD%D0%B8%D0%BA%20%28%D0%BF%D0%BE%D1%81%D0%BB%D0%B5%20%D1%80%D0%B5%D0%B4%D0%B0%D0%BA%D1%82%D0%BE%D1%80%D0%B0%29%D0%BF%D0%BE%D1%81%D0%BB.pdf>

23. Осташевський М. О., Юр'єва О. Ю. Електричні машини і трансформатори [Електронний ресурс] : навч. посіб. / М. О. Осташевський, О. Ю. Юр'єва ; за ред. В. І. Мілих. – Харків, 2018. – 452 с. – Режим доступу: https://pdf.lib.vntu.edu.ua/books/2019/Ostashev_2018_452.pdf

24. Півняк Г. Г., Шкрабець Ф. П., Довгань В. П. Електричні машини [Електронний ресурс] : навч. посіб. / Г. Г. Півняк, Ф. П. Шкрабець, В. П. Довгань. – Дніпропетровськ : НГУ, 2003. – 331 с. – Режим доступу: <https://vde.nmu.org.ua/ua/lib/em.pdf>

25. Притака І. П. Електропостачання сільського господарства [Електронний ресурс] : підручник / І. П. Притака. – 2-ге вид., перероб. і доп. – Київ : Вища школа, 1983. – 343 с. – Режим доступу: <https://socrates.vsau.org/b04213/html/cards/getfile.php/30436.pdf>

26. Роїк М. В., Сінченко В. М., Бондар В. С., Фурса А. В., Гументик М. Я. Концепція розвитку біоенергетики в Україні на період до 2035 року [Електронний ресурс] / М. В. Роїк, В. М. Сінченко, В. С. Бондар, А. В. Фурса, М. Я. Гументик // Біоенергетика. – 2019. – № 2. – С. 4–9. – Режим доступу: <https://be.bio.gov.ua/article/view/229304>

27. Сегеда М. С. Електричні системи і мережі [Електронний ресурс] : підручник / М. С. Сегеда. – Львів : Львівська політехніка, 2007. – 488 с. – Режим доступу: https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/44736/1/Elektrychni-sistemy-i-merezhi_2020_Ch1.pdf

					ДР.НУБіП.141.____.2026.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

28. Степанов Д. В., Корженко Є. С., Боднар Л. А. Котельні установки промислових підприємств [Електронний ресурс] : навч. посіб. / Д. В. Степанов, Є. С. Корженко, Л. А. Боднар. – Вінниця : ВНТУ, 2011. – 120 с. – Режим доступу:

<https://ir.lib.vntu.edu.ua/bitstream/handle/123456789/4912/%D0%9A%D0%BE%D1%82%D0%B5%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D1%96%20%D1%83%D1%81%D1%82%D0%B0%D0%BD%D0%BE%D0%B2%D0%BA%D0%B8%20%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%BC%D0%B8%D1%81%D0%BB%D0%BE%D0%B2%D0%B8%D1%85%20%D0%BF%D1%96%D0%B4%D0%BF%D1%80%D0%B8%D1%94%D0%BC%D1%81%D1%82%D0%B2.pdf?isAllowed=y&sequence=1>

29. Ткаченко С. Й., Степанов Д. В., Боднар Л. А. Котельні установки [Електронний ресурс] : навч. посіб. / С. Й. Ткаченко, Д. В. Степанов, Л. А. Боднар. – Вінниця : ВНТУ, 2016. – 185 с. – Режим доступу:

<https://ctor.com.ua/wp-content/uploads/2024/05/%D0%95%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BD%D0%B8%D0%B9-%D0%BF%D1%96%D0%B4%D1%80%D1%83%D1%87%D0%BD%D0%B8%D0%BA.pdf>

30. Ткачук А. І., Кононенко С. О., Богомаз-Назарова С. М. Основи охорони праці. Курс лекцій [Електронний ресурс] : навч. посіб. / А. І. Ткачук, С. О. Кононенко, С. М. Богомаз-Назарова. – Кіровоград, 2013. – 164 с. – Режим доступу:

https://phm.cuspu.edu.ua/images/%D0%9E%D1%81%D0%BD%D0%BE%D0%B2%D0%B8_%D0%BE%D1%85%D0%BE%D1%80%D0%BE%D0%BD%D0%B8_%D0%BF%D1%80%D0%B0%D1%86%D1%96_2013.pdf

31. Ткачук К. Н., Халімовський М. О., Зацарний В. В., Зеркалов Д. В., Сабарно Р. В., Полукаров О. І., Коз'яков В. С., Мітюк Л. О. Основи охорони праці [Електронний ресурс] : підручник / за ред. К. Н. Ткачука, М. О.

					ДР.НУБіП.141.____.2026.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

Халімовського. – 2-ге вид., допов. і перероб. – Київ : Основа, 2006. – 448 с. –

Режим доступу: <https://opcb.kpi.ua/wp-content/uploads/2012/01/%D0%9E%D1%81%D0%BD%D0%BE%D0%B2%D0%B8-%D0%BE%D1%85%D0%BE%D1%80%D0%BE%D0%BD%D0%B8-%D0%BF%D1%80%D0%B0%D1%86%D1%96.pdf>

32. Ткачук К. Н., Мольчак Я. О., Каштанов С. Ф., Полукаров О. І. та ін. Управління охороною праці [Електронний ресурс] : навч. посіб. / К. Н. Ткачук, Я. О. Мольчак, С. Ф. Каштанов, О. І. Полукаров та ін. – Луцьк, 2012. – 287 с. –

Режим доступу: https://learn.ztu.edu.ua/pluginfile.php/401405/mod_folder/content/0/%D0%9E%D0%9A11_126_%D0%95%D0%9A%D0%9E%D0%9B%D0%9E%D0%93%D0%86%D0%AF%2C%20%D0%91%D0%95%D0%97%D0%9F%D0%95%D0%9A%D0%90%20%D0%96%D0%98%D0%A2%D0%A2%D0%84%D0%94%D0%86%D0%AF%D0%9B%D0%AC%D0%9D%D0%9E%D0%A1%D0%A2%D0%86%20%D0%A2%D0%90%20%D0%9E%D0%A5%D0%9E%D0%A0%D0%9E%D0%9D%D0%90%20%D0%9F%D0%A0%D0%90%D0%A6%D0%86_2024.pdf?forcedownload=1

33. Шестеренко В. Є. Системи електроспоживання та електропостачання промислових підприємств [Електронний ресурс] : підручник / В. Є. Шестеренко. – Вінниця : Нова Книга, 2004. – 656 с. – Режим доступу: <https://profbook.com.ua/t-o-elektrostanovok.html?srsId=AfmBOopWFq8v5Xg6QxxKSbhyhQ4QLder6MoCvOIS1THA-iilQvMGNqPU>

34. Шестеренко В. Є., Шестеренко О. В. Електропостачання промислових підприємств. Посібник до курсового та дипломного проектування [Електронний ресурс] / В. Є. Шестеренко, О. В. Шестеренко. – Київ, 2013. – 424 с. – Режим доступу: <https://dspace.nuft.edu.ua/items/1a165651-f144-4ed9-abd1-67c6882c8324>

					ДР.НУБіП.141.____.2026.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

35. Яцун М. А. Електричні машини [Електронний ресурс] : навч. посіб. / М. А. Яцун. – Львів : Львівська політехніка, 2001. – 428 с. – Режим доступу: https://e-tk.lntu.edu.ua/pluginfile.php/5317/mod_resource/content/1/%D0%BB%D0%B5%D0%BA%20%D0%95%D0%9C.pdf

36. Boyle G. Renewable Energy: Power for a Sustainable Future [Electronic resource] / G. Boyle, ed. – 3rd ed. – Oxford : Oxford University Press, 2012. – Access mode: <https://oro.open.ac.uk/43269/>

37. Goetsch D. L. Occupational Safety and Health: For Technologists, Engineers, and Managers [Electronic resource] / D. L. Goetsch. – Pearson, 2023. – Access mode: https://books.google.com/books/about/Occupational_Safety_and_Health.html?id=jO5QzwEACAAJ

38. Kaltschmitt M., Themelis N. J., Bronicki L. Y., Söder L., Vega L. A. Renewable Energy Systems [Electronic resource] / M. Kaltschmitt, N. J. Themelis, L. Y. Bronicki, L. Söder, L. A. Vega. – Springer, 2013. – Access mode: https://books.google.com/books/about/Renewable_Energy_Systems.html?id=VMzjjwEACAAJ

39. Souza G. M., Victoria R. L., Joly C. A., Verdade L. M., eds. Bioenergy & Sustainability: Bridging the Gaps [Electronic resource] / G. M. Souza, R. L. Victoria, C. A. Joly, L. M. Verdade. – Paris : SCOPE, 2015. – Access mode: https://bioenfapesp.org/publications/bioenergy_sustainability_scope_72dpi.pdf

40. Twidell J., Weir T. Renewable Energy Resources [Electronic resource] / J. Twidell, T. Weir. – 3rd ed. – London : Routledge, 2015. – Access mode: <https://www.routledge.com/Renewable-Energy-Resources/Twidell/p/book/9780415633581>

					ДР.НУБіП.141.____.2026.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

ДОДАТКИ

Додаток А

ВИХІДНІ ДАНІ ДЛЯ ПРОЄКТУВАННЯ КОТЕЛЬНОЇ

У цьому додатку наведено зведену таблицю основних вихідних даних, прийнятих для проєктування котельні з використанням біопалива. Саме ці параметри були використані під час виконання теплотехнічних, гідравлічних, електротехнічних та економічних розрахунків.

$$S = A \cdot B = 24 \cdot 12 = 288 \text{ м}^2$$

$$V = A \cdot B \cdot H = 24 \cdot 12 \cdot 4 = 1152 \text{ м}^3$$

$$q_v = Q_k / V = 500 / 1152 = 0,434 \text{ кВт/м}^3$$

Таблиця А.1 – Зведені вихідні дані для проєктування котельні

Група параметрів	Показник	Позначення	Значення	Примітка
Геометричні	Довжина котельні	А	24 м	за вихідними даними

					ДР.НУБіП.141.____.2026.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

Геометричні	Ширина котельні	B	12 м	за вихідними даними
Геометричні	Висота котельні	H	4 м	за вихідними даними
Геометричні	Площа приміщення	S	288 м ²	розраховано
Геометричні	Будівельний об'єм	V	1152 м ³	розраховано
Теплотехнічні	Теплова потужність котла	Q _k	0,50 МВт	прийнято
Теплотехнічні	Тип котла	—	«КРІГЕР» КВм(а)-0,50	водогрійний
Теплотехнічні	Розрахунковий тиск води	p	0,40 МПа	паспортне значення
Теплотехнічні	Розрахункова температура води	t	95 °С	паспортне значення
Паливне господарство	Тип подачі біопалива	—	«живе дно»	автоматизована система
Паливне господарство	Базовий вид палива	—	деревна щепи	прийнято
Паливне господарство	Годинна витрата палива	В _{год}	262,2 кг/год	розраховано
Водопостачання	Середньодобова витрата води	Q _{ср.д}	10 м ³ /добу	прийнято
Водопостачання	Максимальна добова витрата	Q _{макс.д}	13 м ³ /добу	розраховано
Водопостачання	Максимальна годинна витрата	Q _{макс.г}	1,50 м ³ /год	розраховано
Водопостачання	Розрахунковий об'єм бака башти	V _{б.р}	7,7 м ³	розраховано

					ДР.НУБіП.141.____.2026.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

Водопостачання	Водонапірна башта	—	БР-15У	прийнято
Електропостачання	Напруга мережі	U	380/220 В	трифазна мережа
Електропостачання	Розрахункова потужність	Pp	7,83 кВт	розраховано
Електропостачання	Розрахунковий струм вводу	Ip	14,0 А	розраховано
Освітлення	Нормована освітленість	E	100 лк	прийнято
Освітлення	Кількість світильників	N	18 шт.	розраховано
Освітлення	Потужність освітлення	Pосв	1,89 кВт	розраховано

					ДР.НУБіП.141.____.2026.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		60

Додаток Б

СХЕМА СИСТЕМИ ВОДОПОСТАЧАННЯ КОТЕЛЬНОЇ

На схемі подано склад і взаємозв'язок основних елементів системи водопостачання: свердловини, заглибного насоса, водонапірної башти, датчика тиску, магнітодинамічного резонатора та котла. Схема відображає прийняті у проєкті рішення щодо джерела водопостачання, підживлення котельного контуру і розподілу води споживачам.

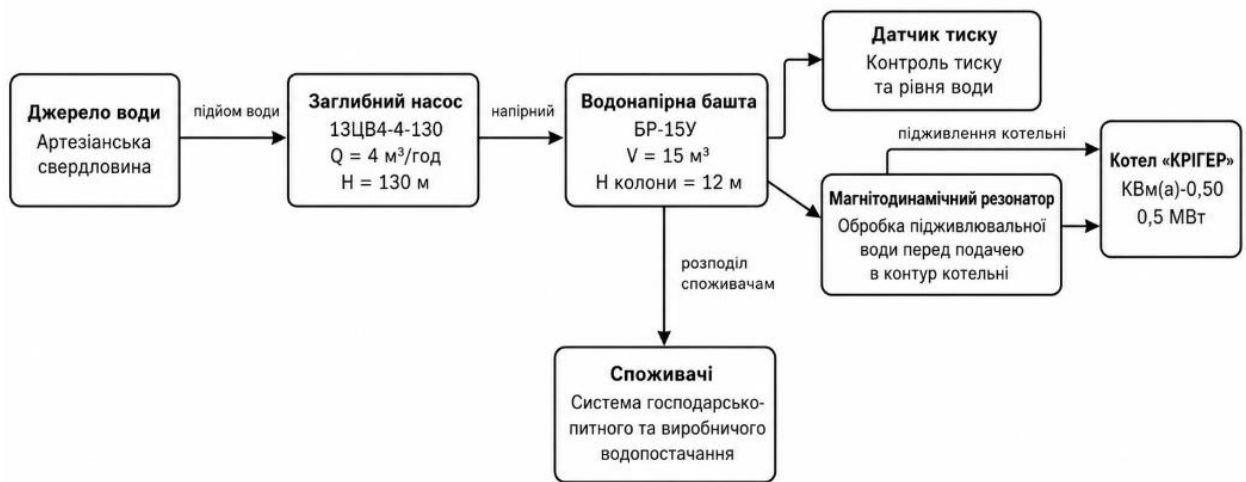


Рисунок Б.1 – Схема системи водопостачання котельні

					ДР.НУБіП.141.____.2026.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61

Додаток В

СХЕМА ПІДГОТОВКИ ТА ЗНЕЗАРАЖЕННЯ ВОДИ

У додатку наведено технологічну схему підготовки підживлювальної води для котельні. Вода проходить через вузол механічного очищення, бактерицидне знезараження в установці УФЗВ-60, після чого накопичується в баку підготовленої води й подається в контур котельні.

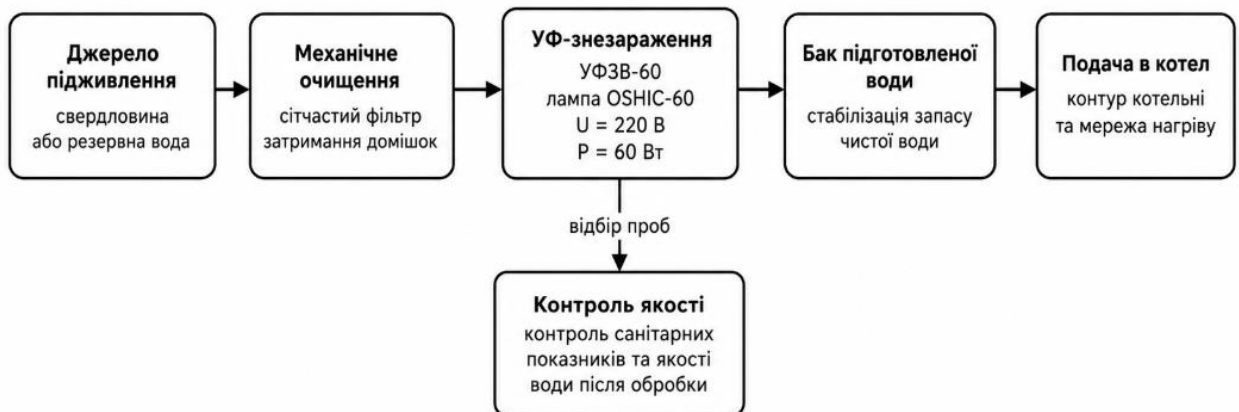


Рисунок В.1 – Схема підготовки та знезараження води в системі котельні

					ДР.НУБіП.141.____.2026.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62

Додаток Г

СХЕМА ОСВІТЛЮВАЛЬНОЇ УСТАНОВКИ КОТЕЛЬНОЇ

У цьому додатку наведено план розміщення світильників у приміщенні котельні розмірами $24 \times 12 \times 4$ м. На схемі показано прийнятту схему 6×3 з рівномірним розташуванням 18 світильників, а також основні розрахункові параметри освітлювальної установки.

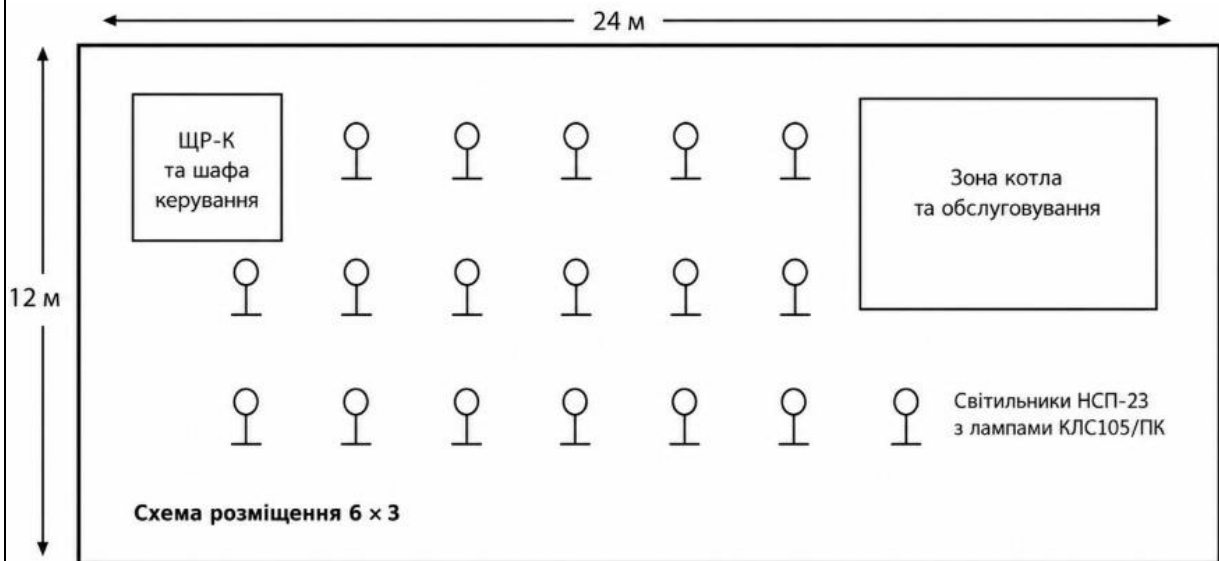


Рисунок Г.1 – План розміщення світильників у котельні

					ДР.НУБіП.141.____.2026.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		63

Додаток Г

СХЕМА МОДЕРНІЗАЦІЇ СИСТЕМИ ПОДАЧІ ТА ТРАНСПОРТУВАННЯ БІОПАЛИВА

Схема відображає модернізовану систему подачі біопалива у складі паливного складу, механізму «живе дно», скребкового транспортера, розподільної заслінки, витратного бункера котла та системи автоматизації. Вона ілюструє послідовність подачі деревної щепи до котла та функціональні зв'язки між силовими й керувальними елементами.



Рисунок Г.1 – Схема модернізації системи подачі та транспортування біопалива

					ДР.НУБіП.141.____.2026.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64

Додаток Д

ЕЛЕКТРИЧНА ПРИНЦИПОВА СХЕМА КЕРУВАННЯ СИСТЕМОЮ ПОДАЧІ БІОПАЛИВА

У додатку наведено узагальнену принципову схему керування електроприводом системи подачі біопалива. На схемі показано ввідний автоматичний вимикач, захисні апарати, магнітний пускач, теплове реле, двигун транспортера, кнопки пуску і зупину, датчики рівня, контролер та пристрої сигналізації.

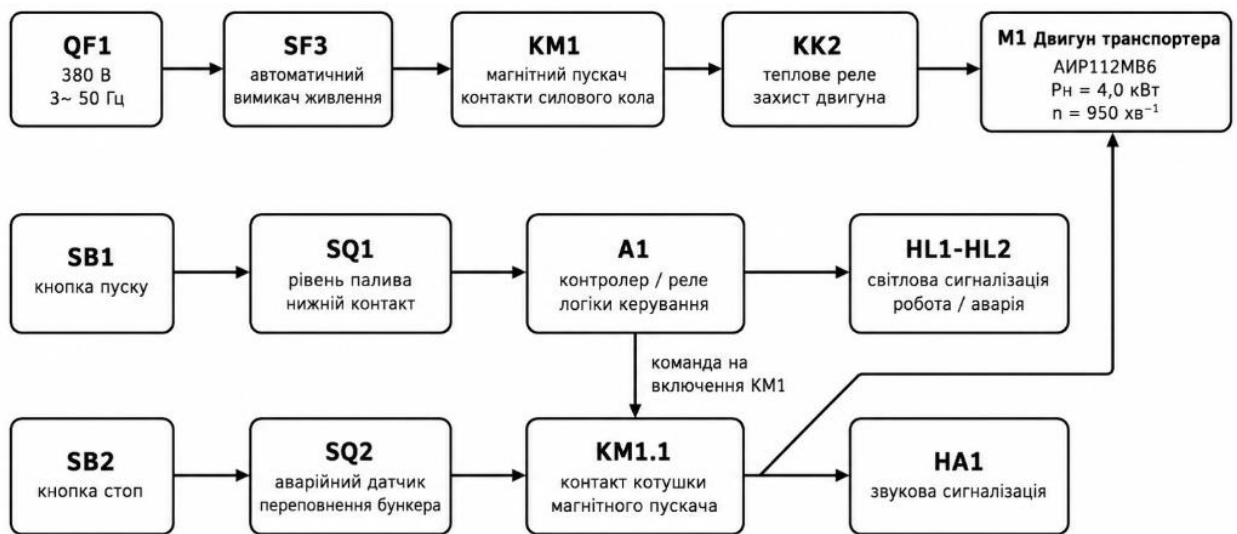


Рисунок Д.1 – Електрична принципова схема керування системою подачі біопалива

					ДР.НУБіП.141.____.2026.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		65

Додаток Е

СХЕМА ВНУТРІШНІХ СИЛОВИХ ЕЛЕКТРОПРОВОДОК І ВИБОРУ АПАРАТІВ ЗАХИСТУ

Наведена схема ілюструє структуру внутрішнього електропостачання котельні: ввід електроенергії, вузол обліку, ввідно-розподільчий щит ЩР-К, а також окремі групові лінії для освітлення, насосного агрегату, системи подачі біопалива, установки знезараження води та кіл автоматики.

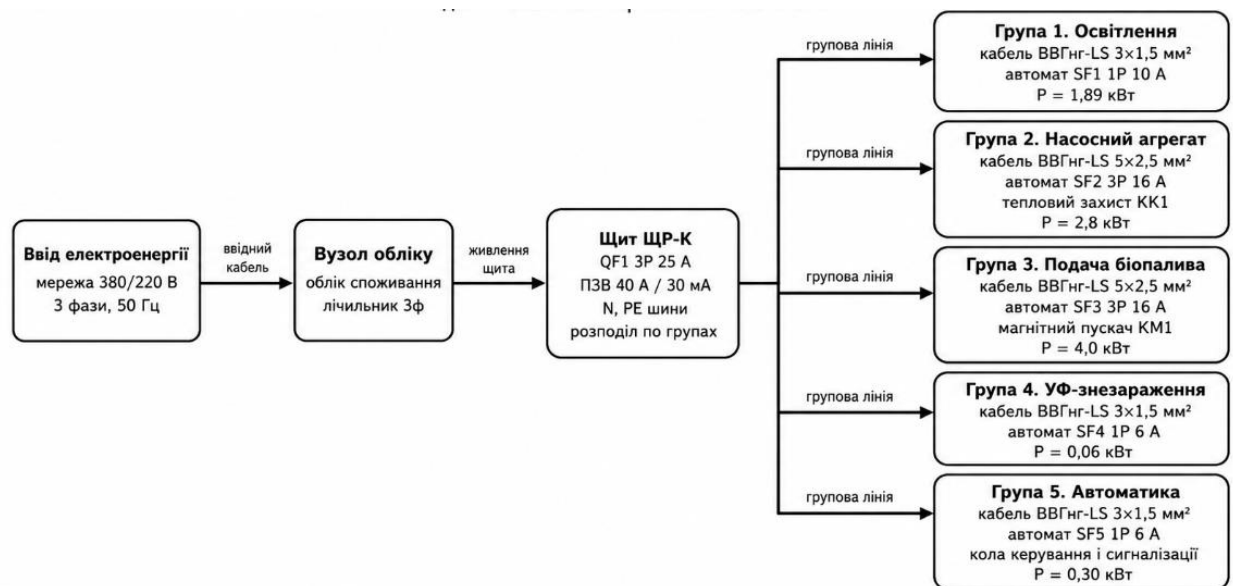


Рисунок Е.1 – Проєкт внутрішніх силових електропроводок і вибір апаратів захисту

					ДР.НУБіП.141.____.2026.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		
						66

Додаток Є

СПЕЦИФІКАЦІЯ ОСНОВНОГО ОБЛАДНАННЯ

У таблиці наведено основне технологічне та електротехнічне обладнання, яке прийнято в проєкті котельні. Специфікація може бути використана як основа для формування переліку закупівлі, кошторису та монтажної відомості.

Таблиця Є.1 – Специфікація основного обладнання котельні

№ з/п	Найменування обладнання	Тип / марка	Кількість	Основний параметр	Призначення
1	Водогрійний котел	«КРІГЕР» КВм(а)-0,50	1	0,5 МВт	виробництво теплової енергії
2	Система паливоподачі	«живе дно»	1 компл.	автоматизована	переміщення біопалива зі складу
3	Скребковий транспортер	індивідуальний вибір	1	314,6 кг/год	транспортування щепи
4	Розподільна заслінка	електромеханічна	1	дозування потоку	керування подачею
5	Витратний бункер	металевий	1	1,5 м³	накопичення палива перед топкою
6	Заглибний насос	1ЭЦВ4-4-130	1	Q = 4 м³/год; H = 130 м	водопостачання котельні
7	Електродвигун насоса	ПЭДВ-2,8-140	1	2,8 кВт	привід насосного агрегату
8	Водонапірна башта	БР-15У	1	V = 15 м³	запас і напір води
9	Установка знезараження води	УБЗВ-60	1	60 Вт	бактерицидне знезараження
10	Лампа УФ-опромінення	ОБПС-60	1	220 В; 60 Вт	джерело бактерицидного

					ДР.НУБіП.141.____.2026.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		
						67

					випромінюванн я
11	Магнітодинамічни й резонатор	індивідуальний вибір	1	для підживлення води	покращення якості води
12	Світильник	НСП-23	18	під лампу 105 Вт	освітлення котельні
13	Лампа	КЛС105/ПК	18	5250 лм; 105 Вт	робоче освітлення
14	Електродвигун транспортера	АИР112МВ6	1	4,0 кВт	привід подачі біопалива
15	Ввідно- розподільчий щит	ЩР-К	1	IP54	розподіл і захист мережі
16	Ввідний автоматичний вимикач	QF1	1	25 А, 3Р	захист вводу
17	Пристрій захисного вимкнення	ПЗВ	1	40 А / 30 мА	електробезпека
18	Групові автоматичні вимикачі	SF1–SF5	5	6–16 А	захист окремих ліній
19	Магнітний пускач	KM1	1	для 4 кВт	комутація двигуна транспортера
20	Теплове реле	KK1–KK2	2	за номінальним струмом	захист двигунів

					ДР.НУБіП.141.____.2026.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		68

Додаток Ж

РОЗШИРЕНІ РОЗРАХУНКОВІ ТАБЛИЦІ

У додатку наведено узагальнені розрахункові таблиці, які деталізують результати теплотехнічних, гідравлічних, електротехнічних та економічних обчислень, виконаних у роботі.

Ж.1. Теплотехнічні розрахунки

$$V_{\text{год}} = 3,6 \cdot Q_k / (\eta \cdot Q_{n^r}) = 3,6 \cdot 500 / (0,82 \cdot 8,38) = 262,2 \text{ кг/год}$$

Таблиця Ж.1 – Розрахунок витрати біопалива для котла потужністю 0,5 МВт

Вид палива	Q_{n^r} , МДж/кг	η	Розрахункова витрата, кг/год	Висновок
Дрова	12,193	0,82	180,2	можливе використання
Деревна щеп	8,380	0,82	262,2	базове паливо проекту
Торф	11,145	0,82	196,9	резервний варіант

Ж.2. Розрахунок системи водопостачання

$$Q_{\text{макс.д}} = Q_{\text{ср.д}} \cdot K_d = 10 \cdot 1,3 = 13 \text{ м}^3/\text{добу}$$

$$Q_{\text{макс.г}} = Q_{\text{ср.д}} \cdot K_d \cdot K_g / (24 \cdot \eta_v) = 1,50 \text{ м}^3/\text{год}$$

$$V_{\text{б.р}} = V_{\text{рег}} + V_{\text{пож}} + V_{\text{ав}} = 1,69 + 3,0 + 3,0 = 7,7 \text{ м}^3$$

Таблиця Ж.2 – Розширені результати розрахунку водопостачання

Показник	Позначення	Значення	Примітка
Середньодобова витрата	$Q_{\text{ср.д}}$	10 м ³ /добу	прийнято
Максимальна добова витрата	$Q_{\text{макс.д}}$	13 м ³ /добу	розраховано
Максимальна годинна витрата	$Q_{\text{макс.г}}$	1,50 м ³ /год	розраховано

					ДР.НУБіП.141.____.2026.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		69

Максимальна секундна витрата	Q _{макс.с}	0,00042 м³/с	розраховано
Регульований запас	V _{рег}	1,69 м³	розраховано
Протипожежний запас	V _{пож}	3,0 м³	розраховано
Аварійний запас	V _{ав}	3,0 м³	розраховано
Розрахунковий об'єм бака	V _{б.р}	7,7 м³	розраховано

Ж.3. Розрахунок електричних навантажень

$$P_{вст} = 1,89 + 2,80 + 4,00 + 0,06 + 0,30 = 9,05 \text{ кВт}$$

$$P_p = 1,89 + 2,80 \cdot 0,85 + 4,00 \cdot 0,80 + 0,06 + 0,30 = 7,83 \text{ кВт}$$

$$I_p = P_p / (\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos\phi) = 7,83 / (1,732 \cdot 0,38 \cdot 0,85) = 14,0 \text{ А}$$

Таблиця Ж.3 – Розрахунок електричних навантажень котельні

Електроспоживач	P _{вст} , кВт	К _п	P _р , кВт	I _р , А	Примітка
Освітлення	1,89	1,00	1,89	8,6	18 світильників
Насосний агрегат	2,80	0,85	2,38	6,0	двигун 2,8 кВт
Подача біопалива	4,00	0,80	3,20	8,2	двигун 4,0 кВт
УФ-знезараження	0,06	1,00	0,06	0,3	лампа 60 Вт
Автоматика	0,30	1,00	0,30	1,4	сигналізація і керування
Разом	9,05	–	7,83	14,0	розрахунковий ввід

Ж.4. Економічна ефективність проєкту

$$\Delta W = 0,99 \cdot 8 \cdot 365 = 2890,8 \text{ кВт} \cdot \text{год/рік}$$

$$E_{ел} = 2890,8 \cdot 6,50 = 18790,20 \text{ грн/рік}$$

$$E_p = E_{ел} + E_{обсл} = 18790,20 + 5200,00 = 23990,20 \text{ грн/рік}$$

$$T_{ок} = K / E_p = 54900,00 / 23990,20 = 2,29 \text{ року}$$

					ДР.НУБіП.141.____.2026.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		70

Таблиця Ж.4 – Узагальнені показники економічної ефективності

Показник	Позначення	Значення	Примітка
Загальні капітальні витрати	K	54900,00 грн	обладнання і монтаж
Річна економія електроенергії	ΔW	2890,8 кВт·год	LED-модернізація
Вартісна економія електроенергії	Eел	18790,20 грн/рік	тариф 6,50 грн/кВт·год
Економія на обслуговуванні	Eобсл	5200,00 грн/рік	прийнято
Сумарний річний ефект	Eр	23990,20 грн/рік	розраховано
Строк окупності	Ток	2,29 року	розраховано
Коефіцієнт ефективності	Eк	0,437	розраховано

					ДР.НУБіП.141.____.2026.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		71